

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI

FAKULTA ZDRAVOTNICKÝCH VĚD

Ústav radiologických metod

Bc. Klára Dominová

**Zobrazovací metody u polytraumatických pacientů se zaměřením
na výpočetní tomografii**

Diplomová práce

Vedoucí práce: MUDr. Jiří Weichet, Ph.D.

Olomouc 2021

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně a použila jen uvedené bibliografické a elektronické zdroje.

Olomouc 10. května 2021

.....

podpis

Poděkování

Mé poděkování patří MUDr. Jiřímu Weichetovi, Ph.D. za odborné vedení práce a ochotu, kterou mi při jejím zpracování poskytl. Dále děkuji MUDr. Davidu Girsovi za poskytnutí rad, materiálů ze svého výzkumu a hodnotných připomínek v průběhu vzniku práce. Rovněž děkuji Radiodiagnostické klinice Fakultní nemocnice Královské Vinohrady v Praze za poskytnutí dat do výzkumné části a rovněž za vstřícnost k její realizaci. V neposlední řadě děkuji své rodině, přátelům a kolegům za trpělivost a důvěru v celém procesu.

Anotace

Typ závěrečné práce:	Diplomová práce
Téma práce:	Vyšetřování mnohočetně poraněných pacientů
Název práce:	Zobrazovací metody u polytraumatických pacientů se zaměřením na výpočetní tomografii
Název práce v AJ:	Imaging methods in polytrauma patients with a focus on computed tomography
Datum zadání:	2020-01-28
Datum odevzdání:	2021-05-10
VŠ, fakulta, ústav:	Univerzita Palackého v Olomouci Fakulta zdravotnických věd Ústav radiologických metod
Autor práce:	Bc. Klára Dominová
Vedoucí práce:	MUDr. Jiří Weichet, Ph.D.
Oponent práce:	MUDr. Zuzana Sedláčková, Ph.D.

Abstrakt v ČJ:

Úvod: Diplomová práce se zabývá radiační zátěží pacientů s mnohočetným poraněním při vyšetření výpočetním tomografem a alternativami k jejímu snížení.

Cíle: Cílem diplomové práce je zjistit, jak vysoká je radiační zátěž pacientů s polytraumatem vyšetřených výpočetním tomografem s užitím různorodých alternativ, či jejich kombinací, cílících na její snížení.

Metodika: Výzkum byl uskutečněn na Radiodiagnostické klinice Fakultní nemocnice Královské Vinohrady a 3. lékařské fakulty Univerzity Karlovy v Praze. K retrospektivnímu sběru dat do kvantitativního výzkumu byl použit program xVision View. Sledovaný soubor tvořili pacienti indikováni k vyšetření CT polytraumatickým protokolem po příjmu do zařízení. Pacienti byli rozděleni do celkem šesti skupin, které jsou označeny písmeny A-F. Všichni pacienti nejprve podstoupili nativní vyšetření oblasti hlavy a krční páteře. Po nativním vyšetření následovalo vyšetření postkontrastní, a sice od úrovně očních po úroveň symfýzy. Pacienti skupiny A podstoupili dvoufázové vyšetření na přístroji Somatom Definition AS+, pacienti skupiny B pak dvoufázové vyšetření na přístroji Somatom Drive. Na přístroji Somatom Drive rovněž proběhla vyšetření skupin C a D, přičemž skupina C byla také vyšetřena dvoufázovým protokolem, avšak s fixním nastavením napětí; a skupina D byla vyšetřena jednofázově technikou split bolus. Skupiny E a F tvoří pacienti vyšetřeni dvoufázově na přístroji Somatom Definition AS+, přičemž pacienti skupiny E mají při postkontrastním vyšetřování polohované horní končetiny za hlavu a ve skupině F je pak mají uložené podél těla. Předmětem zkoumání byla u skupin A-D veličina Dose-Length Product (DLP), u skupin E a F odhad efektivní dávky. Ke zhodnocení dat byly zvoleny dvě metody testovací statistiky, konkrétně neparametrický Mann-Whitney U-test a parametrický Studentův dvouvýběrový t-test. Metody byly zvoleny na základě rozložení proměnných, které bylo ověřeno testem normality.

Výsledky: Ze zjištěných výsledků byl prokázán vysoce signifikantní rozdíl mezi skupinami B a D ($p < 0,01$). Při užití jednofázového CT protokolu došlo ke snížení průměrné hodnoty Total DLP o 21,58 % oproti dvoufázovému protokolu. Ve srovnání skupin A a B byl pak zjištěn signifikantní rozdíl ($p < 0,05$). Při sledování skupin B a C nebyla statisticky prokázána přítomnost signifikantního rozdílu ($p > 0,05$). Mezi skupinami E a F byl naopak zjištěn velmi vysoce signifikantní rozdíl ($p < 0,001$). Při polohování horních končetin podél těla u dvoufázového vyšetření došlo k navýšení průměrného odhadu efektivní dávky o 49,64 %.

Abstrakt v AJ:

Introduction: The diploma thesis deals with the radiation dose of patients with polytrauma during computed tomography examination and with radiation dose reduction options.

Aims: The aim of the diploma thesis is to find out how high the radiation dose is in patients with multiple trauma examined by a computed tomograph using dose reduction options or their various combinations.

Methodology: The research was conducted at the Radiodiagnostic department of the University Hospital Královské Vinohrady and the Third Faculty of Medicine, Charles University, Prague. While doing this quantitative research, xVision View programme was used for retrospective data collection. The research is focused on patients indicated for WBCT examination after their admission to the hospital. Patients were divided into six groups, namely A-F. All patients underwent a non-contrast examination of the head and cervical spine first. The non-contrast examination was followed by the post-contrast examination, after the administration of contrast agent, from the area of orbits to the symphysis. Group A patients underwent a biphasic examination on the Somatom Definition AS+, group B patients underwent a biphasic examination on the Somatom Drive. Groups C and D were also examined on the Somatom Drive – group C was examined using a biphasic protocol, but this time with a fixed voltage setting; and group D patients underwent a single-phase examination using the split bolus technique. Groups E and F consist of patients that underwent a biphasic examination on the Somatom Definition AS+, while group E patients have their upper limbs positioned behind their head during the post-contrast part of examination and group F patients have them placed along the body. The subject of research was the Dose-Length Product (DLP) in groups A-D, and the effective dose in groups E and F. Two methods of test statistic were chosen to evaluate the data, namely the nonparametric Mann-Whitney U-test and the parametric Student's two-sample t-test. The methods were chosen based on the distribution of variables, which was verified by a normality test.

