

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE



FAKULTA JADERNÁ A FYZIKÁLNĚ INŽENÝRSKÁ
KATEDRA DOZIMETRIE A APLIKACE IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Autor: Matěj Krbec

Vedoucí práce: Ing. Simona Borovičková, Ph.D.
Praha, 2023



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA JADERNÁ A FYZIKÁLNĚ INŽENÝRSKÁ
PRAHA 1 - STARÉ MĚSTO, BŘEHOVÁ 7 - PSČ 115 19



Katedra: KDAIZ

Akademický rok: 2022/2023

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student: Matěj Krbec

Studijní program: Aplikace přírodních věd

Obor: Radiologická technika

Název práce: Postupy stanovení místních diagnostických referenčních úrovní
(česky) v radiodiagnostice

Název práce: Patient dose assessment procedures to check compliance
(anglicky) with diagnostic reference levels

Pokyny pro vypracování:

Teoretická část

- 1) Účel MDRÚ.
- 2) Shrnutí dozimetrických veličin používaných pro stanovení MDRÚ v radiodiagnostice a intervenční radiologii.
- 3) Shrnutí doporučených postupů pro stanovování MDRÚ.

Praktická část

- 4) Dávková studie k nejčastěji prováděným skiagrafičtým a CT výkonům v oblasti trupu získaných automatickým sběrem – 2 přístupy (s využitím, resp. bez znalosti hmotnosti pacientů).
- 5) Porovnání výsledků (včetně porovnání s daty získaných ručním sběrem) a statistické zhodnocení výsledků získaných různými přístupy.
- 6) Návrh postupů stanovení MDRÚ z dat získaných automatizovaným sběrem.

Doporučená literatura:

- [1] ICRP, 2017. Diagnostic reference levels in medical imaging. ICRP Publication 135. Ann. ICRP 46(1).
- [2] ICRU, 2005. Patient dosimetry for x rays used in medical imaging. Journal of the ICRU Vol 5 No 2 (2005) Report 74.
- [3] Věstník MZ ČR 2015, částka 6. Národní radiologické standardy – radiologická fyzika.
- [4] LOOSE, Reinhard W., Eliseo VANO, Peter MILDENBERGER, et al. Radiation dose management systems—requirements and recommendations for users from the ESR EuroSafe Imaging initiative. *European Radiology*. 2021, **31**(4), 2106-2114. ISSN 0938-7994. DOI:10.1007/s00330-020-07290-x.

Jméno a pracoviště vedoucího bakalářské práce:


Ing. Simona Borovičková, Ph.D. ✓
Všeobecná fakultní nemocnice v Praze
U Nemocnice 499/2
128 08 Praha 2, Nové Město

Jméno a pracoviště konzultanta bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: 9. 3. 2023

Termín odevzdání bakalářské práce: 8. 1. 2024

Doba platnosti zadání je dva roky od data zadání.


.....
garant oboru


.....
vedoucí katedry


.....
děkan



V Praze dne 9. 3. 2023

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská

Břehová 7
115 19 Praha 1



PROHLÁŠENÍ

Já, níže podepsaný

Jméno a příjmení studenta: Matěj Krbec

Osobní číslo: 486348

Název studijního programu (oboru): Radiologická technika

prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem:

Postupy stanovení místních diagnostických referenčních úrovní v radiodiagnostice

vypracoval samostatně a uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne 5.1.2024

Krbec

.....
podpis

Poděkování

Děkuji paní Ing. Simoně Borovičkové za vedení mé bakalářské práce, za cenné rady a připomínky, které tuto práci obohatily.

Název práce: Postupy stanovení místních diagnostických referenčních úrovní v radiodiagnostice

Autor: Matěj Krbec

Obor: Radiologická technika

Druh práce: Bakalářská práce

Vedoucí práce: Ing. Simona Borovičková, Ph.D.
Všeobecná fakultní nemocnice v Praze

Abstrakt: Tato práce se zabývá problematikou stanovení místních diagnostických referenčních úrovní (MDRÚ). Teoretická část práce popisuje nynější metodu stanovení a revize MDRÚ. Dále obsahuje dozimetrické veličiny, ve kterých jsou stanovovány MDRÚ. V praktické části jsou zpracována data ze tří pracovišť, z nichž jsou stanovené hodnoty MDRÚ pěti různými metodami.

Klíčová slova: NDRÚ, MDRÚ, skiografie, výpočetní tomografie

Title: Patient dose assessment procedures to check compliance with diagnostic reference levels

Author: Matěj Krbec

Abstract: This thesis deals with the issue of determining local diagnostic reference levels (LDRL). The theoretical part of the thesis describes the current method of determining and revising the LDRL. It also contains dosimetric quantities in which the LDRL are determined. In the practical part, data from three workplaces are processed, from which LDRL values are determined using five different methods.

Key words: DRL, X-ray scans, computed tomography

Obsah

Úvod	10
Seznam zkratk	11
1 Národní diagnostické referenční úrovně	12
2 Místní diagnostické referenční úrovně	12
2.1 Postup stanovení MDRÚ dle NRS-RF.....	12
Skiografie, skiaskopie, výpočetní tomografie.....	13
Intervenční kardiologické výkony.....	13
Intraorální a panoramatické zubní vyšetření	13
Mamografické vyšetření	13
2.2 Hodnocení a revize MDRÚ	14
Revize MDRÚ.....	14
Hodnocení MDRÚ se střední dávkou na jeden přístroj.....	16
2.3 Dozimetrické veličiny	17
Dopadající kerma (K_i)	17
Vstupní povrchová kerma (K_e).....	18
Součin kermu a plochy (P_{KA})	18
Objemový kermový index výpočetní tomografie (C_{VOL})	19
Součin kermu a délky pro CT ($P_{KL,CT}$)	20
Střední dávka v mléčné žláze (D_G).....	20
2.4 ICRP 135	20
2.5 DICOM a PACS.....	21
3 Praktická část	22
3.1 Skiografie.....	23
Porovnání pracovišť	31
3.2 Výpočetní tomografie	32
Porovnání pracovišť	34
4 Diskuse	35
5 Závěr.....	36
6 Bibliografie	37
7 Seznam obrázků	38
8 Seznam tabulek.....	39
9 Tabulky	40

Úvod

Diagnostické referenční úrovně slouží ve zdravotnických zařízeních k optimalizaci radiační zátěže pacientů. Cílem je dosažení optimální kvality diagnostických snímků při minimalizaci dávky ionizujícího záření. Diagnostické referenční úrovně jsou úrovně dávek stanovené pro běžně prováděná diagnostická vyšetření pro skupinu standardních pacientů.

Tato bakalářská práce se zabývá porovnáním stávajícího postupu a stanovením místní diagnostické referenční úrovně s nově navrženými postupy. Většina přístrojů v současnosti již umožňuje sbírání dat pro účely stanovení MDRÚ automaticky a ruční sběr již je jen minoritní záležitostí. Z tohoto hlediska se může zcela změnit velikost skupiny, ze které jsou hodnoty počítány. Čím více pacientů bychom do výpočtu mohli začlenit, tím reprezentativnější výsledek bychom dostali. Nové postupy pracují s větším vzorkem. Teoretická část práce obsahuje základní dozimetrické veličiny, ve kterých jsou MDRÚ stanovovány. Dále je v práci uveden aktuální postup výpočtu MDRÚ. V praktické části je u tří pracovišť stanovena MDRÚ pěti různými postupy. První dva postupy jsou nyní používané a doporučené z Věstníku MZ ČR 2015 [3]. Další tři postupy vycházejí z nově navrhovaných přístupů [1]. Na konci práce jsou tyto postupy srovnány a uvedeny jejich zjištěné výhody či nevýhody. Závěrem práce je ze zjištěných dat doporučen nevhodnější postup stanovení MDRÚ.

Seznam zkratek

NDRÚ – národní diagnostická referenční úroveň

MDRÚ – místní diagnostická referenční úroveň

CT – výpočetní tomografie

1HVL – první polotloušťka rentgenového svazku

NRS-RF – Národní radiologické standardy – Radiologická fyzika

DICOM – digitální zobrazování a komunikace v medicíně

PACS – systém pro archivaci a komunikaci

KAP – součin kermy a plochy P_{KA}

AP – pohled předozadní

PA – pohled zadopřední

LAT – pohled boční

Národní diagnostické referenční úrovně

Národní diagnostické referenční úrovně pomáhají v konceptu radiační ochrany k principu optimalizace. Slouží k optimalizaci dávek pacientů při lékařském ozáření. Jsou to tabelované hodnoty uvedené ve vyhlášce č. 422/2016 Sb. Hodnoty jsou stanoveny pro diagnostická vyšetření, ale neslouží jako limity dávek.

Národní referenční úrovně se stanovují z místních diagnostických referenčních úrovní nebo z obdobné národní dávkové studie. Třetí kvartil z místních diagnostických referenčních úrovní z různých pracovišť je NDRÚ pro jedno dané vyšetření. Je doporučeno provádět aktualizaci každých pět let. [1]

Místní diagnostické referenční úrovně

Stejně jako NDRÚ slouží MDRÚ v radiační ochraně k optimalizaci vyšetřovacích postupů. Cílem MDRÚ je monitorovat a optimalizovat dávky pacientům při diagnostických vyšetřeních. Snahou je minimalizovat nepotřebnou expozici a snížit riziko negativních účinků. Není však snahou snížit dávky na úplné minimum. [6]

MDRÚ se stanovuje pro běžně prováděná vyšetření ve zdravotnickém zařízení pro konkrétní techniku vyšetření a anatomickou oblast pacienta. MDRÚ se také používá k identifikaci případných odchylek od běžných postupů. [3] [7]

Postupy stanovení a hodnocení MDRÚ jsou uvedeny v NRS-RF- Národní radiologické standardy radiologická fyzika (Věstník ministerstva zdravotnictví č. 06-2015). Ze zákona č. 263/2016 je každý držitel povolení nebo registrant provádějící lékařské ozáření povinen stanovit místní diagnostickou referenční úroveň pro každý zdravotní výkon v radiodiagnostice a intervenční radiologii běžně prováděný na jejich pracovišti. [3] [8]

1.1 Postup stanovení MDRÚ dle NRS-RF

MDRÚ se stanovuje pro běžně prováděná vyšetření ve zdravotnickém zařízení a pro vyšetření, která mají stanovenou NDRÚ a pro která je na daném pracovišti reprezentativní zastoupení počtu pacientů. Dále se stanovuje pro vyšetření významná z hlediska radiační zátěže pacienta. Pro stanovení MDRÚ je potřeba nasbírat data z jednotlivých vyšetření s danou technikou. MDRÚ nemá smysl stanovovat pro vyšetření, která nejsou běžně prováděna nebo se svými specifiky liší od běžného výkonu (tzv. nestandardní výkony). V minulosti se data sbírala ručně a potom se vyhodnocovala. Dnes se data stále častěji získávají automatickým sběrem ihned při vyšetření.

Skiagrafie, skiaskopie, výpočetní tomografie

MDRÚ pro skiagrafii, skiaskopii, výpočetní tomografii se vypočítá jako průměr středních dávek na přístroj ze skupiny standardních pacientů. Výsledná hodnota se zaokrouhlí nahoru a vyjádří se pomocí dvou platných čísel. Střední dávka na přístroj pro skupinu standardních pacientů je průměrná hodnota příslušné dozimetrické veličiny. Skupinou standardních pacientů je myšleno alespoň deset pacientů (ženy i muži) s průměrnou hmotností 70 ± 5 kg a hmotnosti jednotlivých pacientům jsou v rozmezí 50-90 kg. [3]

Intervenční kardiologické výkony

MDRÚ pro intervenční kardiologické výkony se vypočítá stejně jako skiaskopie a skiagrafie průměrem středních dávek na přístroj ze skupiny standardních pacientů. Výsledná hodnota se zaokrouhlí nahoru a vyjádří se pomocí dvou platných čísel. Skupinou standardních pacientů je myšleno alespoň deset pacientů (ženy i muži) s průměrnou hmotností 80 ± 5 kg a hmotnosti jednotlivých pacientům jsou v rozmezí 60-100 kg. [3]

Intraorální a panoramatické zubní vyšetření

U těchto vyšetření se MDRÚ stanovuje jako průměr střední dávky na přístroj pro standardní expoziční nastavení. Toto expoziční nastavení je pro všechny dospělé pacienty totožné. [3]

Mamografické vyšetření

MDRÚ v mamografii se vypočítá jako průměr středních dávek z jednotlivých přístrojů. Výsledná hodnota se zaokrouhlí nahoru a vyjádří se pomocí dvou platných čísel. Skupiny standardních pacientů se pro mamografii rozdělují podle tloušťky prsu po kompresi. Pro každou skupinu se stanovuje hodnota MDRÚ zvlášť. V tabulce č. 1 vidíme sedm kategorií podle různé tloušťky komprimovaného prsu a k nim hodnoty NDRÚ. [3]

Tloušťka prsu po kompresi [mm]	D_g pro cranio-caudální projekci [mGy]
19-23	1,1
30-34	1,3
43-47	1,6
51-55	1,8
58-62	2,1
73-77	2,5
85-95	3,0

Tabulka č. 1 Hodnoty NDRÚ pro mamografii v závislosti na tloušťce komprimovaného prsu. [8]

1.2 Hodnocení a revize MDRÚ

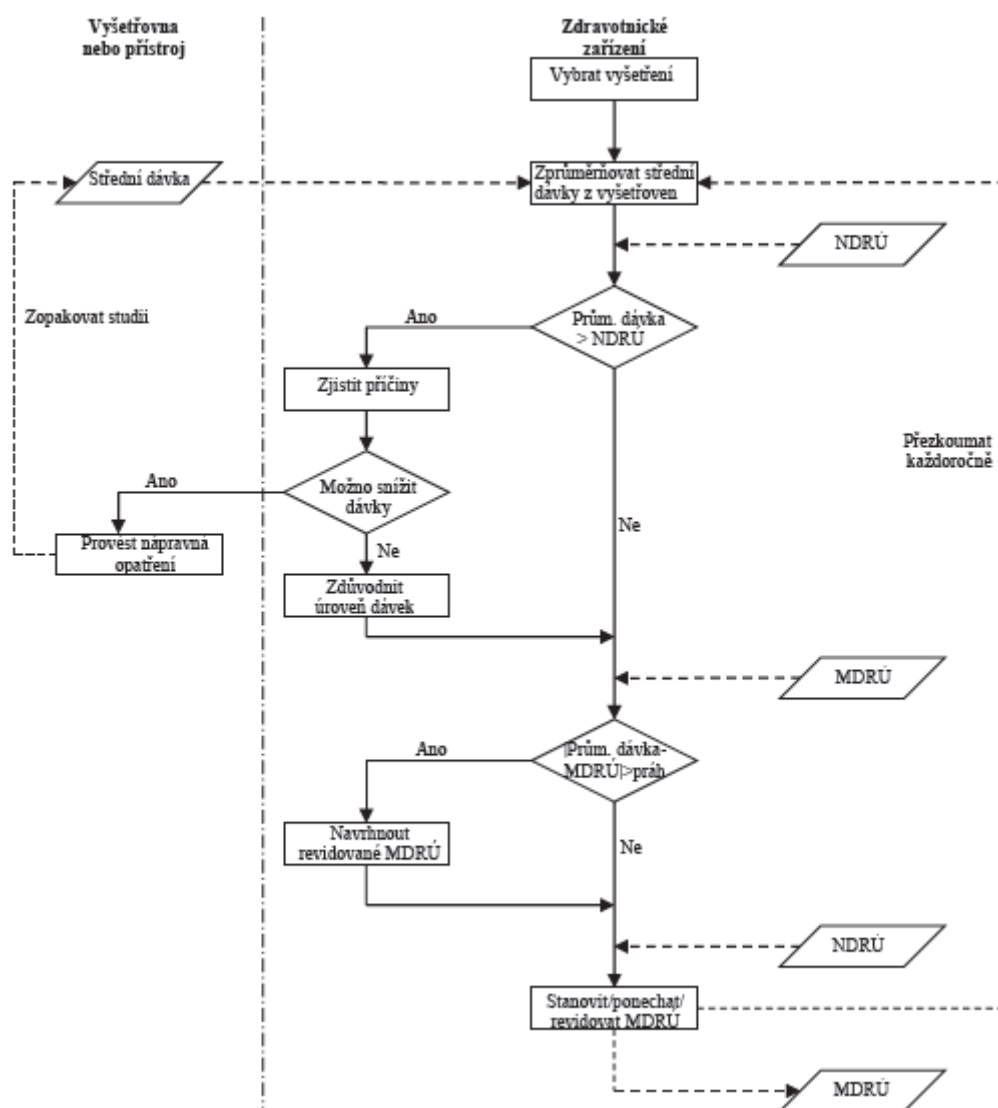
Revize MDRÚ

Po prvním stanovení MDRÚ na pracovišti se revize provádí jednou ročně. Pro tuto revizi nemusí být opakována dávková studie (sběr dat z přístrojů), ale postačuje kontrola, že nedošlo ke změnám, které by mohly ovlivnit hodnoty MDRÚ. Prakticky jde o kontrolu vyšetřovacích postupů a parametrů rentgenového zařízení. Pokud někde nastala změna, tak v rámci revize musí být kontrolováno, zda tato změna mohla ovlivnit patientskou dávku.

Pokud je MDRÚ na pracovišti stanovena, revize se provádí jednou za tři roky i s dávkovou studií. Dávková studie se provádí každé tři roky bez ohledu na to, zda nastala nějaká změna v postupech nebo ve vybavení. Revize všech přístrojů nemusí být prováděna ve stejném roce.

V případě, kdy se střední dávka na přístroj liší od aktuální MDRÚ o 10 až 20 % a zároveň se při revizi najde důvod odchylky, se hodnota MDRÚ aktualizuje a je zapotřebí zjistit příčiny této změny a praxi optimalizovat. Každá revize je zdokumentována v záznamu, který obsahuje provedené a zdůvodněné změny v MDRÚ.

V obrázku č. 1 je uvedený strom kroků, jak postupovat při stanovení a revizi MDRÚ. První se vybere jedno vyšetření. Vypočítá se střední dávka na jeden přístroj. Dále se vypočítá střední dávka z vyšetřoven. Střední dávka se porovná s NDRÚ. Pokud není vyšší než NDRÚ, porovná se se stávající MDRÚ vzhledem k určenému prahu. Pokud není vyšší, tak revize proběhla úspěšně. Všechny další možnosti jsou uvedeny v obrázku č. 1 od tohoto ideálního případu. [3]



Obrázek č. 1 Strom kroků při stanovení a revizi MDRÚ. [3]

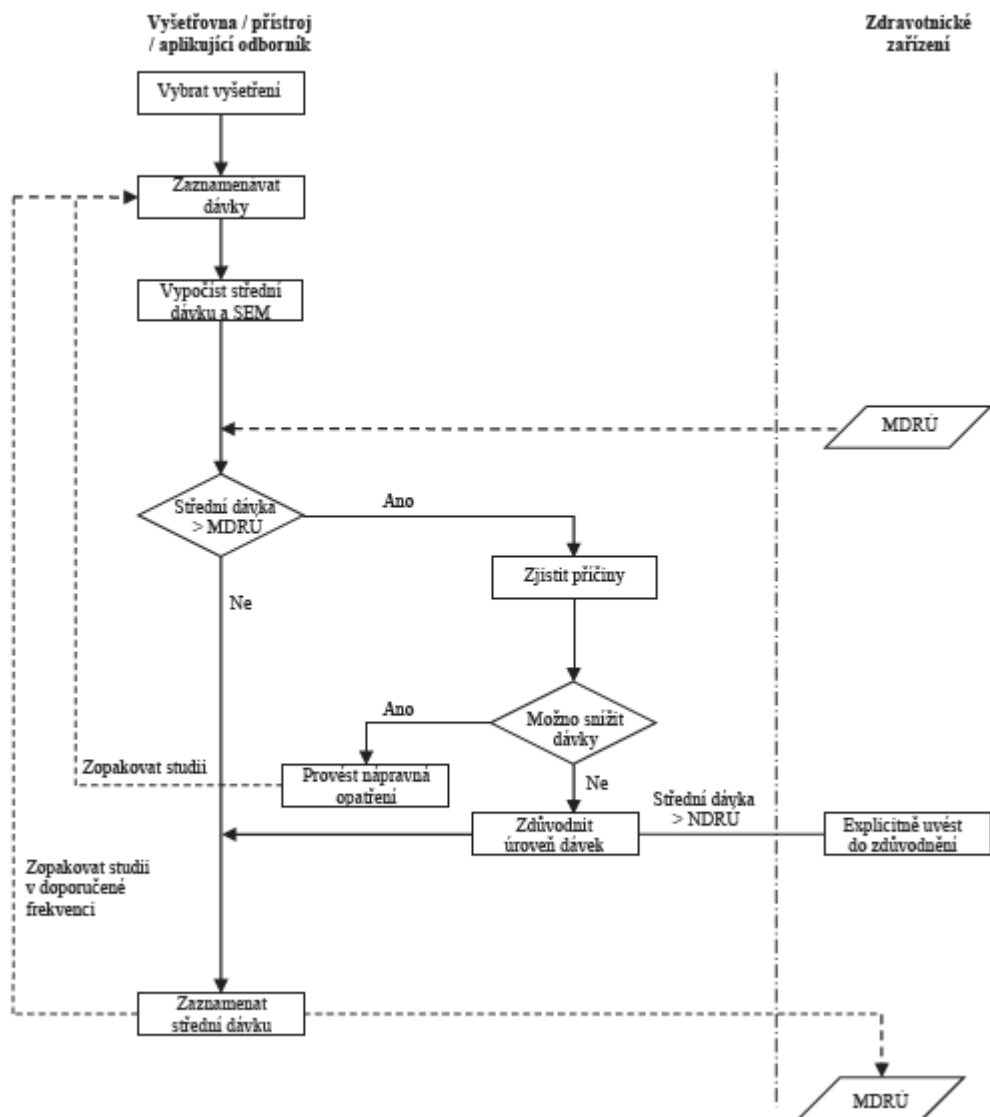
Hodnocení MDRÚ se střední dávkou na jeden přístroj

Při tomto hodnocení se porovnává střední dávka na jeden přístroj s MDRÚ. Toto hodnocení slouží k odhalení přístrojů, které mají vyšší patientské dávky oproti ostatním přístrojům ve zdravotnickém zařízení. Výsledná informace slouží k optimalizaci praxe a k odhalení příčin, které patientskou dávkou zvyšovaly.

Nejdříve je potřeba stanovit práh, při kterém je potřeba daný přístroj dále zkoumat. Doporučený práh je rozdíl mezi střední dávkou na jeden přístroj a MDRÚ vyšší než dvě směrodatné odchylky dávky z daného přístroje. V případě, kdy k výpočtu MDRÚ bylo použito velké množství pacientů a tím pádem je směrodatná odchylka velmi malá, mohl by jakýkoliv přístroj uvedený práh snadným způsobem překročit, tak si zdravotnické zařízení nastaví vlastní práh hodnocení. Typicky se práh pohybuje okolo 20 %. Pokud tedy střední dávka z daného přístroje nepřekročí MDRÚ o 20 %, limit překročení se neřeší.

V situaci, kdy by střední dávka z jednoho přístroje překročila hodnotu MDRÚ, je potřeba aby zdravotnické zařízení zdůvodnilo tuto skutečnost nebo provedlo potřebnou optimalizaci ke snížení patientských dávek. [3]

Na obrázku č. 2 je popsán celý postup při hodnocení MDRÚ se střední dávkou na jeden přístroj.



Obrázek č. 2 Strom kroků při hodnocení MDRÚ se střední dávkou na jeden přístroj. [3]

1.3 Dozimetrické veličiny

MDRÚ se stanovuje v přímo měřitelných veličinách. Jedinou výjimkou je střední dávka v mléčné žláze v mamografii. Postup výpočtu střední dávky v mléčné žláze je popsán na konci této kapitoly. U každé dozimetrické veličiny je uvedeno, pro jakou zobrazovací modalitu je daná veličina preferována.

Dopadající kerma (K_i)

Veličina měřená na centrální ose rentgenového svazku volně ve vzduchu v místě vstupu záření do pacienta bez započtení zpětného rozptylu. Lze ji vypočítat z následujících vztahů:

$$K_i = Y_r \left(\frac{r}{FSD} \right)^2 P_{It} \quad (0.1)$$

kde Y_r je výtěžnost v definované vzdálenosti r od ohniska [mGy/mAs], FSD je vzdálenost ohnisko kůže [cm], P_{It} je součin proudu rentgenky a expozičního času [mAs]

Nebo vztahem:

$$K_i = \frac{K_e}{B} \quad (0.2)$$

kde K_e je vstupní povrchová kerma v [mGy], B ... faktor zpětného rozptylu.

Faktory zpětného rozptylu jsou v rozmezí 1,1-1,5 u skiagrafických vyšetření. Závisí na velikosti pole, kvalitě svazku a prozařovaném objemu. [2]

Pro zubní intraorální skiografii se MDRÚ stanovuje ve veličině dopadající kerma. [3]

Vstupní povrchová kerma (K_e)

Kerma měřená na centrální ose rentgenového svazku v místě vstupu záření do pacienta nebo fantomu se započtením zpětného rozptylu. Vypočítat ji můžeme pomocí následujícího vztahu:

$$K_e = Y_r \left(\frac{r}{FSD} \right)^2 P_{It} B = K_i B \quad (0.3)$$

kde Y_r je výtěžnost v definované vzdálenosti r od ohniska [mGy/mAs], FSD... vzdálenost ohnisko kůže [cm], P_{It} je součin proudu rentgenky a expozičního času [mAs], B je faktor zpětného rozptylu, K_i je dopadající kerma [mGy].

Faktory zpětného rozptylu jsou stejné jako u dopadající kermy. V této veličině můžeme MDRÚ stanovovat u obecné skiografie. Avšak u obecné skiografie je preferována veličina součin kermy a plochy P_{KA} . [2] [3]

Součin kermy a plochy (P_{KA})

Integrál kermy ve vzduchu bez započtení zpětného rozptylu přes plochu svazku v rovině kolmé na osu svazku měřené ve stejné vzdálenosti od ohniska. Veličina je nezávislá na vzdálenosti ohniska od detektoru.

$$P_{KA} = \int_A K(x, y) dx dz \quad (0.4)$$

U zubních panoramatických zařízení je možné P_{KA} stanovit jako součin výšky štěrbin a součinu kermy a délky.

V této veličině se MDRÚ stanovuje u obecné skiografie, zubní panoramatické skiografie, zubní CT, angiografie, intervenčních výkonů a skiaskopie. Do intervenčních výkonů zde nespadá CT. [3]

Objemový kermový index výpočetní tomografie (C_{VOL})

Objemový kermový index výpočetní tomografie je normalizovaný vážený kermový index výpočetní tomografie se zohledněním pitch faktoru. Pitch faktor je poměr velikosti posunu stolu při jedné rotaci rentgenky o 360 stupňů a celkové kolimace svazku. [6] V této veličině uvádíme MDRÚ pro výpočetní tomografii. C_{VOL} můžeme vypočítat pomocí vztahu:

$$C_{VOL} = C_W \frac{NT}{l} \quad (0.5)$$

kde C_W je vážený kermový index výpočetní tomografie [mGy], N je počet snímaných řezů, T je nominální šířka řezu [mm], l je délka posunu stolu při jedné otáčce rentgenky [mm]. [3]

Vážený kermový index výpočetní tomografie můžeme vyjádřit pomocí vzorce:

$$C_W = \frac{1}{3}(C_{PMMA,100,c} + C_{PMMA,100,p}) \quad (0.6)$$

kde $C_{PMMA,100,c(p)}$ je kermový index výpočetní tomografie měřený ve standardním CT fantomu ve středu (c) nebo na okraji (p) [mGy]. Měření $C_{PMMA,100}$ vychází z měření kermového indexu výpočetní tomografie volně ve vzduchu ($C_{a,100}$), který je formulován pro jednořadá CT jako integrál kermy měřené volně ve vzduchu podél přímky rovnoběžné s osou rotace skeneru v délce 100 mm na jednu otáčku rentgenky. [3]

Kermový index výpočetní tomografie vyjádřený vzorcem:

$$C_{a,100} = \frac{1}{T} \int_{-50}^{50} K(z) dz \quad (0.7)$$

kde T je nominální šířka řezu [m], K je kerma ve vzduchu [Gy].

Pro víceřadá CT je $C_{a,100}$ definován jako integrál kermy měřené volně ve vzduchu podél přímky rovnoběžné s osou rotace skeneru v délce 100 mm na jednu otáčku rentgenky. [3]

$$C_{a,100} = \frac{1}{NT} \int_{-50}^{50} K(z) dz \quad (0.8)$$

Kde N je počet zároveň snímaných řezů, T je nominální šířka řezu [m], K je kerma [Gy].

Součin kermu a délky pro CT ($P_{KL,CT}$)

Celková hodnota součinu kermu a délky pro CT pro vyšetření o j-sekvencích (fázích) je definována jako:

$$P_{KL,CT} = \sum_j C_{VOL,j} l_j P_{It,j} \quad (0.9)$$

kde $C_{VOL,j}$ je objemový index kermový index výpočetní tomografie pro j–tou sekvenci [mGy], l_j je délka posunu stolu l během j–té sekvence [cm], P_{It} je součin proudu rentgenky a expozičního času pro j–tou sekvenci [mAs].