Results: The results showed a highly significant difference between groups B and D ($p < 0,01$). When using a single-phase CT protocol, the average value of Total DLP was reduced by 21,58 %, compared with a biphasic protocol. Furthermore, a significant difference between groups A and B ($p < 0,05$) was found. There was no statistically significant difference in groups B and C ($p > 0,05$). On the contrary, a very highly significant difference was found between groups E and F ($p < 0,001$). When positioning the upper limbs along the body in a biphasic examination, the average effective dose was increased by 49,64 %.

Klíčová slova v češtině: polytrauma, urgentní medicína, celotělové zobrazování, diagnostické zobrazování, multidetektorová výpočetní tomografie, rychlý ultrazvuk, efektivní dávka, radiační dozimetrie

Klíčová slova v angličtině: multiple trauma, emergency medicine, whole body imaging, diagnostic imaging, multidetector computed tomography, focused assessment with sonography for trauma, effective dose, radiation dosimetry

Rozsah: 92 stran/2 přílohy

Obsah

Úvod.....	12
Vstupní studijní literatura	13
Popis rešeršní činnosti	14
1 Polytrauma.....	16
1.1 Definice	16
1.2 Polytrauma v číslech.....	17
1.3 Epidemiologie polytraumat	18
1.3.1 Polytrauma a senioři	19
1.3.2 Polytrauma a děti.....	19
1.4 Skórovací systémy.....	20
1.4.1 Abbreviated Injury Scale (AIS).....	21
1.4.2 Injury Severity Score (ISS).....	22
1.4.3 New Injury Severity Score (NISS)	22
1.4.4 Anatomic Profile (AP).....	23
1.4.5 Revised Trauma Score (RTS).....	23
1.4.6 Acute Physiology and Chronic Health Evaluation (APACHE)	24
1.4.7 Trauma Injury Severity Score (TRISS).....	25
1.4.8 A Severity Characterisation Of Trauma (ASCOT)	25
1.5 Advanced Trauma Life Support®	25
1.5.1 Primární posouzení pacienta.....	26
1.5.2 Sekundární posouzení pacienta	27
2 Ultrasonografie	28
2.1 Focused Assessment with Sonography for Trauma (FAST).....	28
2.1.1 Historie a vývoj FAST vyšetření.....	28
2.1.2 Princip vyšetření FAST	29
2.1.3 Princip vyšetření E-FAST	30

2.1.4	FAST – sestra versus radiolog.....	31
2.1.5	FAST v České republice.....	32
3	Skiografie.....	34
3.1	Radiační zátěž.....	34
3.2	RTG vyšetřování polytraumat	35
4	Výpočetní tomografie.....	38
4.1	Princip CT vyšetření a vzniku obrazu	38
4.2	Dual energy CT	41
4.3	Radiační zátěž.....	43
4.3.1	Volume CT Dose Index (CTDI _{vol})	43
4.3.2	Dose-Length Product (DLP).....	43
4.3.3	Efektivní dávka.....	44
4.3.4	Šetření pacienta vs. kvalita obrazu	44
4.4	Jodová kontrastní látka	45
4.4.1	JKL v polytraumatických protokolech, technika split bolus	46
4.5	CT vyšetřování polytraumat	47
5	Metodologie výzkumu.....	51
5.1	Výzkumný problém	51
5.2	Výzkumné cíle, otázky a hypotézy	52
5.3	Charakteristika souboru.....	53
5.4	Metody sběru dat	54
5.5	Realizace výzkumu.....	54
5.6	Zpracování dat	54
5.7	Výzkumné skupiny	55
6	Výsledky.....	60
6.1	Hodnocení radiační zátěže v souvislosti s počtem skenovacích fází.....	60
6.2	Hodnocení radiační zátěže v souvislosti s volbou CT přístroje.....	62

6.3	Hodnocení radiační zátěže v souvislosti s nastavením modulace napětí.....	64
6.4	Hodnocení dávkového zatížení pacienta v souvislosti s pozicí HK	66
7	Diskuze	68
	Závěr	76
	Referenční seznam.....	77
	Seznam zkratk	86
	Seznam tabulek	89
	Seznam obrázků.....	90
	Seznam grafů	91
	Seznam příloh	92

Úvod

Trauma obecně v současné době splňuje klasifikační kritéria pro globální pandemii. Dlouhodobě v čase zůstává významnou příčinou úmrtí obyvatel napříč všemi světovými kontinenty, a to i navzdory postupnému vývoji společnosti. Ačkoliv je v posledních letech s incidencí traumat, zejména v ekonomicky vyspělých zemích, spjat převážně sestupný trend, zaujímá trauma stále přední příčky v úmrtnosti či vzniku trvalých následků u dětí, mladistvých a mladých dospělých. Statistiky uvádějí, že mezi nejčastější mechanismy vzniku traumatu patří dopravní nehody, pády z výšky a úmyslně zaviněné násilí, mezi které mimo jiné patří i sebevraždy (Lecky et al., 2017, s. 27). Dle dat WHO tvoří následky traumatu z celkové mortality nejvíce výrazný podíl u věkových skupin 15-29 let a 30-49 let (Global Health Estimates 2019, WHO, 2020).

Klíčovou zobrazovací metodou primární diagnostiky mnohočetných traumat po příjmu do zařízení je v posledních letech tzv. celotělové CT (whole body CT, dále WBCT), neboli vyšetření jednorázově zachycující oblast hlavy, krku, hrudníku, břicha a pánve. Literatura vyzdvihuje WBCT především v souvislosti s rychlostí a dostupností tohoto vyšetření, a rovněž s kvantitou získaných informací, s čímž zároveň souvisí i minimalizace rizika přehlédnutí některé z patologií. Přítomnost pozitivního vlivu WBCT na snížení mortality ve srovnání s tzv. selektivním CT je stále diskutována (Corbacioglu et al., 2018, s. 142).