MDRÚ zde stanovujeme ve dvou veličinách. V součinu kermu a délky nebo v objemovém kermovém indexu výpočetní tomografie. [3]

Střední dávka v mléčné žláze (D_G)

Veličina není přímo měřitelná. MDRÚ se v této veličině stanovuje v mamografii. Jedná se o střední dávku v glandulární prsní tkáni a můžeme ji vypočítat pomocí vztahu:

$$D_G = K_i g c s \quad (0.10)$$

kde K_i je dopadající kerma [Gy], g je konverzní faktor převádějící K_i na střední dávku v mléčné žláze pro prsní tkáň s 50 % glandularitou a pro spektrum rentgenky Mo/Mo, c je korekční faktor na rozdílné složení prsní tkáně od 50 % glandularity, s je korekční faktor na odlišné spektrum rentgenky od spektra rentgenky Mo/Mo. [3]

1.4 ICRP 135

ICRP 135 je dokument vydaný Mezinárodní komisí pro radiologickou ochranu (ICRP). ICRP je organizace, která vydává doporučení a pokyny v oblasti radiační ochrany. Na jejich oficiálních stránkách jsou k dispozici doporučení od roku 1928. ICRP 135 s názvem Diagnostic Reference Levels in Medical Image (diagnostické referenční úrovně v lékařském zobrazování) se věnuje změnám, aktualizaci, vylepšování a zdokonalování NDRÚ a MDRÚ. Účelem je zdokonalit proces optimalizace u patientských dávek. Dokument také poskytuje návod, jak prakticky používat NDRÚ pro konkrétní zobrazovací modalitu. Dokument reviduje metody stanovení NDRÚ. Popisuje postřehy a otázky, které by měly být vzaty v úvahu při stanovování a používání.

Dokument doporučuje stanovit organizaci, která bude mít odpovědnost za shromažďování dat a stanovení NDRÚ. NDRÚ by měla být stanovována pro vyšetření, která jsou na pracovištích běžná a nejčastější. Přednost by měla dostat nejčastější vyšetření a vyšetření s nejvyšší radiační zátěží. Údaje pro vyhodnocení NDRÚ by měly být zaznamenány v přímo měřitelné veličině nebo ve veličině, která je dostupná

v zobrazovacím přístroji. Například P_{KA} , $P_{KL,CT}$, aplikovaná aktivita. Při stanovování NDRÚ by měla být zahrnuta převážně velká a střední pracoviště, která mají dostatek vyšetřovaných pacientů. Tímto výběrem se snažíme vybrat reprezentativní soubor dat z vyšetření pacientů. Přístroje, indikující sledovanou veličinu, pro získávání dat by měly být pravidelně kalibrovány a navázány na primární standardní laboratoř. Při stanovování MDRÚ je doporučeno při výpočtu použít medián místo dosud používaného průměru. Diagnostické referenční úrovně mají být revidovány každých 3-5 let nebo pokud se zavedou významné změny v technologii, protokolech snímkování či metodách rekonstrukce obrazu. Ke zveřejněným hodnotám NDRÚ by měly být doplněny další údaje o použitém souboru dat.

Dokument popisuje, že pokud je vzorek pacientů omezený, využívá se standardizace pacienta. Ta se provádí výběrem pacientů v rozmezí 50–90 kg s tím, že průměrná hmotnost standardního pacienta je v rozmezí 70 ± 5 kg. Takto byl standardní pacient určen pro populaci Velké Británie. Dokument popisuje, že tento standardní pacient nemusí vyhovovat všem zemím. Zvolená hmotnost standardního pacienta by se měla blížit průměrné hmotnosti dané populace. Pro některé země to může být například 70 ± 10 kg.

Při automatickém sběru dat nemusí být k dispozici údaj o hmotnosti pacienta. V tom případě je možné místo výběru pacientů od 50-90 kg vzít celý soubor vyšetřovaných pacientů a odstranit data o pacientech s 5% nejnižších a nejvyšších hodnot veličiny pro MDRÚ (P_{KA} , C_{vol} , $P_{KL,CT} \dots$). [1]

1.5 DICOM a PACS

DICOM je mezinárodní standard pro lékařské snímky a související informace. Jedná se o datový standard a formát pro přenos, ukládání, zpracování, tisk a zobrazování lékařských snímků v nezbytné kvalitě. Snímky a data lze zobrazovat napříč institucemi. Kromě obrazových dat jsou ve formátu DICOM uloženy informace o pacientovi a přístroji, na kterém byl snímek pořízen. Tato data se ukládají do záhlaví obrázku DICOM. DICOM využívá systém PACS. Jedná se o systém umožňující ukládání a zobrazení obrazové dokumentace. Skládá se ze čtyř částí: úložiště, zabezpečená síť, obrazové dokumentace a cílové stanice (počítače, terminály). [4] [10] [11] [12]

Praktická část

K praktické části byla poskytnuta data shromážděná dávkovou studií po dobu jednoho roku ze tří skiagrafických přístrojů. Data byla poskytnuta společností Ing. Dušan Olejář – OLE. Data z pracoviště A obsahují 66907 vyšetření, data z pracoviště B obsahují 11950 vyšetření a z pracoviště C obsahují 53795 vyšetření. Data byla rozdělena podle druhu vyšetření. Ke zpracování byla vybrána vyšetření, která mají stanovenou NDRÚ. Hodnoty NDRÚ jsou uvedeny v Tabulka č. 2. Odebrána byla vyšetření, kterým chyběla hodnota hmotnosti a P_{KA} (KAP).

Hodnoty P_{KA} byly podle standardů DICOM v jednotkách $dGy \cdot cm^2$. Pro výpočet a porovnání s NDRÚ byly jednotky při výpočtech převedeny na $mGy \cdot cm^2$.

Typ vyšetření	P_{KA} [$mGy \cdot cm^2$]	K_e [mGy]
Lebka, přehledné snímky PA	700	2,8
Lebka, přehledné snímky LAT	550	2,2
Hrudník PA	220	0,3
Hrudník LAT	550	1,1
Krční páteř AP	290	1,7
Krční páteř LAT	280	1,3
Hrudní páteř AP	1100	4,4
Hrudní páteř LAT	1200	5,7
Bederní páteř AP	1700	6,2
Bederní páteř LAT	3100	12,0
Břicho AP	2900	5,2
Pánev AP	2000	4,5

Tabulka č. 2 Hodnoty NDRÚ pro diagnostická skiagrafická vyšetření [8].

K druhé části byla také poskytnuta data shromážděná dávkovou studií za jeden rok u tří přístrojů výpočetní tomografie. Data z pracoviště A zahrnují 13696 vyšetření, data z pracoviště B zahrnují 38518 vyšetření a z pracoviště C zahrnují 6090 vyšetření. Data byla filtrována podle druhu vyšetření. Ke zpracování byla použita jen data, která mají stanovenou hodnotu NDRÚ. Dále byla z dat vyfiltrována vyšetření, u kterých chybí hodnota hmotnosti a byla vybrána jen vyšetření se spirální akvizicí. Hodnoty NDRÚ pro výpočetní tomografii jsou uvedeny v Tabulka č. 3.

Typ vyšetření	C_{VOL} [mGy]	P_{KL} na celé vyšetření [$mGy \cdot cm$]
Hlava	65	1100
Krk	21	500
Hrudník	15	500
Páteř	32	550
Břicho	19	750
Pánev	25	860

Tabulka č. 3 Hodnoty NDRÚ pro výpočetní tomografii [8].

1.6 Skiografie

Data byla vyhodnocena pěti způsoby. První způsob pojmenovaný v tabulkách „50-90 kg“ je zpracovaný podle kapitoly 2.1. tedy doporučení ze zdroje Věstník MZ ČR 2015 [3]. Z každého vybraného vyšetření byli vyfiltrováni pacienti v rozmezí tělesné hmotnosti 50-90 kilogramů. Z tělesné hmotnosti a údaje P_{KA} byl vypočítán aritmetický průměr a směrodatná odchylka.

Druhý způsob simuluje ruční sběr dat. Data byla seřazena podle data provedení. Následně od náhodného data bylo vybráno 10 pacientů v hmotnostním rozmezí 50-90 kilogramů. Opět byl z tělesné hmotnosti a údaje P_{KA} vypočítán aritmetický průměr a směrodatná odchylka. Tento způsob zpracování je v tabulkách popsán jako „ruční“.

Třetí způsob pojmenovaný v tabulkách „5 % lem“ je zpracování podle zdroje ICRP 135 [1], kde doporučují odstranit ze souboru alespoň 5 % pacientů s nejnižšími a nejvyššími hodnotami P_{KA} . Pacienti byli seřazeni vzestupně podle hodnot P_{KA} . Dále bylo odstraněno 5% pacientů s nejnižšími a 5% nejvyššími hodnotami. Ze zbytku souboru pacientů byl z hodnot tělesné hmotnosti a údaje P_{KA} vypočítán aritmetický průměr a směrodatná odchylka.

Čtvrtý způsob pojmenovaný v tabulkách „10 % lem“ je podobný zpracováním podle zdroje ICRP 135 [1], kde doporučují odstranit ze souboru alespoň 5 % pacientů s nejnižšími a nejvyššími hodnotami P_{KA} . Zde bylo místo 5% použito 10 %. Pacienti byli seřazeni vzestupně podle hodnot P_{KA} . Dále bylo odstraněno 10% pacientů s nejnižšími a 10% nejvyššími hodnotami. Ze zbytku souboru pacientů byl z hodnot tělesné hmotnosti a údaje KAP metru vypočítán aritmetický průměr a směrodatná odchylka. Zdroj [5] uvádí, že z jejich souboru pacientů (120836 pacientů) měla 3% špatná nebo duplicitní identifikační čísla, 1 % špatné datum narození a 3% měla chybnou hodnotu dávky. U souboru dat poskytnutých na skiografii chybělo 1% hodnot hmotnosti a 1% hodnot datumu narození. U pracoviště B nebylo zaznamenáno 1% hodnot hmotnosti a 0,5% hodnot datumů narození. V pracovišti C chybělo 3,5% hodnot hmotnosti a 0,5% hodnot datumů narození. V souboru dat pro výpočetní tomografii chybělo na pracovišti A 6% hodnot hmotnosti a 4,5% hodnot datumu narození. Na pracovišti B chybělo 1,5% hodnot datumu narození a 2% hodnot hmotnosti. Na pracovišti C chybělo 2% hodnot hmotnosti.

Z tohoto důvodu odstraňujeme ze souboru nejodlehlejší hodnoty pomocí lemu. U těchto hodnot předpokládáme nějakou chybu. Například chybné vyšetření, špatný záznam dat, obézní pacient.

Poslední způsob zpracování, pojmenovaný v tabulkách „Standard pacient“, využívá znovu odstranění určitého počtu pacientů, avšak nerovnoměrným způsobem. Například bylo odstraněno 10% pacientů s nejnižšími a 20% nejvyššími hodnotami. Toto zpracování se snaží přizpůsobit k hodnotám standardního pacienta (70 ± 5 kg) bez znalosti hmotnosti

vyšetřovaných pacientů. Simuluje se tím, jak by se musel upravit soubor pacientů, aby splnil kritéria standardního pacienta popsaného ve Věstníku MZ ČR 2015 [3].

V Tabulka č.4 jsou uvedeny počty pacientů u jednotlivých vyšetření u všech pracovišť. Pro zpracování byla vybrána jen vyšetření s větším počtem pacientů než 100.

Typ vyšetření	Počet pacientů		
	Pracoviště A	Pracoviště B	Pracoviště C
Lebka, přehledné snímky PA	667	71	213
Lebka, přehledné snímky LAT	795	86	862
Hrudník PA	8152	1651	7797
Hrudník LAT	1071	8	309
Krční páteř AP	946	316	949
Krční páteř LAT	750	335	1227
Hrudní páteř AP	424	302	586
Hrudní páteř LAT	437	312	670
Bederní páteř AP	1546	862	1608
Bederní páteř LAT	1545	871	1662
Břicho AP	531	190	645
Pánevní AP	1455	410	892

Tabulka č.4 Tabulka počtu pacientů pro každé vyšetření, které má hodnotu NDRÚ.

Data pracoviště A

Typ vyšetření		Prům. hmotnost [kg]	Prům. KAP [mGy×cm ²]	Medián hmotnosti [kg]	Medián KAP [mGy×cm ²]
Lebka PA	50-90 kg	71±10	509±234	72	454
	ruční	70±7	415±70	-	-
	5 % lem	68±27	471±144	70	446
	10 % lem	69±26	463±113	70	448
	Standard pacient	69±26	463±113	70	448
Lebka LAT	50-90 kg	71±11	491±225	72	454
	ruční	71±3	436±106	-	-
	5 % lem	70±26	467±179	72	454
	10 % lem	70±25	458±145	72	446
	Standard pacient	70±25	458±145	72	446
Pánev AP	50-90 kg	72±11	1421±772	72	1236
	ruční	71±8	1266±304	-	-
	5 % lem	77±17	1589±849	75	1341
	10 % lem	76±15	1521±669	75	1341
	Standard pacient	74±14	1332±458	73	1263
Břicho AP	50-90 kg	74±11	1132±583	75	1061
	ruční	70±7	1025±535	-	-
	5 % lem	78±16	1240±630	79	1125
	10 % lem	78±14	1204±508	78	1125
	Standard pacient	75±13	1010±334	75	1008

Tabulka č. 5 Tabulka vypočítaných mediánů a středních hodnot KAP metru pro vyšetření pánve AP, břicho AP a lebky v pozici PA a LAT.

Lebka PA: Průměrná hmotnost celého souboru pacientů 67±28 kg a hodnota KAP 490±233 mGy×cm². Medián hmotnosti 70 kg a hodnoty KAP 449 mGy×cm². Hodnota

„Standard pacient“ byla převzata z vyhodnocení „10% lem“, protože nebylo potřeba odstraňovat další pacienty.

Lebka LAT: Průměrná hmotnost celého souboru pacientů 69 ± 27 kg a hodnota KAP 488 ± 255 mGy \times cm². Medián hmotnosti 71 kg a hodnoty KAP 446 mGy \times cm². Hodnota „Standard pacient“ byla převzata z vyhodnocení „10% lem“, protože nebylo potřeba odstraňovat další pacienty.

Pánev AP: Průměrná hmotnost celého souboru pacientů 77 ± 22 kg a hodnota KAP 1715 ± 1250 mGy \times cm². Medián hmotnosti 75 kg a hodnoty KAP 1343 mGy \times cm². Hodnota „Standard pacient“ byla vypočítána pro lem spodní 10% horní 20%.

Břicho AP: Průměrná hmotnost celého souboru pacientů 78 ± 19 kg a hodnota KAP 1356 ± 1039 mGy \times cm². Medián hmotnosti 79 kg a hodnoty KAP 1128 mGy \times cm². Hodnota „Standard pacient“ byla vypočítána pro lem spodní 10% horní 25%.

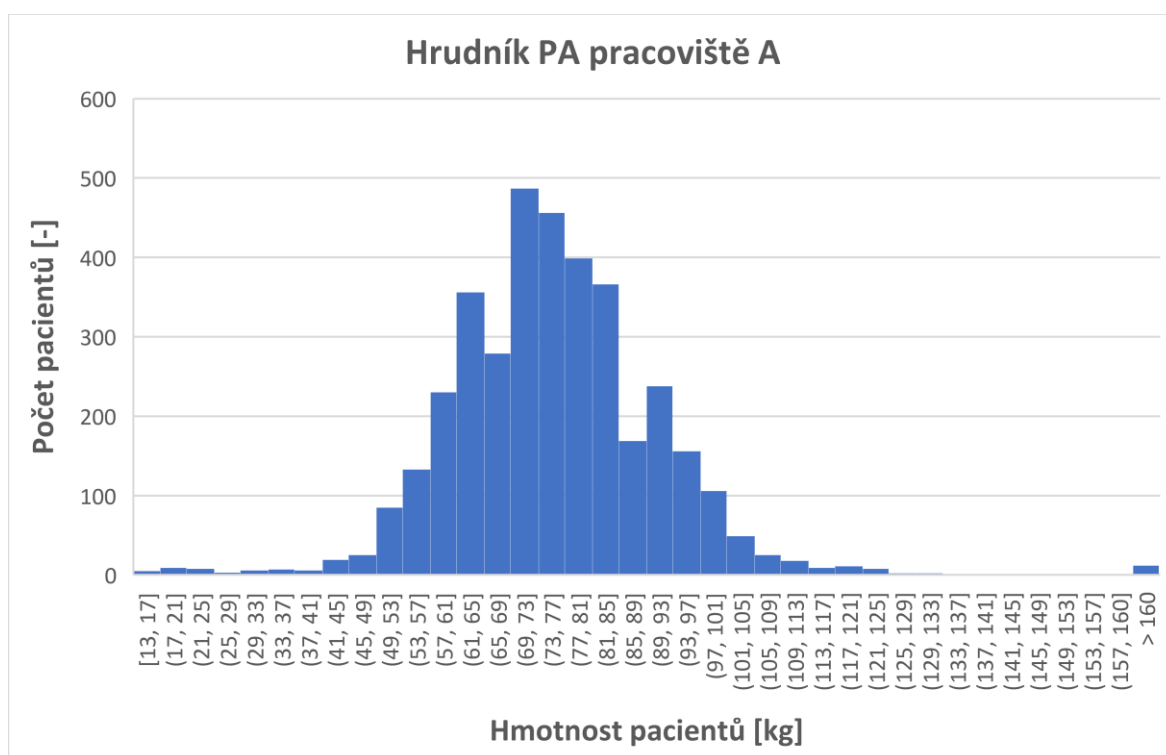
Tabulka č. 5 obsahuje zpracované čtyři vyšetření s popisem z pracoviště A. Tímto způsobem byla zpracována data z dalších dvou pracovišť. Zbýlé tabulky jsou vloženy na konec souboru v kapitole Tabulky. Pod každou tabulkou jsou uvedeny informace o průměru, mediánu celého souboru pacientů a velikosti lemu při zpracování způsobem „standard pacient“.

	Velikost lemu		
	Pracoviště A	Pracoviště B	Pracoviště C
Břicho AP	10%-25%	10%-10%	10%-40%
Pánev AP	10%-20%	10%-45%	10%-30%
Bederní páteř LAT	10%-35%	10%-40%	10%-40%
Bederní páteř AP	10%-35%	10%-45%	10%-40%
Hrudní páteř AP	10%-20%	10%-50%	10%-30%
Hrudní páteř LAT	10%-30%	10%-40%	10%-30%
Krční páteř LAT	10%-30%	10%-30%	10%-10%
Krční páteř AP	10%-20%	10%-30%	10%-20%
Hrudník LAT	10%-60%	-	10%-70%
Hrudník PA	10%-45%	10%-45%	10%-50%
Lebka LAT	10%-10%	-	10%-10%
Lebka PA	10%-10%	-	10%-10%

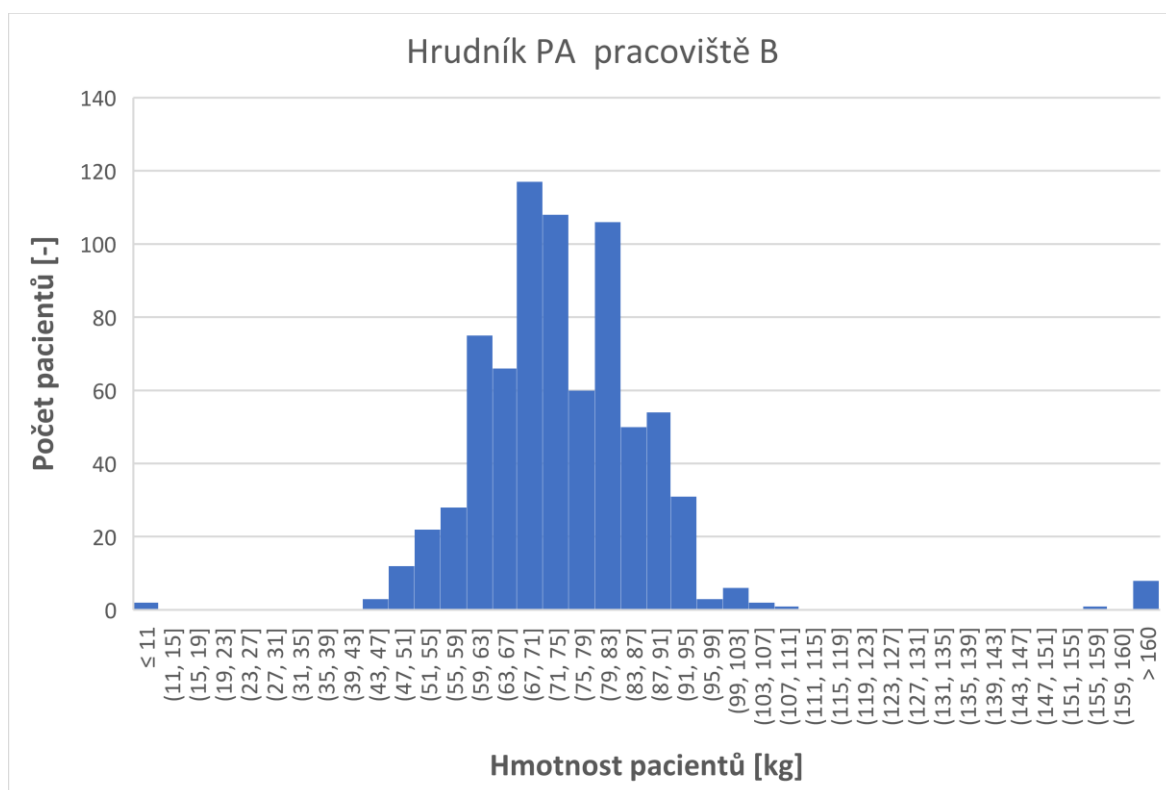
Tabulka č. 6 Tabulka, která uvádí ke každému vyšetření použité procentuální lemy u výpočtu způsobem „standard pacient“ u všech pracovišť.

Spočítané hodnoty MDRÚ na všech pracovištích jsou pod hodnotami NDRÚ. Všechny metody stanovení jsou pod hodnotami NDRÚ. Z dat je vidět, že průměrný pacient je u většiny vyšetření těžší než standardní pacient používaný ve stávajícím výpočtu MDRÚ.

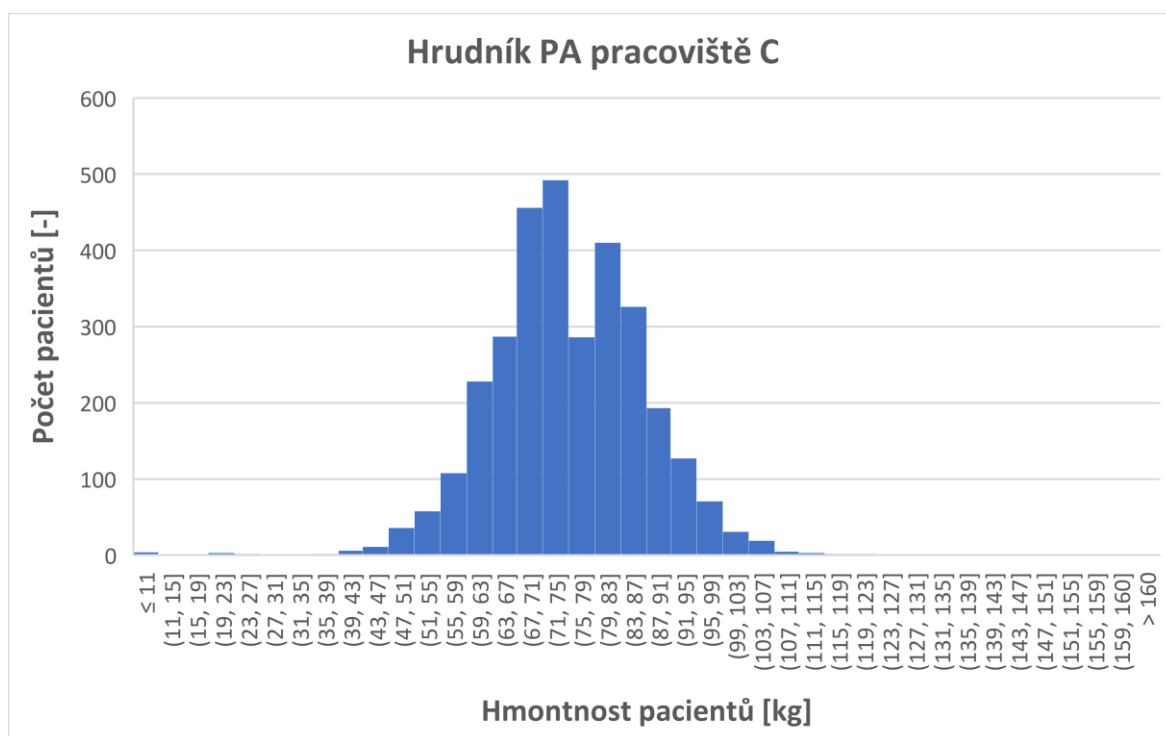
Když se podíváme na distribuci hmotností pacientů (Obrázek č.3, Obrázek č.4Obrázek č.5) je vizuálně vidět, že na všech pracovištích je při vyšetření hrudníku PA více pacientů s hmotností vyšší než 70 kg. To způsobuje vysoké procentuální lemy ve výpočtu „standard pacient“. Při takto velkém lemu se z výsledného výpočtu odstraní mnoho pacientů. Takto vypočítaná MDRÚ je pak velmi zkreslená od původní skupiny pacientů. Výsledná MDRÚ je pak nižší a podhodnocená. Obecně je hodnota MDRÚ vyšší v závislosti na hmotnosti pacientů. Čím více těžších pacientů budeme ve skupině mít, tím vyšší hodnoty KAP metru a tím větší bude horní lem při výpočtu „standard pacient“. V Tabulka č. 6 jsou u některých vyšetření lemy i 70%. Po odstranění pacientů podle uvedených lemů se skupina pacientů zcela odchýlí od průměru celku pacientů a tím zkreslí vypočítaný výsledek.



Obrázek č.3 Histogram distribuce hmotností na počet pacientů pro vyšetření hrudníku v pozici PA na pracovišti A.

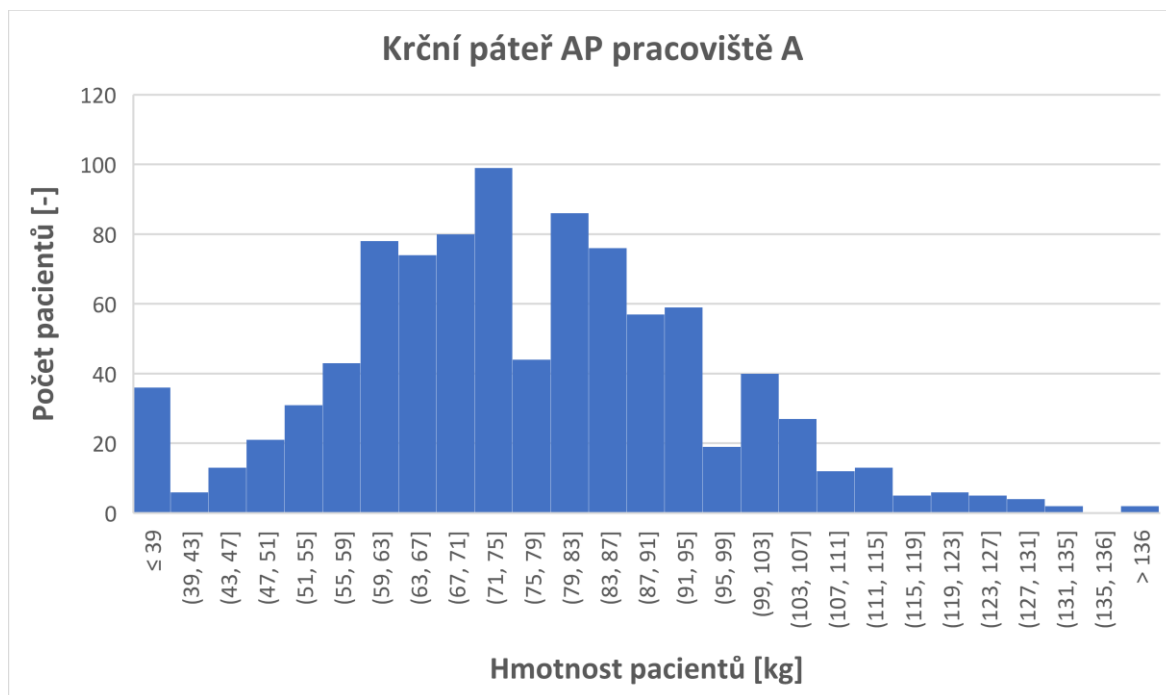


Obrázek č.4 Histogram distribuce hmotností na počet pacientů pro vyšetření hrudníku v pozici PA na pracovišti B.