Největším negativem spojeným s WBCT je bezesporu výše radiační zátěže pacienta, související se zmiňovanou velikostí vyšetřovaného objemu. Zohledníme-li fakt, že pacienti s mnohočetným poraněním bývají převážně mladšího věku, stává se problematika radiační zátěže ještě závažnější. Právě u mladších pacientů může takto vzniklá radiační zátěž přispět k indukci postradiačních stochastických účinků (konkrétně karcinogeneze) v pozdějším věku (Corbacioglu et al., 2018, s. 144-145). V souvislosti s takto závažným aspektem vyšetření, které je dnes zároveň rutinně indikováno na denní bázi, se nabízí otázka: „Jaké u WBCT existují možnosti pro snížení radiační zátěže?“.

Cílem diplomové práce je zjistit, jak vysoké je radiační zatížení pacientů s polytraumatem vyšetřených pomocí WBCT s užitím různorodých alternativ, či jejich kombinací, cílících na jeho snížení. Dílčí cíle práce jsou pak věnovány zkoumání konkrétních proměnných, které mohou radiační zátěž pacienta pozitivně ovlivnit. Těmito proměnnými jsou technické parametry zvoleného CT přístroje, počet postkontrastních vyšetřovacích fází, pozice horních končetin při vyšetřování postkontrastními fázemi a nastavení přístrojové modulace hodnot napětí.

Vstupní studijní literatura

CHAWDA, M.N, F HILDEBRAND, H.C PAPE a P.V GIANNOUDIS. Predicting outcome after multiple trauma: which scoring system? *Injury* [online]. 2004, **35**(4), 347-358 [cit. 2021-01-13]. ISSN 00201383. Dostupné z: doi:10.1016/S0020-1383(03)00140-2

DAVIES, Ronnie M., Ashley B. SCRIMSHIRE, Lorna SWEETMAN, Michael J. ANDERTON a E. Martin HOLT. A decision tool for whole-body CT in major trauma that safely reduces unnecessary scanning and associated radiation risks: An initial exploratory analysis. *Injury* [online]. 2016, **47**(1), 43-49 [cit. 2019-12-08]. ISSN 00201383. Dostupné z: doi:10.1016/j.injury.2015.08.036

GEYER, Lucas, Markus KOERNER, Stefan WIRTH, Fabian MUECK, Maximilian REISER a Ulrich LINSENMAIER. Polytrauma: Optimal Imaging and Evaluation Algorithm. *Seminars in Musculoskeletal Radiology* [online]. 2013, **17**(04), 371-379 [cit. 2019-12-08]. ISSN 1089-7860. Dostupné z: doi:10.1055/s-0033-1356466

HICKETHIER, Tilman, Kamal MAMMADOV, Bettina BAESSLER, et al. Whole-body computed tomography in trauma patients: optimization of the patient scanning position significantly shortens examination time while maintaining diagnostic image quality. *Therapeutics and Clinical Risk Management* [online]. 2018, **14**, 849-859 [cit. 2019-12-08]. ISSN 1178-203X. Dostupné z: doi:10.2147/TCRM.S162074

LONG, Brit, Michael D. APRIL, Shane SUMMERS a Alex KOYFMAN. Whole body CT versus selective radiological imaging strategy in trauma: an evidence-based clinical review. *The American Journal of Emergency Medicine* [online]. 2017, **35**(9), 1356-1362 [cit. 2019-12-08]. ISSN 07356757. Dostupné z: doi:10.1016/j.ajem.2017.03.048

TIEN, Homer C., Lorraine N. TREMBLAY, Sandro B. RIZOLI, Jacob GELBERG, Fernando SPENCER, Curtis CALDWELL a Frederick D. BRENNEMAN. Radiation Exposure From Diagnostic Imaging in Severely Injured Trauma Patients. *The Journal of Trauma: Injury, Infection, and Critical Care* [online]. 2007, **62**(1), 151-156 [cit. 2019-12-08]. ISSN 0022-5282. Dostupné z: doi:10.1097/TA.0b013e31802d9700

WORTMAN, Jeremy R., Jennifer W. UYEDA, Urvi P. FULWADHVA a Aaron D. SODICKSON. Dual-Energy CT for Abdominal and Pelvic Trauma. *RadioGraphics* [online]. 2018, **38**(2), 586-602 [cit. 2019-12-08]. ISSN 0271-5333. Dostupné z: doi:10.1148/rg.2018170058

Popis rešeršní činnosti

Vyhledávací kritéria

Klíčová slova v češtině: polytrauma, urgentní medicína, celotělové zobrazování, diagnostické zobrazování, multidetektorová výpočetní tomografie, rychlý ultrazvuk, efektivní dávka, radiační dozimetrie

Klíčová slova v angličtině: multiple trauma, emergency medicine, whole body imaging, diagnostic imaging, multidetector computed tomography, focused assessment with sonography for trauma, effective dose, radiation dosimetry

Jazyk: čeština, angličtina, slovenština

Období: 2000-2020, dvě publikace z let 1975 a 1983



Databáze

Google Scholar, EBSCO, Medvik, Pub Med



Nalezeno

304 článků



Vyřazující kritéria

Název, abstrakt nebo obsah článku neodpovídal cílům práce, duplicitní články, nerecenzovaná periodika



Sumarizace využitých databází a dohledaných dokumentů

Google Scholar: 22

EBSCO: 14

Medvik: 4

Pub Med: 10



Pro tvorbu teoretických východisek bylo použito 50 dohledaných článků

Pro tvorbu diplomové práce byly dále použity čtyři monografie, jedna elektronická kniha, jeden Věstník MZČR a pět webových stránek obsahujících data WHO, ČSÚ, Eurostat a MZČR. Tyto zdroje jsou citovány v referenčním seznamu.