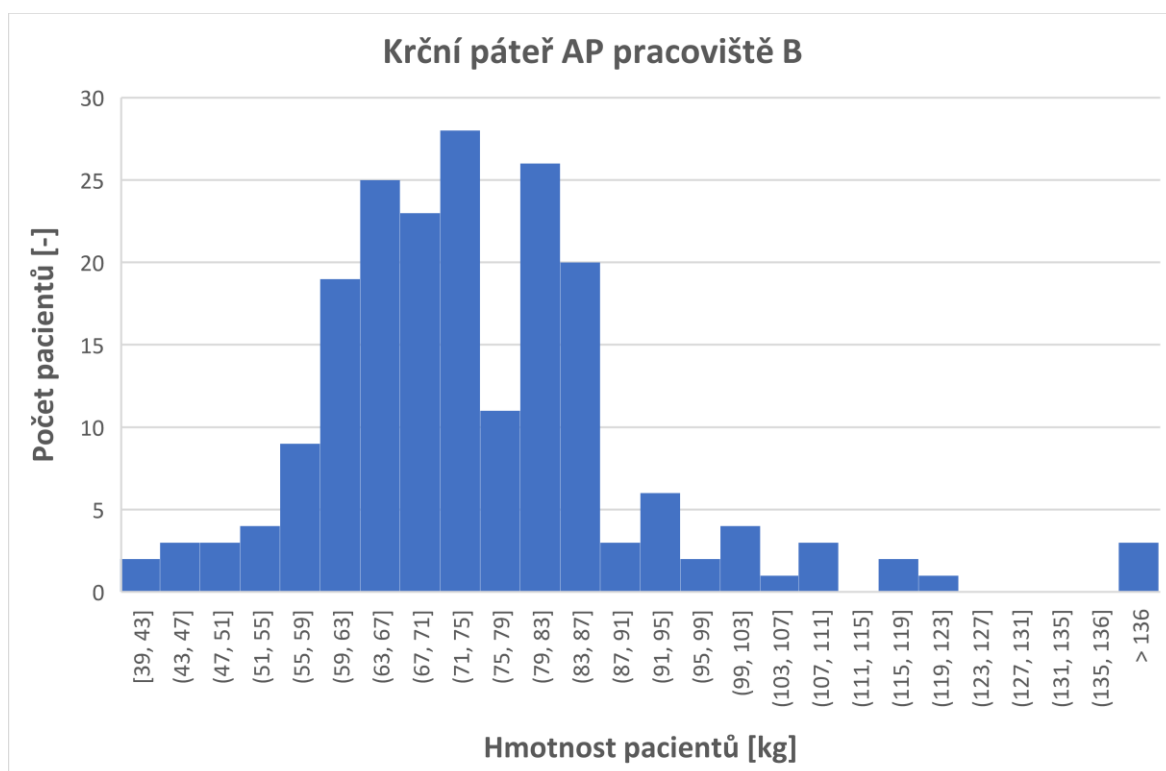


Obrázek č.5 Histogram distribuce hmotností na počet pacientů pro vyšetření hrudníku v pozici PA na pracovišti C.

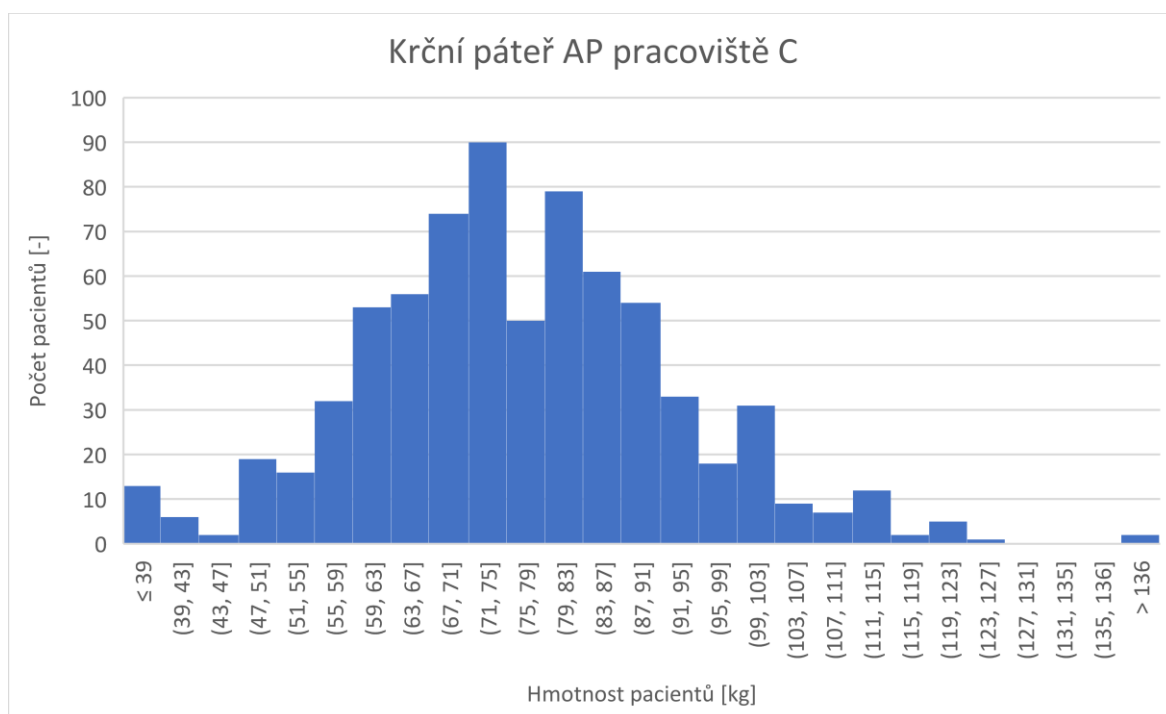
U vyšetření krční páteře (Obrázek č.6, Obrázek č.7, Obrázek č.8) je tento jev mírnější oproti vyšetření hrudníku. Ale i tady je o něco více pacientů těžších než 70 kg. Opět tento jev ve výsledku zkresluje hodnotu NDRÚ níže vlivem odstranění těžších pacientů.



Obrázek č.6 Histogram distribuce hmotností na počet pacientů pro vyšetření krční páteře v pozici AP na pracovišti A.



Obrázek č.7 Histogram distribuce hmotností na počet pacientů pro vyšetření krční páteře v pozici AP na pracovišti B.



Obrázek č.8 Histogram distribuce hmotností na počet pacientů pro vyšetření křční páteře v pozici AP na pracovišti C.

Vyhodnocení způsobem „standard pacient“ je po výsledcích uvedených výše nevhodné. Vlivem skupiny pacientů, kteří mají medián i průměrnou hmotnost vyšší než standardní pacient používaný v dosavadním postupu výpočtu MDRÚ, se snižuje a zkresluje výsledná hodnota MDRÚ. Hodnota je snížena z důvodu vysokého horního lemu a tím pádem odstranění mnoha pacientů s vyšší hmotností. Tento způsob zpracování by byl vhodný pro skupiny pacientů s hmotností blízkou standardnímu pacientovi. V takovém případě by se horní lem přiblížil nebo byl totožný s lemem dolním.

Vhodnější způsob zpracování pro tyto skupiny pacientů jsou „5% lem“ a „10 % lem“. Ve výpočtu je zahrnuta většina pacientů. Odstraněny jsou jen nejodlehlejší hodnoty, u kterých je nepravděpodobnější nějaká chyba či odchylka. Celkově tento postup komplexněji popisuje celou skupinu pacientů. Kvůli větší chybovosti dat, uvedený ve zdroji [5] a vyčíslený z poskytnutých dat, by byl vhodnější způsob zpracování „10 % lem“. V tomto způsobu zpracování by byla odstraněna s jistotou všechna chybná nebo neúplná data.

Porovnání pracovišť

Data poskytnutá z pracovišť jsou z typově stejných přístrojů. Ke srovnání bylo vybráno vyšetření hrudníku v pozici PA a břicha v pozici AP. Hodnoty jsou uvedeny v Tabulka č.7. V obou případech je na tom nejlépe pracoviště C. Má nejnižší hodnoty průměru i mediánu KAP. Na druhou stranu byli na tomto přístroji vyšetřováni pacienti s vyšší hmotností než u ostatních pracovišť. To znamená, že na pracovišti C mají nejlépe optimalizované protokoly a postupy pro tato vyšetření. Pokud srovnáme všechna vyšetření nelze jednoznačně říct, které pracoviště je na tom nejlépe. Hodnoty závisejí na hmotnosti daného souboru pacientů a ty se napříč pracovišti liší.

Typ vyšetření		Prům. hmotnost [kg]	Prům. KAP [mGy×cm2]	Medián hmotnosti [kg]	Medián KAP [mGy×cm2]
Hrudník PA Pracoviště A	10 % lem	83±21	152±88	80	129
Hrudník PA Pracoviště B	10 % lem	83±20	72±25	80	67
Hrudník PA Pracoviště C	10 % lem	83±18	59±20	82	56
Břicho AP Pracoviště A	10 % lem	78±14	1204±508	78	1125
Břicho AP Pracoviště B	10 % lem	75±23	1256±619	75	1142
Břicho AP Pracoviště C	10 % lem	81±16	732±343	81	675

Tabulka č.7 Tabulka vypočítaných hodnot pro vyšetření hrudníku a břicha v pozici.

1.7 Výpočetní tomografie

Vyfiltrovaná data byla zpracována stejnými pěti způsoby jako data ze skiografie. První způsob označený v tabulkách „50-90 kg“ je zpracovaný podle kapitoly 2.1. tedy doporučení ze zdroje Věstník MZ ČR 2015 [3]. Druhý způsob označený „ruční“ je simulace ručního sběru dat. Třetí a čtvrtý způsob zpracování uvedený v tabulkách „5 % lem“ a „10 % lem“ je zpracování podle zdroje ICRP 135 [1]. Pacienti byli seřazeni vzestupně podle hodnot P_{KA} . Pak bylo odstraněno 5%/10% pacientů s nejnižšími a 5%/10% nejvyššími hodnotami dávkové veličiny. Poslední způsob zpracování označený „standard pacient“ využívá znovu odstranění určitého počtu pacientů, avšak nerovnoměrným způsobem. U zpracování „standard pacient“ „5 % lem“ a „10 % lem“ byly pro první dva druhy vyšetření vypočítány dvě hodnoty podle C_{VOL} a $P_{KL,CT}$. Z výsledků uvedených v Tabulka č.9, Tabulka č. 20 je vidět minimální rozdíl mezi hodnotami. Pro zbytek vyšetření byly pro výběr pacientů použity hodnoty C_{VOL} . Hodnoty jsou uvedeny v Tabulka č. 21 - Tabulka č. 27.

Typ vyšetření	Počet pacientů		
	Pracoviště A	Pracoviště B	Pracoviště C
Hlava	2119	3780	1610
Krk	17	68	28
Hrudník	111	826	338
Páteř	-	-	-
Břicho	458	4508	986
Pánev	51	87	20
Krční páteř	244	209	275
Hrudní páteř	86	-	-
Bederní páteř	352	646	-

Tabulka č.8 Tabulka počtu pacientů pro vyšetření výpočetní tomografií.

V Tabulka č.8 jsou uvedeny počty pacientů pro jednotlivá vyšetření a pracoviště. Ke zpracování byla vybrána jen vyšetření s vyšším počtem pacientů než 100.

Data pracoviště A

Typ vyšetření		Prům. hmotnosti [kg]	Prům. C_{VOL} [mGy]	Prům. $P_{KL,CT}$ [mGy]
Břicho	50-90 kg	74±11	5,6±2,0	286±116
	ruční	72±8	5,5±1,5	270±76
	5 % lem C_{VOL}	81±16	6,4±2,5	341±147
	5 % lem $P_{KL,CT}$	81±16	6,6±2,5	342±142
	10 % lem C_{VOL}	81±16	6,5±2,4	332±133
	10 % lem $P_{KL,CT}$	81±16	6,4±2,3	334±122
	Standard pacient	74±14	5,0±0,9	251±61
	S. p. $P_{KL,CT}$	75±15	5,0±1,0	252±52
		Medián hmotnosti [kg]	Medián C_{VOL} [mGy]	Medián $P_{KL,CT}$ [mGy]
	50-90 kg	75	5,0	253
	ruční	-	-	-
	5 % lem C_{VOL}	80	5,9	300
	5 % lem $P_{KL,CT}$	80	6,0	303
	10 % lem C_{VOL}	80	6,0	300
	10 % lem $P_{KL,CT}$	80	6,0	303
	Standard pacient	75	4,8	241
	S. p. $P_{KL,CT}$	75	4,8	241

Tabulka č.9 Tabulka vypočítaných hodnot C_{VOL} a $P_{KL,CT}$ pro břicho.

	Velikost lemu		
	Pracoviště A	Pracoviště B	Pracoviště C
Hlava	10%-35%	10%-30%	10%-70%
Krk	-	10%-60%	-
Hrudník	10%-50%	10%-40%	10%-25%
Páteř	-	-	-
Břicho	10%-40%	10%-40%	10%-40%
Pánev	-	-	-
Krční páteř	10%-40%	-	10%-30%
Bederní páteř	10%-50%	10%-40%	-

Tabulka č.10 Tabulka, která uvádí ke každému vyšetření použité procentuální lemy u výpočtu způsobem „standard pacient“ u všech pracovišť.

Z Tabulka č.8 je vidět, že nebylo zpracováno vyšetření páteře. V NDRÚ není specifikováno vyšetření páteře. Páteř se skládá z čtyř základních částí: krční, hrudní bederní a křížová. Z dat vyplývá, že je vždy vyšetřována jen část páteře. Pro zpracování byla vybrána jen vyšetření s dostatečným souborem pacientů.

U výpočetní tomografie všechna pracoviště, ze kterých byla poskytnuta data, měla hodnoty MDRÚ nižší než hodnoty NDRÚ. To naznačuje na správnou adaptaci principu optimalizace. Z Tabulka č. 28 je vidět, že průměrný pacient vyšetřovaný na těchto pracovištích je těžší než standardní pacient používaný při nynějším výpočtu MDRÚ.

Jako u skiografie se zde objevují podobné trendy. První již byl uveden v odstavci výše. Jedná se odlišné hmotnosti průměrného pacienta od standardního pacienta. Další podobný trend je zkreslování hodnoty MDRÚ u zpracování „standard pacient“. V Tabulka č.10 jsou uvedeny výsledné lemy při zpracování „standard pacient“. Opět se projevuje vyšší hmotnost pacienta. Vlivem vyšší hmotnosti máme při výpočtu vysoký horní lem. Po odstranění lemů je výsledná skupina zkreslená a výsledná MDRÚ je podhodnocená. Také nelze pro toto zpracování standardizovat velikost lemů pro jeden druh vyšetření. U většiny vyšetření napříč pracovišti se velikosti lemů mění.

Porovnání pracovišť

Jako u porovnání pracovišť u skiografie i u výpočetní tomografie jsou všechna data z přístrojů stejného typu. K porovnání byla vybrána vyšetření hlavy a hrudníku. Hodnoty jsou uvedeny v Tabulka č. 11. Pro tato vybraná vyšetření má nejnižší hodnoty pracoviště A. Pokud porovnáme všechna vyšetření, tak pracoviště A má nejvíce vyšetření s nejnižšími hodnotami. Zde lze konstatovat, že pracoviště má nejlépe optimalizované postupy a protokoly vyšetření.

Typ vyšetření		Prům. hmotnosti [kg]	Prům. C _{vol} [mGy]	Prům. P _{KL,CT} [mGy]	Medián hmotnosti [kg]	Medián C _{vol} [mGy]	Medián P _{KL,CT} [mGy]
Hlava Pracoviště A	10% lem	80±26	48,5±2,2	925±121	79	48,7	907
Hlava Pracoviště B	10% lem	80±18	53,0±2,5	978±151	79	50,7	953
Hlava Pracoviště C	10% lem	80±18	54,4±2,6	964±48	79	52,3	966
Hrudník Pracoviště A	10% lem	80±14	4,2±1,4	169±62	80	3,9	158
Hrudník Pracoviště B	10% lem	80±15	5,7±2,1	239±108	80	5,0	207
Hrudník Pracoviště C	10% lem	79±15	4,8±0,8	168±41	78	4,3	178

Tabulka č. 11 Tabulka vypočítaných hodnot pro vyšetření hlavy a hrudníku pro všechna pracoviště.