1 Polytrauma

1.1 Definice

Problematika polytraumat je v cizojazyčných zdrojích podrobně rozebírána již od druhé poloviny dvacátého století. Pojetí samotného pojmu polytrauma prošlo za toto časové období četnými proměnami, zejména pro jeho obtížnou definovatelnost. První pokusy o vytvoření definice pocházejí z počátku sedmdesátých let, např.: publikace z roku 1975 hovoří o polytraumatu jako o stavu, ve kterém je pacient postižen dvěma či více významnými poraněními (Border et al., 1975, s. 86).

Původně německé označení, doslovně znamenající mnohočetná poranění, „mehrfachverletzungen“, začíná být v této době do německé literatury překládáno a používáno jako slovo „polytrauma“, zatímco v literatuře anglicky mluvících zemí nacházíme varianty překladu jako „multiple trauma“ či „multiple injuries“. Slovo polytrauma se však v angličtině objevuje později ve spojení s válečnými veterány, kdy označuje spojení fyzické a psychické újmy na zdraví (Butcher et al, 2014, s. 107-108).

O dekádu později sledujeme v literatuře snahu o zpřesnění původní definice. V roce 1983 vydává Faist et al. publikaci, ve které vychází mimo jiné ze situace v Bavorsku, zejména v Mnichově, kde byly nejčastějším mechanismem příčiny výskytu polytraumat dopravní nehody. Z charakteru zranění a sledování křivky přežití nově definuje polytrauma jako dvě či více zranění, z nichž je alespoň jedno život ohrožující (Faist et al., 1983, s. 775).

V devadesátých letech dochází k dalšímu konkretizování pojmu – namísto dvou či více zranění nyní autoři používají označení zranění dvou či více tělních systémů (z nichž je alespoň jedno život ohrožující) apod. (Butcher et al., 2009, s. 14).

Mimo definování polytraumat z hlediska počtu vzniklých zranění a poraněných tělních systémů či orgánových skupin docházelo zároveň i k užívání dalších měřítek. Mezi ty patří mechanismus vzniku poranění, následná postižení, ohrožení života, závažnost dle skórovacího systému Injury Severity Score (ISS), kombinace ohrožení života a ISS, plnění specifických kritérií či kombinace ISS s imunitními a systémovými faktory.

Jednadvacáté století soustředí definici polytraumatu ke sjednocení výše zmíněných kritérií a k její všeobecné aplikovatelnosti. Autoři vycházejí z předpokladu, že taková definice musí být reprodukovatelná, dostatečně senzitivní i specifická, snadno použitelná při příjmu pacienta a dostatečně vypovídající o fyziologických i anatomických aspektech polytraumatu (Butcher et al., 2009, s. 13).

Právě detailní sledování okolností vzniku polytraumatu a vývoje zdravotního stavu pacienta po příjmu do zdravotnického zařízení ovlivňují novodobou interpretaci pojmu nejvýrazněji. Před tvorbou ISS vznikaly další skórovací systémy, jako je například Abbreviated Injury Scale (AIS), který používá současně aplikovaná definice, uznaná mezinárodním konsenzem v Berlíně – polytrauma je stav o alespoň dvou zraněních různých tělních systémů o AIS stupni tři a vyšším s alespoň jedním přidruženým jevem z pěti jmenovaných: hypotenze, acidóza, koagulopatie, porucha vědomí, věk 70 let a výše (Pape et al., 2014, s. 785-786). Skórovacím systémům je blíže věnována kapitola č. 1,4.

Pro tvorbu této diplomové práce byly využity literární zdroje označující stav mnohočetného poranění jako polytrauma i jako multiple trauma.

1.2 Polytrauma v číslech

Světová zdravotnická organizace (WHO) v rámci projektu Global Health Estimates (GHE) každoročně sbírá a vyhodnocuje statistická data týkající se příčin úmrtí občanů členských států WHO, přičemž poslední výstup tohoto šetření věnuje mimo jiné i srovnání příčin úmrtí mezi lety 2000 a 2019. Příčiny rozděluje do třech hlavních skupin, a to onemocnění nakažlivá, onemocnění nenakažlivá a zranění (Global Health Estimates 2019, WHO, 2020).

Sjednocená statistická data od WHO informující o mortalitě v souvislosti s přímo verifikovaným polytraumatem neexistují, dále v textu jsou jako referenční využita data spojená s traumaty obecně.

Zatímco zranění dle WHO tvořilo v roce 2000 8,6 % všech příčin úmrtí, k roku 2019 byl zaznamenán pokles na 8 %. Největší skupinou v oblasti příčin úmrtí v důsledku zranění jsou dopravní nehody – ty byly v roce 2000 desátou nejčastější příčinou, k roku 2019 byl zaznamenán pokles na dvanáctou pozici. Ve dvacítce nejčastějších příčin úmrtí ve státech WHO se z kategorie zranění rovněž objevují pády z výšky a sebevraždy. Ty však WHO eviduje pouze ve dvacítce z roku 2019, ve výčtu dvaceti nejčastějších příčin úmrtí v roce 2000 pády z výšky a sebevraždy vůbec nefigurovaly (Global Health Estimates 2019, WHO, 2020).

Tento fakt poukazuje na trauma jako na velmi aktuální rozvíjející se globální problém prostupující napříč všemi společenskými vrstvami. Zajímavá data, dokládající toto tvrzení, přináší výstup spolupráce WHO a Světové banky (World bank), v rámci které byly státy WHO rozděleny do skupin dle úrovně ekonomiky a příčiny smrti byly opět srovnávány mezi roky 2000 a 2019. Zatímco v zemích se slabou ekonomikou stále patří dopravní nehody do desítky nejčastějších příčin úmrtí a jejich četnost k roku stále 2019 stoupá, v zemích se silnější či silnou

ekonomikou tato četnost od roku 2000 postupně klesá a dopravní nehody rovněž postupně mizí z výčtu deseti nejčastějších příčin úmrtí (The top 10 causes of death, WHO, 2020).

Data týkající se příčin úmrtí rovněž shromažďuje a vyhodnocuje Statistický úřad Evropské unie (Eurostat). K roku 2017 zaznamenává všech sedmadvacet členských států EU 6 úmrtí v důsledku dopravní nehody a 10,8 v důsledku sebevraždy na 100 000 obyvatel.