Diskuse

Pokud bychom zachovali stávající postup výpočtu MDRÚ („50-90kg“), který nejlépe vyhovuje stávajícímu doporučení NRS-RF, bylo by vhodné přizpůsobit standardního pacienta průměrnému vyšetřovanému pacientovi. Standardní pacient zahrnuje cca 65-72 % všech dat. Ve většině vyšetření byl průměrný vyšetřovaný pacient těžší než standardní pacient používaný v dosavadním výpočtu MDRÚ. Tato změna by více interpretovala pacienty, kteří jsou vyšetřováni. Zároveň by bylo jednodušší pro pracoviště s těžšími pacienty nasbírat větší a reprezentativnější vzorek pacientů pro výpočet MDRÚ.

Zpracování ručním sběrem vyhovuje stávajícímu doporučení NRS-RF. Na pracovištích bez možnosti elektronického sběru dat je to jediný způsob vyhodnocení zaznamenaných dat. Ruční sběr dat je bohužel velice ovlivněn chybovostí. Data se nejdříve musí ručně sepsat na záznamový arch a pak přepsat do elektronického systému. Při těchto úkonech mohou vznikat chybné údaje, například vlivem překlepů a nečitelností napsaných údajů. Při simulaci ručního sběru bylo potřeba projít cca 20-30 pacientů, abychom dostali skupinu 10 standardních pacientů splňující kritéria výpočtu. Pro menší pracoviště nebo pro pracoviště s těžšími pacienty je velmi obtížné tuto skupinu 10 standardních pacientů nasbírat. Obecně je soubor 10 pacientů velmi malý a výsledek je silně ovlivněn výběrem pacientů.

Zpracování způsobem „5 % lem“ a „10 % lem“ odfiltruje chybné a extrémní hodnoty ze souboru pacientů. Hmotnost pacienta je ve výpočtu jediná veličina, která není přímo měřená přístrojem. Ve většině případů je k hodnotám vyšetření dodávána například ze vstupních prohlídek při přijetí pacienta do nemocnice nebo z interních záznamů. Další nejistotou je celková pravdivost uvedené hmotnosti. Hmotnost je v menšině případů

získávána zvážení pacientů. Ve většině případů je pacient tázán na svoji hmotnost. Nikde pak nelze zjistit, jestli svoji hmotnost uvedl správně. Proto by bylo ideální celou proměnnou hmotnosti z výpočtu eliminovat. To nabízí způsob zpracování „5 % lem“ a „10 % lem“ s použitím průměru nebo hodnoty mediánu celého souboru pacientů na daném vyšetření. Tento postup celkově lépe odpovídá „typickému průměrnému pacientovi“. Při zavedení tohoto postupu by bylo vhodné podobným způsobem stanovit NDRÚ. Průměr je znatelně ovlivněn krajními hodnotami souboru dat. To se potvrdilo u zpracovaných dat. Při použití průměru ve výpočtu způsobem „5 % lem“ a „10 % lem“ tyto odlehle hodnoty eliminuje a tím průměr zpřesní. Celkový výsledek pak více reprezentuje skupinu pacientů.

Zpracování způsobem „standard pacient“ je pro praxi nepoužitelný. Při výpočtu je zřetelné, že standardní pacient, používaný při stávajícím výpočtu MDRÚ, je odlišný od průměrného typického pacienta. Velikosti lemů ukazuje odlišnost, že průměrné hmotnosti pacientů se liší pro různé typy vyšetření i pro různá pracoviště. Nelze standardizovat jednu sadu lemů pro vyšetření, které mají stanovené NDRÚ.

Na základě svých zjištění bych doporučil oddělit zpracování dat získaných ručním sběrem od automatického sběru. Velice špatně lze porovnávat 10 pacientů získaných ručním sběrem oproti stovkám a více pacientů získaných automatickým sběrem. Pracovištěm s ručním sběrem dat by stanovení hodnot MDRÚ mohlo zůstat neměnné.

Z mnou vyhodnocených dat je patrné, že použití mediánu při výpočtu nemá téměř žádný vliv pro výpočet způsobem „5 % lem“ a „10 % lem“. Při tomto druhu zpracování jsou výsledky téměř totožné a zároveň i velmi blízko mediánu celé vyšetřované skupiny. Jako hodnota MDRÚ by se pak mohl použít jen medián souboru pacientů pro jedno vyšetření.

U výpočtu způsobem „5 % lem“ a „10 % lem“ bych z dostupného zdroje a analýzy poskytnutých dat upřednostnil 10% lem při výpočtu. Samozřejmě záleží na chybovosti sesbíraného vzorku. 10% lem byl pro data, s kterými bylo počítáno vhodnější, kvůli jistotě odstranění všech chybných nebo extrémních hodnot.

Závěr

V rámci této bakalářské práce jsem prošel postupy stanovení místních diagnostických referenčních úrovní v radiodiagnostice. Na základě vyhodnocených dat současný výpočet MDRÚ, navržený pro standardního pacienta "50-90 kg", nezahrnuje celou skupinu vyšetřovaných pacientů. Zároveň průměrný vyšetřovaný pacient je těžší než standardní pacient. Doporučil bych přizpůsobit standardního pacienta průměrnému vyšetřovanému pacientovi.

Pracoviště bez automatického sběru dat by na základě získaných výsledků zůstalo vyhodnocení totožné. Jedinou změnou by bylo oddělení od pracovišť s automatickým

sběrem, s tím by souvisela i nutnost navržení různých způsobů hodnocení MDRÚ pro pracoviště s automatickým sběrem a s ručním sběrem dat.

Jako vhodnější z uvedených způsobů zpracování dat se z výsledků ukázal „10% lem“. Ze skupiny vyšetřovaných pacientů efektivně odstraní chybné a extrémní hodnoty a zpřesní tím výsledek. Konkrétně zlepší výsledek průměru.

Nejjednodušší způsob se ukázal při použití mediánu oproti průměru. Tento způsob výpočtu je o mnohem méně náchylný na extrémní a chybné hodnoty. Zároveň nejvíce odpovídá celkovému souboru pacientů.

Dalším zpřesněním, které vyplývá z ICRP 135, by mohlo u CT vyšetření rozdělení jednoho vyšetření dle konkrétní indikace. Jednotlivé indikace se vzájemně liší expozičními parametry, délkou vyšetření, rozsahem a také počtem fází. Bylo by proto vhodné provádět stanovení a hodnocení MDRÚ právě s ohledem na indikaci CT vyšetření.

Bibliografie

- [1] ICRP, 2017. Diagnostic reference levels in medical imaging. ICRP Publication 135. Ann. ICRP 46(1).
- [2] ICRU, 2005. Patient dosimetry for x rays used in medical imaging. Journal of the ICRU Vol 5 No 2 (2005) Report 74.
- [3] Věstník MZ ČR 2015, částka 6. Národní radiologické standardy – radiologická fyzika.
- [4] Loose, R.W., Vano, E., Mildemberger, P. et al. Radiation dose management systems—requirements and recommendations for users from the ESR EuroSafe Imaging initiative. Eur Radiol 31, 2106–2114 (2021).
- [5] Kate MacGregorová, Iris Li , Timothy Dowdell , Bruce G. Gray. Identifying Institutional Diagnostic Reference Levels for CT with Radiation Dose Index Monitoring Software. In: *pubs.rsna.org/journal/radiology* [online]. Praha: Avizer Z, 20. 4. 2015 [cit. 2023-10-30]. Dostupné z: <https://pubs.rsna.org/doi/full/10.1148/radiol.2015141520>
- [6] Lucie Sukupová. Diagnostická referenční úroveň jako nástroj optimalizace? In: *sukupova.cz* [online]. 18.11. 2019 [cit. 2021-06-09]. Dostupné z: <http://www.sukupova.cz/diagnosticka-referencni-uroven-jako-nastroj-optimalizace/>

- [7] Vyhláška č. 422/2016 Sb., o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje. In: *Zákony pro lidi* [online]. 14. prosince 2016. [cit. 2023-10-30]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-422>
- [8] Zákon č. 263/2016 Sb., atomový zákon. In: *Zákony pro lidi* [online]. 14. července 2014. [cit. 2023-10-30]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-263>
- [9] ICRP. Publikace ICRP In: *icrp.org/index.asp* [online]. [cit. 2021-06-09]. Dostupné z: <https://www.icrp.org/page.asp?id=5>
- [10] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Patient Radiation Exposure Monitoring in Medical Imaging, Safety Reports Series No. 112, IAEA, Vienna (2023). [cit. 2021-12-17] Dostupné z: <https://www.iaea.org/publications/14971/patient-radiation-exposure-monitoring-in-medical-imaging>
- [11] DICOM, About DICOM: Overview [cit. 2021-12-17] Dostupné z: <https://www.dicomstandard.org/about>
- [12] Choplin, R.; Boehme, 2., J.M.; Maynard, C. D. Picture archiving and communication systems: an overview , RadioGraphics. Vol. 12, No. 1, 1992. [cit. 2021-12-17].
Dostupné z: <https://pubs.rsna.org/doi/10.1148/radiographics.12.1.1734458>

Seznam obrázků

Obrázek č. 1 Strom kroků při stanovení a revizi MDRÚ. [3]	15
Obrázek č. 2 Strom kroků při hodnocení MDRÚ se střední dávkou na jeden přístroj. [3] .	17
Obrázek č.3 Histogram distribuce hmotností na počet pacientů pro vyšetření hrudníku v pozici PA na pracovišti A.	27
Obrázek č.4 Histogram distribuce hmotností na počet pacientů pro vyšetření hrudníku v pozici PA na pracovišti B.	28
Obrázek č.5 Histogram distribuce hmotností na počet pacientů pro vyšetření hrudníku v pozici PA na pracovišti C.	28
Obrázek č.6 Histogram distribuce hmotností na počet pacientů pro vyšetření krční páteře v pozici AP na pracovišti A.	29
Obrázek č.7 Histogram distribuce hmotností na počet pacientů pro vyšetření krční páteře v pozici AP na pracovišti B.	29

Obrázek č.8 Histogram distribuce hmotností na počet pacientů pro vyšetření krční páteře v pozici AP na pracovišti C.	30
---	----

Seznam tabulek

Tabulka č. 1 Hodnoty NDRÚ pro mamografii v závislosti na tloušťce komprimovaného prsu. [8]	14
Tabulka č. 2 Hodnoty NDRÚ pro diagnostická skiagrafická vyšetření [8].	22
Tabulka č. 3 Hodnoty NDRÚ pro výpočetní tomografii [8].	22
Tabulka č.4 Tabulka počtu pacientů pro každé vyšetření, které má hodnotu NDRÚ.	24
Tabulka č. 5 Tabulka vypočítaných mediánů a středních hodnot KAP metru pro vyšetření pánve AP, břicho AP a lebky v pozici PA a LAT.	25
Tabulka č. 6 Tabulka, která uvádí ke každému vyšetření použité procentuální lemy u výpočtu způsobem „standard pacient“ u všech pracovišť.	26
Tabulka č.7 Tabulka vypočítaných hodnot pro vyšetření hrudníku a břicha v pozici.	31
Tabulka č.8 Tabulka počtu pacientů pro vyšetření výpočetní tomografií.	32
Tabulka č.9 Tabulka vypočítaných hodnot C_{VOL} a $P_{KL,CT}$ pro břicho.	33
Tabulka č.10 Tabulka, která uvádí ke každému vyšetření použité procentuální lemy u výpočtu způsobem „standard pacient“ u všech pracovišť.	34
Tabulka č. 11 Tabulka vypočítaných hodnot pro vyšetření hlavy a hrudníku pro všechna pracoviště.	35
Tabulka č. 12 Tabulka vypočítaných mediánů a středních hodnot KAP metru pro vyšetření hrudníku v pozici PA a LAT a krční páteře v pozici AP a LAT.	40
Tabulka č.13 Tabulka vypočítaných mediánů a středních hodnot KAP metru pro vyšetření hrudní páteře v pozici AP a LAT a bederní páteře v pozici AP a LAT.	42
Tabulka č.14 Tabulka vypočítaných mediánů a středních hodnot KAP metru pro vyšetření krční páteře v pozici AP a LAT, hrudníku v pozici PA a hrudní páteře v pozici AP.	44
Tabulka č.15 Tabulka vypočítaných mediánů a středních hodnot KAP metru pro vyšetření bederní páteře v pozici AP a LAT, hrudní páteře v pozici LAT a břicha v pozici AP.	46
Tabulka č. 16 Tabulka vypočítaných mediánů a středních hodnot KAP metru pro vyšetření pánve v pozici AP.	47
Tabulka č.17 Tabulka vypočítaných mediánů a středních hodnot KAP metru pro vyšetření lebky v pozici PA a LAT a hrudníku v pozici PA.	48
Tabulka č.18 Tabulka vypočítaných mediánů a středních hodnot KAP metru pro vyšetření krční páteře v pozici AP a LAT a hrudníku v pozici LAT.	50
Tabulka č. 19 Tabulka vypočítaných mediánů a středních hodnot KAP metru pro vyšetření bederní páteře v pozici AP a LAT, břicha AP a pánve AP.	52
Tabulka č. 20 Tabulka vypočítaných hodnot C_{VOL} a $P_{KL,CT}$ pro krční páteř.	54
Tabulka č. 21 Tabulka vypočítaných hodnot C_{VOL} a $P_{KL,CT}$ pro hlavu a hrudník.	55
Tabulka č. 22 Tabulka vypočítaných hodnot C_{VOL} a $P_{KL,CT}$ pro bederní páteř.	56
Tabulka č. 23 Tabulka vypočítaných hodnot C_{VOL} a $P_{KL,CT}$ pro hlavu a hrudník.	57
Tabulka č. 24 Tabulka vypočítaných hodnot C_{VOL} a $P_{KL,CT}$ pro břicho a krk.	58
Tabulka č. 25 Tabulka vypočítaných hodnot C_{VOL} a $P_{KL,CT}$ pro bederní páteř.	59
Tabulka č. 26 Tabulka vypočítaných hodnot C_{VOL} a $P_{KL,CT}$ pro hlavu a hrudník.	60
Tabulka č. 27 Tabulka vypočítaných hodnot C_{VOL} a $P_{KL,CT}$ pro břicho a krční páteř.	61
Tabulka č. 28 Tabulka průměrných hodnot celých souborů dat pro jednotlivá vyšetření. .	62
Tabulka č. 29 Tabulka mediánů celých souborů dat pro jednotlivá vyšetření.	63

Tabulky

Skiografie

Data pracoviště A

Typ vyšetření		Prům. hmotnost [kg]	Prům. KAP [mGy×cm2]	Medián hmotnosti [kg]	Medián KAP [mGy×cm2]
Hrudník PA	50-90 kg	74±11	193±399	75	111
	ruční	72±6	98±43	-	-
	5 % lem	83±21	152±88	80	129
	10 % lem	83±19	142±59	82	129
	Standard pacient	75±16	100±21	75	100
Hrudník LAT	50-90 kg	74±10	542±727	75	354
	ruční	71±8	519±256	-	-
	5 % lem	86±21	581±398	84	459
	10 % lem	87±21	541±300	85	459
	Standard pacient	75±15	243±43	75	272
Krční páteř AP	50-90 kg	72±11	198±183	72	154
	ruční	66±8	122±57	-	-
	5 % lem	77±18	201±112	75	166
	10 % lem	77±17	190±88	75	166
	Standard pacient	75±17	166±62	75	157
Krční páteř LAT	50-90 kg	73±11	258±335	73	163
	ruční	70±12	216±112	-	-
	5 % lem	79±19	233±165	79	184
	10 % lem	78±19	211±113	79	184
	Standard pacient	75±18	159±54	75	150

Tabulka č. 12 Tabulka vypočítaných mediánů a středních hodnot KAP metru pro vyšetření hrudníku v pozici PA a LAT a krční páteře v pozici AP a LAT.

Hrudník PA: Průměrná hmotnost celého souboru pacientů 81 ± 23 kg a hodnota KAP 227 ± 469 mGy \times cm². Medián hmotnosti 80 kg a hodnoty KAP 129 mGy \times cm². Hodnota „Standard pacient“ byla vypočítána pro lem spodní 10% horní 45%.

Hrudník LAT: Průměrná hmotnost celého souboru pacientů 86 ± 23 kg a hodnota KAP 694 ± 778 mGy \times cm². Medián hmotnosti 84 kg a hodnoty KAP 461 mGy \times cm². Hodnota „Standard pacient“ byla vypočítána pro lem spodní 10% horní 60%.

Krční páteř AP: Průměrná hmotnost celého souboru pacientů 76 ± 20 kg a hodnota KAP 226 ± 210 mGy \times cm². Medián hmotnosti 75 kg a hodnoty KAP 168 mGy \times cm². Hodnota „Standard pacient“ byla vypočítána pro lem spodní 10% horní 20%.

Krční páteř LAT: Průměrná hmotnost celého souboru pacientů 79 ± 19 kg a hodnota KAP 289 ± 370 mGy \times cm². Medián hmotnosti 79 kg a hodnoty KAP 185 mGy \times cm². Hodnota „Standard pacient“ byla vypočítána pro lem spodní 10% horní 30%.

Typ vyšetření		Prům. hmotnost [kg]	Prům. KAP [mGy×cm2]	Medián hmotnosti [kg]	Medián KAP [mGy×cm2]
Hrudní páteř AP	50-90 kg	72±10	938±635	72	789
	ruční	70±9	955±425	-	-
	5 % lem	78±17	1061±620	75	948
	10 % lem	78±16	1031±526	75	948
	Standard pacient	75±15	890±399	74	820
Hrudní páteř LAT	50-90 kg	73±10	1047±814	72	821
	ruční	66±8	1008±527	-	-
	5 % lem	78±17	1139±770	76	936
	10 % lem	78±17	1065±578	76	936
	Standard pacient	75±17	791±324	73	779
Bederní páteř AP	50-90 kg	74±11	1119±782	75	934
	ruční	73±8	1085±449	-	-
	5 % lem	81±16	1416±874	80	1174
	10 % lem	80±15	1337±696	80	1165
	Standard pacient	75±12	955±340	75	916
Bederní páteř LAT	50-90 kg	74±11	2085±988	75	1942
	ruční	68±9	1631±597	-	-
	5 % lem	81±17	2427±1055	80	2233
	10 % lem	80±16	2340±844	80	2224
	Standard pacient	75±14	1900±496	75	1863

Tabulka č.13 Tabulka vypočítaných mediánů a středních hodnot KAP metru pro vyšetření hrudní páteře v pozici AP a LAT a bederní páteře v pozici AP a LAT.

Hrudní páteř AP: Průměrná hmotnost celého souboru pacientů 78 ± 19 kg a hodnota KAP 1145 ± 903 mGy \times cm². Medián hmotnosti 75 kg a hodnoty KAP 948 mGy \times cm². Hodnota „Standard pacient“ byla vypočítána pro lem spodní 10% horní 20%.

Hrudní páteř LAT: Průměrná hmotnost celého souboru pacientů 78 ± 19 kg a hodnota KAP 1302 ± 1217 mGy \times cm². Medián hmotnosti 76 kg a hodnoty KAP 940 mGy \times cm². Hodnota „Standard pacient“ byla vypočítána pro lem spodní 10% horní 30%.

Bederní páteř AP: Průměrná hmotnost celého souboru pacientů 82 ± 20 kg a hodnota KAP 1606 ± 1464 mGy \times cm². Medián hmotnosti 80 kg a hodnoty KAP 1174 mGy \times cm². Hodnota „Standard pacient“ byla vypočítána pro lem spodní 10% horní 35%.

Bederní páteř LAT: Průměrná hmotnost celého souboru pacientů 82 ± 20 kg a hodnota KAP 2546 ± 1544 mGy \times cm². Medián hmotnosti 80 kg a hodnoty KAP 2237 mGy \times cm². Hodnota „Standard pacient“ byla vypočítána pro lem spodní 10% horní 35%.

Data pracoviště B

Typ vyšetření		Prům. hmotnost [kg]	Prům. KAP [mGy×cm2]	Medián hmotnosti [kg]	Medián KAP [mGy×cm2]
Hrudník PA	50-90 kg	73±11	90±168	75	60
	ruční	73±8	54±19	-	-
	5 % lem	83±22	77±39	80	67
	10 % lem	83±20	72±25	80	67
	Standard pacient	75±16	54±8	75	55
Krční páteř AP	50-90 kg	72±10	109±49	73	97
	ruční	72±10	88±16	-	-
	5 % lem	80±21	119±47	77	104
	10 % lem	79±19	114±39	77	104
	Standard pacient	75±19	96±22	74	94
Krční páteř LAT	50-90 kg	72±10	80±48	73	73
	ruční	75±9	79±16	-	-
	5 % lem	80±21	81±28	77	76
	10 % lem	79±20	79±21	77	76
	Standard pacient	75±20	69±12	73	69
Hrudní páteř AP	50-90 kg	74±11	664±353	75	556
	ruční	73±11	699±191	-	-
	5 % lem	82±20	763±370	80	682
	10 % lem	82±20	741±302	80	682
	Standard pacient	74±17	493±103	73	482

Tabulka č.14 Tabulka vypočítaných mediánů a středních hodnot KAP metru pro vyšetření krční páteře v pozici AP a LAT, hrudníku v pozici PA a hrudní páteře v pozici AP.

Hrudník PA: Průměrná hmotnost celého souboru pacientů 82 ± 22 kg a hodnota KAP 116 ± 247 mGy \times cm². Medián hmotnosti 78 kg a hodnoty KAP 104 mGy \times cm². Hodnota „Standard pacient“ byla vypočítána pro lem spodní 10% horní 45%.

Krční páteř AP: Průměrná hmotnost celého souboru pacientů 80 ± 22 kg a hodnota KAP 131 ± 92 mGy \times cm². Medián hmotnosti 80 kg a hodnoty KAP 2237 mGy \times cm². Hodnota „Standard pacient“ byla vypočítána pro lem spodní 10% horní 30%.

Krční páteř LAT: Průměrná hmotnost celého souboru pacientů 80 ± 22 kg a hodnota KAP 89 ± 82 mGy \times cm². Medián hmotnosti 78 kg a hodnoty KAP 76 mGy \times cm². Hodnota „Standard pacient“ byla vypočítána pro lem spodní 10% horní 30%.

Hrudní páteř AP: Průměrná hmotnost celého souboru pacientů 83 ± 22 kg a hodnota KAP 815 ± 515 mGy \times cm². Medián hmotnosti 80 kg a hodnoty KAP 683 mGy \times cm². Hodnota „Standard pacient“ byla vypočítána pro lem spodní 10% horní 50%.

Typ vyšetření		Prům. hmotnost [kg]	Prům. KAP [mGy×cm2]	Medián hmotnosti [kg]	Medián KAP [mGy×cm2]
Hrudní páteř LAT	50-90 kg	74±11	547±342	75	465
	ruční	73±7	419±135	-	-
	5 % lem	83±23	614±338	80	536
	10 % lem	83±22	586±271	80	536
	Standard pacient	75±15	359±83	75	402
Bederní páteř AP	50-90 kg	72±11	682±405	72	563
	ruční	69±8	526±198	-	-
	5 % lem	81±33	884±544	80	713
	10 % lem	81±34	831±419	80	713
	Standard pacient	74±42	526±131	70	514
Bederní páteř LAT	50-90 kg	72±11	1297±609	72	1203
	ruční	70±10	971±354	-	-
	5 % lem	81±33	1537±684	80	1364
	10 % lem	81±34	1502±561	80	1364
	Standard pacient	75±40	1132±263	70	1138
Břicho AP	50-90 kg	72±13	1191±767	74	1018
	ruční	69±12	826±382	-	-
	5 % lem	75±24	1354±845	75	1143
	10 % lem	75±23	1256±619	75	1142
	Standard pacient	75±23	1256±619	75	1142

Tabulka č.15 Tabulka vypočítaných mediánů a středních hodnot KAP metru pro vyšetření bederní páteře v pozici AP a LAT, hrudní páteře v pozici LAT a břicha v pozici AP.

Hrudní páteř LAT: Průměrná hmotnost celého souboru pacientů 83 ± 22 kg a hodnota KAP 688 ± 573 mGy \times cm². Medián hmotnosti 80 kg a hodnoty KAP 541 mGy \times cm². Hodnota „Standard pacient“ byla vypočítána pro lem spodní 10% horní 40%.

Bederní páteř AP: Průměrná hmotnost celého souboru pacientů 83 ± 23 kg a hodnota KAP 972 ± 772 mGy \times cm². Medián hmotnosti 80 kg a hodnoty KAP 718 mGy \times cm². Hodnota „Standard pacient“ byla vypočítána pro lem spodní 10% horní 55%.

Bederní páteř LAT: Průměrná hmotnost celého souboru pacientů 82 ± 33 kg a hodnota KAP 1627 ± 982 mGy \times cm². Medián hmotnosti 80 kg a hodnoty KAP 1368 mGy \times cm². Hodnota „Standard pacient“ byla vypočítána pro lem spodní 10% horní 40%.

Břicho AP: Průměrná hmotnost celého souboru pacientů 76 ± 25 kg a hodnota KAP 1479 ± 1120 mGy \times cm². Medián hmotnosti 75 kg a hodnoty KAP 1150 mGy \times cm². Hodnota „Standard pacient“ byla vypočítána pro lem 5 nebo 10 % z obou stran.

Typ vyšetření		Prům. hmotnost [kg]	Prům KAP [mGy \times cm ²]	Medián hmotnosti [kg]	Medián KAP [mGy \times cm ²]
Pánev AP	50-90 kg	72 \pm 12	1187 \pm 664	72	1000
	ruční	70 \pm 9	841 \pm 191	-	-
	5 % lem	80 \pm 44	1347 \pm 715	76	1140
	10 % lem	80 \pm 46	1285 \pm 557	76	1133
	Standard pacient	75 \pm 59	887 \pm 194	70	887

Tabulka č. 16 Tabulka vypočítaných mediánů a středních hodnot KAP metru pro vyšetření pánve v pozici AP.

Pánev AP: Průměrná hmotnost celého souboru pacientů 81 ± 43 kg a hodnota KAP 1468 ± 1023 mGy \times cm². Medián hmotnosti 77 kg a hodnoty KAP 1152 mGy \times cm². Hodnota „Standard pacient“ byla vypočítána pro lem spodní 10% horní 45%.

Data pracoviště C

Typ vyšetření		Prům. hmotnost [kg]	Prům. KAP [mGy×cm2]	Medián hmotnosti [kg]	Medián KAP [mGy×cm2]
Lebka PA	50-90 kg	73±11	220±63	74	216
	ruční	71±8	224±45	-	-
	5 % lem	68±24	208±58	73	204
	10 % lem	69±22	207±45	73	204
	Standard pacient	69±22	207±45	73	204
Lebka LAT	50-90 kg	72±11	276±95	73	268
	ruční	74±7	282±60	-	-
	5 % lem	70±23	262±90	73	259
	10 % lem	71±23	260±78	73	259
	Standard pacient	71±23	260±78	73	259
Hrudník PA	50-90 kg	75±10	51±22	75	47
	ruční	71±11	47±11	-	-
	5 % lem	84±19	60±24	82	57
	10 % lem	83±18	59±20	82	56
	Standard pacient	75±14	44±8	75	44
Hrudník LAT	50-90 kg	75±11	168±102	76	149
	ruční	72±11	140±70	-	-
	5 % lem	85±17	205±105	85	170
	10 % lem	85±16	198±87	85	170
	Standard pacient	75±15	104±19	73	100

Tabulka č.17 Tabulka vypočítaných mediánů a středních hodnot KAP metru pro vyšetření lebky v pozici PA a LAT a hrudníku v pozici PA.

Lebka PA: Průměrná hmotnost celého souboru pacientů 68 ± 25 kg a hodnota KAP 212 ± 80 mGy \times cm². Medián hmotnosti 73 kg a hodnoty KAP 204 mGy \times cm². Hodnota „Standard pacient“ byla vypočítána pro lem spodní 10% horní 10%.

Lebka LAT: Průměrná hmotnost celého souboru pacientů 70 ± 25 kg a hodnota KAP 267 ± 115 mGy \times cm². Medián hmotnosti 73 kg a hodnoty KAP 259 mGy \times cm². Hodnota „Standard pacient“ byla vypočítána pro lem spodní 10% horní 10%.

Hrudník PA: Průměrná hmotnost celého souboru pacientů 84 ± 22 kg a hodnota KAP 64 ± 36 mGy \times cm². Medián hmotnosti 82 kg a hodnoty KAP 57 mGy \times cm². Hodnota „Standard pacient“ byla vypočítána pro lem spodní 10% horní 50%.

Hrudník LAT: Průměrná hmotnost celého souboru pacientů 84 ± 19 kg a hodnota KAP 226 ± 167 mGy \times cm². Medián hmotnosti 85 kg a hodnoty KAP 171 mGy \times cm². Hodnota „Standard pacient“ byla vypočítána pro lem spodní 10% horní 70%.

Typ vyšetření		Prům. hmotnost [kg]	Prům. KAP [mGy×cm2]	Medián hmotnosti [kg]	Medián KAP [mGy×cm2]
Krční páteř AP	50-90 kg	73±11	89±56	74	79
	ruční	74±8	76±21	-	-
	5 % lem	77±18	70±41	76	83
	10 % lem	77±17	88±32	76	83
	Standard pacient	75±16	79±25	75	78
Krční páteř LAT	50-90 kg	73±11	70±82	73	54
	ruční	73±7	53±20	-	-
	5 % lem	77±19	65±35	77	58
	10 % lem	77±18	61±25	77	58
	Standard pacient	74±17	49±15	75	49
Hrudní páteř AP	50-90 kg	73±10	633±396	74	533
	ruční	72±8	772±437	-	-
	5 % lem	80±18	780±466	80	690
	10 % lem	80±17	753±391	80	690
	Standard pacient	75±13	568±233	75	543
Hrudní páteř LAT	50-90 kg	73±11	484±352	73	377
	ruční	75±8	285±125	-	-
	5 % lem	78±20	549±351	78	475
	10 % lem	78±19	526±288	78	475
	Standard pacient	75±17	391±176	75	360

Tabulka č.18 Tabulka vypočítaných mediánů a středních hodnot KAP metru pro vyšetření krční páteře v pozici AP a LAT a hrudníku v pozici LAT.