V obou případech výrazně dominují muži, u kterých jsou úmrtí při dopravní nehodě dvakrát a v případě sebevraždy dokonce třikrát častější než u žen. V referenčním období mezi lety 2006 a 2016 je ovšem pozorována u obou pohlaví výrazná sestupná tendence v incidenci dopravních nehod – v jejich případě pak u mužů poklesla úmrtnost celkem o 40,7 %, u žen o 41,3 %. Globálně i v EU tvoří nejčastější příčinu úmrtí ischemická choroba srdeční (Statistika příčin smrti, Eurostat, 2020).

V České republice situaci mapuje Český statistický úřad (ČSÚ), dle kterého tvoří nehody k roku 2018 3,4 % všech úmrtí v České republice – pro srovnání, v roce 2009 to bylo 3,7 % úmrtí v populaci. Mnohem více alarmující jsou pak čísla spojená s věkem zemřelých, například v kategorii muži ve věku 15 až 24 let tvoří nehody průměrně 39 % všech úmrtí v Čechách (Havranová, 2019, s. 3-5). ČSÚ tak v České republice potvrzuje trend, který rovněž sleduje WHO globálně – úmrtnost v důsledku nehod a zranění je nejvíce výrazná u mladých lidí ve věku 15-29 let a dospělých ve věku 30-49 let (Global Health Estimates 2019, WHO, 2020).

1.3 Epidemiologie polytraumat

Se samotným vznikem polytraumat je spjata problematika mechanismu zavinění traumatu. Světová zdravotnická organizace dělí mechanismy zapříčinění nehod na úmyslné a neúmyslné. Do skupiny neúmyslných patří zmiňované dopravní nehody a pády z výšky, které v této skupině zároveň dlouhodobě udržují první dvě příčky v incidenci. Mezi další neúmyslně zapříčiněné nehody dále patří například popálení ohněm nebo horkými substancemi, kontakt s chemikálií či vysokým napětím, tonutí, vystavení těla vnější mechanické síle (např.: útok zvířete), či nehody zapříčiněné přírodními katastrofami (např.: zavalení sutinami). Skupinu úmyslně zaviněných nehod pak tvoří sebepoškození a/nebo sebevraždy, mezilidské násilí a hromadné násilí (např.: teroristický útok) (Global Health Estimates 2019, WHO, 2020).

Důsledkem působení mechanismu vzniku je pak zranění, izolované nebo mnohočetné = polytrauma. Současná literatura dělí trauma na dva typy dle charakteru zranění na penetrující, při kterém dochází k porušení kůže a průchodu předmětu skrze libovolnou tělní tkáň (čepel

nože, projektil ze zbraně apod.), a na tupé, z anglického blunt trauma, kdy na tělo působí určitá vnější síla, což je naprosto většinový typ polytraumat (Shkrum a Ramsay, 2007, s. 405-406).

Směrodatným faktorem pro závažnost polytraumat jsou pak části těla a tělní systémy, jež byly při jejich vzniku poškozeny. Dříve zmiňovaná definice uvádí polytrauma jako jev, při kterém jsou závažně poškozeny alespoň dva tělní systémy, ovšem pro následující úspěšnou léčbu je především podstatné, které konkrétní systémy poškozené jsou a jak velkou měrou.

Výzkumy ukazují i v této oblasti určité změny – zatímco nyní bývají nejčastěji poškozenými částmi těla hrudník a hlava, v minulosti se jednalo hlavně o končetiny a pánev. Tato změna je však v kontextu úmrtnosti poměrně nešťastnou, jelikož právě poranění hlavy, konkrétně mozku, jsou při polytraumatech obecně nejvíce rizikové v souvislosti s případným úmrtím. Ačkoliv je polytrauma většinově zaznamenáváno u mladších lidí, významnou část úmrtí v důsledku polytraumat tvoří senioři ve věku 65 let a více (Lecky et al., 2017, s. 27-31)

1.3.1 Polytrauma a senioři

Právě pacienti ve věku vyšším pětadesáti let jsou v otázce polytraumat poměrně specifickou skupinou. Ačkoliv nejčastějšími mechanismy vzniku, stejně jako u mladších generací, stále zůstávají dopravní nehody, objevují se u seniorů mnohem častěji drobné pády, které však, vzhledem k jejich věku, mnohočetná poranění způsobují také a musí jim být tudíž věnována vyšší pozornost (Giannoudis et al., 2009, s. 364-367).

Právě pády z nízké výše, přesněji z výše nižší než 20 stop (6 metrů), literatura řadí do tzv. nízkoenergetických traumat, z anglického low-energy trauma. Nízkoenergetická traumata bývají tedy více typická pro seniory. Jejich opakem jsou pak traumata vysokoenergetická, tzv. high-energy, mezi které patří dopravní nehody, nehody cyklistů, srážka chodce a pád z výše vyšší než 20 stop aj., které pozorujeme u mladších pacientů. (Hilaire et al., 2020, s. 1)

Senioři jsou znevýhodněni vyšší četností přítomných komorbidit, které znesnadňují celkovou léčbu. Avšak i u seniorů probíhá globální trend úspěšného postupného snižování úmrtnosti v důsledku polytraumat v čase. Úmrtnost polytraumatických seniorů však ale stále zůstává vůči mladším generacím až dvojnásobná (Giannoudis et al., 2009, s. 364-367).

1.3.2 Polytrauma a děti

Další specifickou skupinu v oblasti polytraumat tvoří pediatričtí pacienti do šestnácti let věku. Výraznou odchylku vůči dospělým pozorujeme již v mechanismech vzniku poranění, kde necelých dvacet procent tvoří zranění způsobené při sportech, většinou zimních. Smutné prvenství však stále drží dopravní nehody, které způsobují mnohočetná poranění u necelé poloviny dětských pacientů (Schalamon et al., 2003, s. 417-422).

U dětí bývají nejčastěji pozorována poranění hlavy a končetinová poranění. Léčba po prodělání mnohočetného traumatu dětských pacientů je z hlediska úmrtnosti pacientů nejúspěšnější – dětské pacienti vykazují nejnižší úmrtnost ze všech věkových skupin. Děti do šestnácti let věku jsou rovněž pacienty s poměrně nízkým výskytem trvalých následků. O výskytu trvalých následků a jejich rozsahu téměř vždy rozhoduje přítomnost závažného kraniálního traumatu (Schalamon et al., 2003, s. 417-422).

1.4 Skórovací systémy

Jak již napověděly kapitoly předchozí, závažnost traumat se v medicíně škáluje pomocí skórovacích systémů. Těchto systémů existuje celá řada a každý z nich nahlíží na traumata z odlišných perspektiv. Aby mohly být systémy aplikovatelné v praxi, musí mít však určité vlastnosti společné – těmi vlastnostmi jsou přesnost, spolehlivost a dostatečná specifická.

Pokud skórovací systém tato kritéria splňuje, lze z něj, po jeho přiřazení k pacientovu zdravotnímu stavu, předpovědět následky způsobené traumatem a porovnat realizovatelné možnosti terapie. Skórovací systémy rovněž slouží jako pomůcka pro triage pacientů a jako měřítko pro zlepšování kvality péče o pacienty a pro možnosti prevence. Systémy mimo jiné slouží i ve výzkumu.

První pokusy o vytvoření jakéhosi skórovacího systému pocházejí již ze starého Egypta. Raněný pacient byl tehdy zařazen do jedné ze třech skupin dle závažnosti traumatu: lze ho účinně léčit (i), nelze ho účinně léčit (ii), smrtelný stav (iii). Počátky skórovacích systémů v moderní historii pak sahají do padesátých let minulého století a týkaly se úrazů spojených s haváriemi lehkých letounů, později autonehod (Chawda et al., 2004, s. 348).

Právě zájem o následky dopravních nehod vyústil v tvorbu Abbreviated Injury Scale (AIS) na počátku sedmdesátých let. Tento systém zahrnoval třiasedmdesát nejčastějších zranění a stupnici o šesti stupních, která vyměřovala jejich závažnost od drobné po fatální. AIS později prošlo zhruba šesti dalšími obměnami, jeho největším mínusem však nadále zůstával izolovaný pohled na jednotlivá přítomná poranění.

Na tento nedostatek reagovala o tři roky později tvorba Injury Severity Score (ISS) – systému, který z AIS vychází, ale sumarizaci pacientova stavu do jediného čísla již umožňuje. V osmdesátých letech pak vzniká Anatomic Profile (AP), který naopak stav pacienta popisuje pomocí písmen namísto čísel.

Další proměnnou aplikovanou do vývoje skórovacích systémů byl fyziologický stav pacienta a vývoj tohoto stavu. V roce 1981 vzniká Trauma Injury Severity Score (TRISS), tento skórovací systém poskytoval doposud nejlepší predikci vývoje pacientova následného

zdravotního stavu a těšil se celosvětově velké oblibě. V osmdesátých letech rovněž vzniká Revised Trauma Score (RTS), čistě fyziologický systém, který se později stal jedním z nejpoužívanějších, a také tehdy vznikl systém APACHE – Acute Physiology and Chronic Health Evaluation, který k fyziologii pacienta hodnotí i přítomnost chronických obtíží.

V devadesátých letech se lékaři pokoušeli posunout tuto úroveň predikce ještě dál tvorbou ASCOT – A Severity Characterisation Of Trauma, což je systém komplexně shrnující AIS skóre, věk a fyziologický stav pacienta do jednoho číselného údaje. Poměrně slibně znějící systém se však nikdy nedočkal širšího využití. V devadesátých letech rovněž vycházely publikace reformující původní ISS do využitelnějších podob, například NISS – New Injury Severity Score, které se věnuje multiorgánovému selhání.

Poslední dodatek k již existujícím skórovacím systémům pochází z přelomu milénia a snaží se posunout predikci následného pacientova zdravotního stavu ještě dál. Tento systém označuje zkratka HARM – Harbview Assessment of Risk of Mortality.

Ve vztahu k proměnným, které jsou ke skórování využívány, lze systémy rozdělit do třech základních skupin:

- **Anatomické:** AIS, ISS, NISS, AP
- **Fyziologické:** RTS, APACHE
- **Kombinované:** TRISS, ASCOT, HARM (Chawda et al., 2004, s. 348-354) (Rapsang et al., 2015, s. 214-218).

1.4.1 Abbreviated Injury Scale (AIS)

Z původních třiasedmdesáti základních zranění, se kterými systém AIS pracoval, se postupnými obměnami dostává přes až 1300 zranění, tupých i penetrujících, na tzv. AIS-90. Poranění jsou škálována do šesti stupňů závažnosti na následující:

Tabulka 1 Závažnost poranění dle AIS

Stupeň	AIS skóre
1	Drobné zranění
2	Středně těžké poranění
3	Těžké poranění
4	Velmi těžké poranění
5	Kritické poranění
6	Fatální poranění

Zdroj: Chawda et al., 2004, s. 352

Ačkoliv pátý a šestý stupeň označují stavy ohrožení na životě, AIS sám o sobě nemůže být použit k predikci následného vývoje zdravotního stavu pacienta či mortality (Chawda et al., 2004, s. 352).

1.4.2 Injury Severity Score (ISS)

ISS je anatomický skórovací systém, jehož výsledkem je celkové hodnocení pacientů s mnohočetným poraněním. Každé z těchto traumat je hodnoceno stupnicí AIS a je zařazeno do skupiny dle anatomické oblasti výskytu – hlava a krk, obličej, hrudník, břicho, končetiny včetně pánve. K výpočtu ISS se pak z každé anatomické oblasti využívá jen to nejvyšší dosažené AIS skóre. U třech nejvíce postižených anatomických oblastí (tzn. u třech oblastí s nejvyšším AIS skóre) se z hodnoty AIS skóre vytvoří její druhá mocnina. Součet těchto tří druhých mocnin vytváří konečné ISS skóre vyjádřené jediným číslem.

Výsledné ISS skóre se pohybuje mezi hodnotami 1 a 75, hodnota 75 vždy náleží pacientu s alespoň jedním AIS stupně 6. Hlavní nevýhodou tohoto skórovacího systému je počítání s pouze třemi nejvýrazněji postiženými oblastmi, dochází tedy k výraznému podhodnocování oblastí zbývajících a zkreslení celkového zdravotního stavu pacienta (Chawda et al., 2004, s. 352).