Krční páteř AP: Průměrná hmotnost celého souboru pacientů 75 ± 21 kg a hodnota KAP 98 ± 70 mGy \times cm². Medián hmotnosti 75 kg a hodnoty KAP 83 mGy \times cm². Hodnota „Standard pacient“ byla vypočítána pro lem spodní 10% horní 20%.

Krční páteř LAT: Průměrná hmotnost celého souboru pacientů 76 ± 20 kg a hodnota KAP 79 ± 103 mGy \times cm². Medián hmotnosti 76 kg a hodnoty KAP 58 mGy \times cm². Hodnota „Standard pacient“ byla vypočítána pro lem spodní 10% horní 30%.

Hrudní páteř AP: Průměrná hmotnost celého souboru pacientů 80 ± 22 kg a hodnota KAP 820 ± 573 mGy \times cm². Medián hmotnosti 80 kg a hodnoty KAP 690 mGy \times cm². Hodnota „Standard pacient“ byla vypočítána pro lem spodní 10% horní 30%.

Hrudní páteř LAT: Průměrná hmotnost celého souboru pacientů 78 ± 22 kg a hodnota KAP 594 ± 469 mGy \times cm². Medián hmotnosti 78 kg a hodnoty KAP 475 mGy \times cm². Hodnota „Standard pacient“ byla vypočítána pro lem spodní 10% horní 30%.

Typ vyšetření		Prům. hmotnost [kg]	Prům. KAP [mGy×cm2]	Medián hmotnosti [kg]	Medián KAP [mGy×cm2]
Bederní páteř LAT	50-90 kg	74±10	848±421	75	789
	ruční	71±10	698±212	-	-
	5 % lem	81±17	994±451	80	915
	10 % lem	81±16	971±365	80	916
	Standard pacient	75±14	733±185	74	736
Bederní páteř AP	50-90 kg	74±10	623±416	75	523
	ruční	72±11	596±282	-	-
	5 % lem	81±16	796±515	80	649
	10 % lem	81±14	750±400	80	654
	Standard pacient	75±17	490±15	75	483
Břicho AP	50-90 kg	73±11	622±375	75	538
	ruční	72±10	574±179	-	-
	5 % lem	81±18	773±450	81	675
	10 % lem	81±16	732±343	81	675
	Standard pacient	75±14	515±156	75	509
Pánev AP	50-90 kg	73±10	991±537	75	887
	ruční	73±11	881±468	-	-
	5 % lem	80±16	1164±603	79	1001
	10 % lem	80±15	1111±458	78	1004
	Standard pacient	75±14	891±250	75	879

Tabulka č. 19 Tabulka vypočítaných mediánů a středních hodnot KAP metru pro vyšetření bederní páteře v pozici AP a LAT, břicha AP a pánve AP.

Bederní páteř LAT: Průměrná hmotnost celého souboru pacientů 81 ± 20 kg a hodnota KAP 1040 ± 614 mGy \times cm². Medián hmotnosti 80 kg a hodnoty KAP 916 mGy \times cm². Hodnota „Standard pacient“ byla vypočítána pro lem spodní 10% horní 40%.

Bederní páteř AP: Průměrná hmotnost celého souboru pacientů 82 ± 19 kg a hodnota KAP 897 ± 796 mGy \times cm². Medián hmotnosti 78 kg a hodnoty KAP 475 mGy \times cm². Hodnota „Standard pacient“ byla vypočítána pro lem spodní 10% horní 40%.

Břicho AP: Průměrná hmotnost celého souboru pacientů 82 ± 21 kg a hodnota KAP 835 ± 624 mGy \times cm². Medián hmotnosti 80 kg a hodnoty KAP 649 mGy \times cm². Hodnota „Standard pacient“ byla vypočítána pro lem spodní 10% horní 40%.

Pánev AP: Průměrná hmotnost celého souboru pacientů 81 ± 19 kg a hodnota KAP 1256 ± 850 mGy \times cm². Medián hmotnosti 78 kg a hodnoty KAP 475 mGy \times cm². Hodnota „Standard pacient“ byla vypočítána pro lem spodní 10% horní 30%.

Výpočetní tomografie

Data pracoviště A

Typ vyšetře ní		Prům. hmotnost [kg]	Prům. C _{vol} [mGy]	Prům. P _{KL,CT} [mGy]	Medián hmotnost [kg]	Medián C _{vol} [mGy]	Medián P _{KL,CT} [mGy]
Krční páteř	50-90 kg	73±11	6,1±2,2	145±69	75	5,4	127
	ruční	71±10	5,4±1,4	125±31	-	-	-
	5 % lem C _{vol}	77±16	6,2±1,9	144±49	79	5,6	134
	5 % lem P _{KL,CT}	77±15	6,2±1,9	146±46	80	5,7	135
	10 % lem C _{vol}	76±15	6,0±1,7	140±44	77	5,4	131
	10 % lem P _{KL,CT}	77±15	6,1±1,7	143±40	80	5,7	135
	Standard pacient C _{vol}	75±14	5,1±0,7	130±37	70	4,7	109
	Standard p. P _{KL,CT}	73±13	5,1±0,8	117±17	71	4,8	115

Tabulka č. 20 Tabulka vypočítaných hodnot C_{vol} a P_{KL,CT} pro krční páteř.

Typ vyšetření		Prům. hmotnost [kg]	Prům. C _{vol} [mGy]	Prům. P _{KL,CT} [mGy]	Medián hmotnost [kg]	Medián C _{vol} [mGy]	Medián P _{KL,CT} [mGy]
Hlava	50-90 kg	73±11	47,9±3,7	921±155	74	48,1	896
	ruční	69±10	47,6±3,6	886±86	-	-	-
	5 % lem	80±26	48,4±2,7	930±135	79	48,7	907
	10 % lem	80±26	48,5±2,2	925±121	79	48,7	906
	Standard pacient	75±15	47,4±1,7	887±108	75	47,6	881
Hrudník	50-90 kg	74±10	4,0±1,6	155±63	76	3,5	140
	ruční	72±9	3,3±1,2	127±45	-	-	-
	5 % lem	80±16	4,4±1,7	172±70	80	3,9	158
	10 % lem	80±14	4,2±1,4	169±62	80	3,9	158
	Standard pacient	75±12	3,1±0,5	133±35	72	3,1	116

Tabulka č. 21 Tabulka vypočítaných hodnot C_{vol} a P_{KL,CT} pro hlavu a hrudník.

Typ vyšetření		Prům. hmotnost [kg]	Prům. C_{vol} [mGy]	Prům. P_{KL,CT} [mGy]	Medián hmotnost [kg]	Medián C_{vol} [mGy]	Medián P_{KL,CT} [mGy]
Bederní páteř	50-90 kg	74±10	10,9±3,7	360±127	75	9,6	318
	ruční	70±9	9,3±0,7	302±35	-	-	-
	5 % lem	81±17	12,8±5,6	431±213	80	10,5	359
	10 % lem	81±16	12,3±4,5	414±183	80	10,6	360
	Standard	74±11	9,4±0,9	319±130	75	9,1	302
	pacient						

Tabulka č. 22 Tabulka vypočítaných hodnot C_{vol} a P_{KL,CT} pro bederní páteř.

Typ vyšetření		Prům. hmotnost [kg]	Prům. C _{vol} [mGy]	Prům. P _{KL,CT} [mGy]	Medián hmotnost [kg]	Medián C _{vol} [mGy]	Medián P _{KL,CT} [mGy]
Hlava	50-90 kg	73±10	52,8±2,5	1044±273	75	50,7	953
	ruční	73±9	52,3±2,5	1096±243	-	-	-
	5 % lem	80±18	52,8±2,5	1011±215	79	50,7	938
	10 % lem	80±18	53,0±2,5	987±151	79	50,7	953
	Standard pacient	-	-	-	-	-	-
Hrudník	50-90 kg	74±10	4,9±1,8	211±106	75	4,5	177
	ruční	71±9	4,8±1,7	222±130	-	-	-
	5 % lem	81±17	6,0±2,7	253±135	80	5,2	210
	10 % lem	80±15	5,7±2,1	239±108	80	5,0	207
	Standard pacient	74±11	4,6±0,8	184±63	75	4,3	168

Tabulka č. 23 Tabulka vypočítaných hodnot C_{vol} a P_{KL,CT} pro hlavu a hrudník.

Data pracoviště B

Typ vyšetření		Prům. hmotnost [kg]	Prům. C_{vol} [mGy]	Prům. P_{KL,CT} [mGy]	Medián hmotnost [kg]	Medián C_{vol} [mGy]	Medián P_{KL,CT} [mGy]
Břicho	50-90 kg	74±10	7,1±2,4	336±142	75	6,4	301
	ruční	71±5	6,2±1,2	283±52	-	-	-
	5 % lem	82±16	8,5±3,5	419±212	80	7,4	355
	10 % lem	81±15	8,2±2,8	403±180	80	7,4	355
	Standard pacient	75±13	6,5±1,0	309±87	75	6,3	300
	Krk	50-90 kg	75±9	7,7±2,5	246±124	7	221
	ruční	72±8	6,7±1,4	199±52	-	-	-
	5 % lem	83±16	8,5±2,5	264±98	80	8,6	262
	10 % lem	83±14	8,6±2,3	266±92	81	8,7	263
	Standard pacient	75±12	6,2±0,9	183±50	71	6,5	174

Tabulka č. 24 Tabulka vypočítaných hodnot C_{vol} a P_{KL,CT} pro břicho a krk.

Typ vyšetření		Prům. hmotnost [kg]	Prům. C_{vol} [mGy]	Prům. P_{KL,CT} [mGy]	Medián hmotnost [kg]	Medián C_{vol} [mGy]	Medián P_{KL,CT} [mGy]
Bederní páteř	50-90 kg	75±10	16,7±5,9	346±182	75	14,6	288
	ruční	71±10	16,4±6,9	355±175	-	-	-
	5 % lem	81±16	20,2±9,7	408±243	80	16	333
	10 % lem	81±14	19,4±7,4	395±200	80	16,4	339
	Standard pacient	75±11	14,4±1,4	304±119	74	14,1	263

Tabulka č. 25 Tabulka vypočítaných hodnot C_{vol} a P_{KL,CT} pro bederní páteř.

Typ vyšetření		Prům. hmotnost [kg]	Prům. C _{vol} [mGy]	Prům. P _{KL,CT} [mGy]	Medián hmotnost [kg]	Medián C _{vol} [mGy]	Medián P _{KL,CT} [mGy]
Hlava	50-90 kg	73±11	54,7±2,6	965±64	74	52,3	966
	ruční	72±10	54,6±3,1	922±42	-	-	-
	5 % lem	80±18	5,45±2,6	955±47	78	52,3	966
	10 % lem	80±18	54,4±2,6	964±48	79	52,3	966
	Standard	75±17	53,8±2,4	908±15	75	52,3	913,6
	pacient						
Hrudník	50-90 kg	73±11	4,3±1,4	172±59	74	3,9	153
	ruční	71±6	3,9±0,7	162±32	-	-	-
	5 % lem	79±18	5,0±2,1	201±90	77	4,2	174
	10 % lem	79±15	4,8±1,6	192±67	78	4,3	176
	Standard	75±12	4,1±0,8	168±41	75	4,0	158
	pacient						

Tabulka č. 26 Tabulka vypočítaných hodnot C_{vol} a P_{KL,CT} pro hlavu a hrudník.

Data pracoviště C

Typ vyšetření		Prům. hmotnost [kg]	Prům. C _{vol} [mGy]	Prům. P _{KL,CT} [mGy]	Medián hmotnost [kg]	Medián C _{vol} [mGy]	Medián P _{KL,CT} [mGy]
Břicho	50-90 kg	74±10	5,2±1,1	267±67	75	4,9	251
	ruční	69±8	5,2±0,9	260±50	-	-	-
	5 % lem	81±17	6,0±2,1	317±126	80	5,2	272
	10 % lem	81±14	5,8±1,5	307±92	80	5,3	276
	Standard pacient	73±11	4,9±0,4	252±34	74	4,8	249
Křční páteř	50-90 kg	74±11	7,9±19	158±45	75	7,3	152
	ruční	73±8	7,1±0,9	149±37	-	-	-
	5 % lem	80±16	8,5±2,3	172±56	80	7,7	160
	10 % lem	80±14	8,5±1,9	174±48	80	7,9	163
	Standard pacient	75±12	7,6±1,1	154±33	75	7,4	154

Tabulka č. 27 Tabulka vypočítaných hodnot C_{vol} a P_{KL,CT} pro břicho a křční páteř.

	Pracoviště A			Pracoviště B		
	Prům. hmotnost [kg]	Prům. C _{VOL} [mGy]	Prům. P _{KL,CT} [mGy]	Prům. hmotnost [kg]	Prům. C _{VOL} [mGy]	Prům. P _{KL,CT} [mGy]
Hlava	80±25	48,3±3,8	934±158	80±18	52±2,5	1050±275
Krk	-	-	-	84±17	8,8±3,1	286±154
Hrudník	81±17	4,6±2,0	180±81	83±20	6,4±3,4	278±189
Břicho	82±19	6,8±3,2	359±188	83±19	9,0±4,6	443±266
Krční páteř	78±16	6,4±2,3	154±70	85±21	9,2±3,7	215±140
Bederní páteř	83±19	13,7±6,9	464±254	83±18	22,3±13,1	452±313
	Pracoviště C					
Břicho	83±20	6,6±3,4	349±203			
Hlava	80±19	54,5±2,6	968±65			
Hrudník	81±20	5,4±2,8	217±118			
Krční páteř	80±17	8,8±2,7	178±63			

Tabulka č. 28 Tabulka průměrných hodnot celých souborů dat pro jednotlivá vyšetření.

	Pracoviště A			Pracoviště B		
	Medián hmotnost [kg]	Medián C _{vol} [mGy]	Medián P _{KL,CT} [mGy]	Medián hmotnost [kg]	Medián C _{vol} [mGy]	Medián P _{KL,CT} [mGy]
Hlava	79	48,7	908	79	50,7	953
Krk	-	-	-	81	8,7	263
Hrudník	80	4,2	164	80	5,2	212
Břicho	80	6,0	308	80	7,4	355
Krční páteř	80	5,7	135	-	-	-
Bederní páteř	80	10,7	365	80	16,4	346
	Pracoviště C					
Břicho	81	5,4	278			
Hlava	78	52,3	966			
Hrudník	79	4,3	176			
Krční páteř	80	7,8	163			

Tabulka č. 29 Tabulka mediánů celých souborů dat pro jednotlivá vyšetření.