Tabulka 2 Ukázka výpočtu ISS skóre

An. oblast	Popis poranění	AIS	AIS ²
Hlava a krk	Kontuze mozku	3	9
Obličej	Žádné poranění	0	
Hrudník	PNO, kontuze plic, fraktura žeber	4	16
Břicho	Drobná kontuze jater	2	
	Ruptura sleziny	5	25
Končetiny + pánev	Fraktura kosti stehenní	0	
Výsledek			50

Zdroj: Chawda et al., 2004, s. 353

1.4.3 New Injury Severity Score (NISS)

Tvorba NISS cílí na odstranění zmiňovaného zkreslování celkového zdravotního stavu pacienta. Podstata jeho výpočtu zůstává stejná – opět dochází ke sčítání tří nejvyšších druhých mocnin. Tentokrát se ale počítá se třemi nejzávažnějšími poranění dle AIS všeobecně, tzn. bez ohledu na anatomickou oblast. Nyní tedy mohou tři nejvíce závažná poranění pocházet z jedné anatomické oblasti apod.

1.4.4 Anatomic Profile (AP)

Další skórovací systém vytvořený v reakci na nedostatky ISS je tzv. Anatomický profil. Tento systém počítá pouze s poraněními o AIS stupni větším nebo rovným 3 a rozděluje je do čtyř kategorií dle regionu: A = hlava a mícha, B = hrudník + oblast krku zepředu, C = všechna ostatní vážná poranění, D = všechna ostatní poranění, která vážná nejsou. Hodnota AP se počítá jako součet druhých mocnin hodnot AIS všech vážných poranění u každého regionu a tento součet se následně odmocní dvěma. Výhodou Anatomického profilu je možnost výpočtu pravděpodobnosti přežití, a to metodami regresivní analýzy (Chawda et al., 2004, s. 353).

1.4.5 Revised Trauma Score (RTS)

Jedním z nejčastěji užívaných fyziologických skórovacích systémů je systém RTS. K vyjádření závažnosti poranění pacienta využívá tři fyziologické hodnoty – Glasgow Coma Scale (GSC), systolický krevní tlak a dechovou frekvenci (Chawda et al., 2004, s. 349).

GSC, neboli česky Glasgowská stupnice, je celosvětově využívaný nástroj pro okamžité stanovení úrovně vědomí pacienta. Je v běžném měřítku používána jako parametr pro určení stupně závažnosti poranění CNS, jejich souvislost již potvrdily četné studie. Pacient je bodován na základě odpovědí na podněty, které jsou vůči němu vysílány, přičemž jsou samostatně hodnoceny tři úrovně reakcí – otevírání očí, verbální odpověď a motorická odpověď. Každá úroveň je dle kvality odpovědi číselně ohodnocena a výsledky se sčítají. 13 a více bodů znamená přítomnost žádné nebo lehké poruchy vědomí, 9-12 bodů střední poruchu a 3-8 bodů závažnou poruchu vědomí. Nejnižšího možného počtu bodů, 3, většinou dosahují pacienti v klinické smrti či hlubokém kómatu (Rapsang et al., 2015, s. 214).

Tabulka 3 Glasgowská stupnice

Otevírání očí	Verbální odpověď	Motorická odpověď
4 – spontánní	5 – běžný orientovaný projev	6 – cílený pohyb dle pokynu
3 – na verbální podnět	4 – zmatený projev	5 – pohyb směřující k podnětu
2 – na bolestivý podnět	3 – nesouvislá slova	4 – od podnětu (úniková reakce)
1 – bez reakce	2 – nesrozumitelné zvuky	3 – necílená flexe končetiny
	1 – bez reakce	2 – necílená extenze končetiny
		1 – bez reakce

Zdroj: Rapsang et al., 2015, s. 215

GSC, systolický krevní tlak i dechová frekvence jsou při tvorbě RTS ohodnoceny dle kvality čísla 0 až 4. RTS je pak výsledný součet těchto hodnot, maximum je tedy 12. Každý

výsledek nižší než 11 je pak dle zahraničních zdrojů pro zdravotníky indikací pro převoz pacienta do nejbližšího traumacentra. Jediná nevýhoda tohoto (jinak po všech stránkách vyhovujícího systému) je fakt že není přizpůsobivý změnám fyziologických hodnot, které se ale mohou měnit velmi rychle, zejména u pacientů po intubaci nebo pod vlivem návykových látek (Chawda et al., 2004, s. 350).

Tabulka 4 Hodnocení dle systému RTS

GSC	STK	DF	hodnota
13-15	>89	10-29	4
9-12	76-89	>29	3
6-8	50-75	6-9	2
4-5	1-49	1-5	1
3	0	0	0

Zdroj: Chawda et al., 2004, s. 351

GSC rovněž využívá metodika Triáže ohrožení životních funkcí publikovaná ve Věstníku MZČR z roku 2008, která slouží jako směrodatné kritérium pro transport do nejbližšího traumacentra v České republice. Slouží k identifikaci pacientů s ohrožením vitálních funkcí $\geq 10\%$ před hospitalizací v nemocničním zařízení. Aby byl pacient triáž pozitivní, stačí aby vykazoval jeden pozitivní fyziologický nebo anatomický ukazatel nebo aby byl poraněn v důsledku jednoho ze šesti mechanismů, kdy:

- **Fyziologické ukazatele:** GSC < 13, syst. TK < 90 mmHg, dechová frekvence < 10 nebo > 29
- **Anatomické ukazatele:** pronikající kranio cerebrální, hrudní nebo břišní poranění, nestabilní hrudní stěna nebo pánevní kruh, fraktury ≥ 2 dlouhých kostí
- **Mechanismus poranění:** pád z výše > 6 m, přejetí vozidlem, sražení vozidlem rychlostí > 35 km/h, katapultáž z vozidla, zaklínění ve vozidle, smrt spolujezdce

Rozhodnutí o transportu do traumacentra dále ovlivňují tzv. pomocné faktory – věk méně než 6 či více než 60 let a přítomnost kardiopulmonální komorbidity (Věstník MZČR, 2008, s. 62).

1.4.6 Acute Physiology and Chronic Health Evaluation (APACHE)

Systém APACHE, hojně využíván ve zdravotních zařízeních po celém světě, používá k hodnocení zdravotního stavu pacientů dvě kritéria: možný vliv chronických onemocnění, kterými pacient trpí (např.: diabetes mellitus nebo jaterní cirhóza) a APS neboli Acute

Physiology Score. APS vypovídá o většině fyziologických dějů uvnitř pacienta; konkrétně o měřitelných vlastnostech v neurologické, kardiovaskulární, dýchací, renální, gastrointestinální, metabolické či hematologické soustavě pacienta.

I přes různé obměny či pokusy o doplnění, systém APACHE byl primárně vytvořen pro pacienty hospitalizované na jednotkách intenzivní péče, ne pro pacienty přijímané s traumatem (Chawda et al., 2004, s. 350-352).

1.4.7 Trauma Injury Severity Score (TRISS)

TRISS je zástupcem kombinovaných skórovacích systémů, které vznikají spojením systémů anatomických a fyziologických. V případě TRISS se jedná o kombinaci ISS a RTS systémů spolu s věkem pacienta. Výsledek může, jak u dětí, tak u dospělých, sloužit jako indikátor pravděpodobnosti přežití pacienta.

Hlavními mínusy systému TRISS jsou fakt, že ve svém hodnocení nepočítá s pacientovými chronickými onemocněními, a fakt, že, stejně jako ISS, počítá pouze se třemi nejvýrazněji postiženými anatomickými oblastmi.

1.4.8 A Severity Characterisation Of Trauma (ASCOT)

Systém ASCOT ve své podstatě vznikl jako lepší následník systému TRISS. Tento kombinovaný systém využívá již zmiňovaný Anatomic Profile (AP), RTS systém a rovněž věk pacienta. Aplikace AP umožňuje systému ASCOT kvalitněji zhodnotit závažnost poranění pacienta v souladu s postiženými anatomickými oblastmi čili rozeznává, že stejné stupně poranění odlišných anatomických oblastí znamenají odlišnou míru závažnosti těchto poranění (Chawda et al., 2004, s. 354-355).

1.5 Advanced Trauma Life Support®

Správné zhodnocení pacientova zdravotního stavu při mnohočetném poranění je ovšem jen první částí algoritmu péče o polytraumatického pacienta. Druhou, neméně důležitou, je pak včasná, adekvátní a správně provedená reakce týmu lékařů a zdravotníků na tento stav. Aby byla snaha zdravotního týmu co nejvíce efektivní, došlo v sedmdesátých letech minulého století k vývoji programu ATLS®, který je dnes zlatým standardem péče o pacienty s mnohočetným poraněním na celém světě.

Pohnutkou k vývoji tohoto životy zachraňujícího programu byla přitom nešťastná zkušenost jednoho z iniciujících lékařů. Při letu, který lékař absolvoval spolu se svou manželkou a čtyřmi dětmi, došlo k havárii a pádu letadla. Lékařova manželka zemřela na místě, děti utrpěly různě těžká zranění. Lékaři se po tom, čemu byl na vlastní kůži svědkem, zdál

system poskytování zdravotní péče v takto náročné situaci naprosto chaotický a nedostačující. Rozhodl se ho tedy reformovat a o několik let později vznikl program ATLS®.

Z nápadu vytvořit systém pro situace, kdy je v místě nouzové situace přítomen pouze jeden lékař a sestra, se později stal univerzální princip nepostradatelný pro urgentní přednemocniční péči. ATLS® je dnes aplikován v tzv. golden hour – označení pro jednu hodinu, která uplyne bezprostředně po vzniku polytraumatu.

Cílem tohoto programu je zajištění kriticky poraněného pacienta, k čemuž pomáhají týmu zdravotníků tři základní principy:

1. Vyřeš život ohrožující stavy jako první
2. Indikovanou léčbu zaháj i před tím, než znáš finální diagnózu
3. K započetí evaluace a léčby nemusíš znát podrobnou anamnézu pacienta.

Posouzení zdravotního stavu pacienta je dle ATLS® primární a sekundární. Život ohrožující stavy jsou společně diagnostikovány a léčeny ve stupni primárním. Ostatní zranění jsou hodnocena ve stupni sekundárním (Kool et al., 2007, s. 135-136).

1.5.1 Primární posouzení pacienta

Pacientovi je poskytnuta péče na základě pomůcky ABCDE, ve které je každé z písmen zkratkou pro důležitou oblast, kterou je třeba ošetřit a zajistit. Oblasti jsou za sebou chronologicky řazeny dle důležitosti a tým zdravotníků dle tohoto pořadí postupuje.

A) AIRWAY + C SPINE STABILIZATION

Zajištění průchodnosti dýchacích cest a stability krční páteře je v traumatologické péči prioritou číslo jedna. Průchodnost lze dle potřeby zajistit ručně či instrumentálně. V tomto kroku dále dochází k aplikaci kyslíkové masky či endotracheální intubace, opět dle potřeby.

Krční páteř zdravotníci imobilizují prostřednictvím krčního límce. Imobilizovaná zůstává až do jejího vyšetření po transportu do traumacentra.

B) BREATHING

Druhou částí je správná ventilace pacienta. Lékař zhodnotí přítomnost tenzního PNO, hemothoraxu či kontuze plic, tyto patologie je nutné řešit ihned. Spolehlivými řešeními pro tuto část je již zmiňovaná endotracheální intubace, mechanická ventilace, torakocentéza či torakostomie. Pro kontrolu ventilace je pacientovi nasazen pulzní oxymetr.

C) CIRCULATION

Následuje kontrola krevního oběhu a zastavení krvácení. Právě zástava krvácení je nyní prioritou, krvácení dělíme na vnější a vnitřní. Často dochází ke krvácení v oblasti břicha nebo pánve, které se zastavuje pánevním pásem, a po transportu se vyšetřuje pomocí FAST USG.

Dále dochází k měření krevního tlaku a tepové frekvence, zavádějí se alespoň dva intravenózní vstupy a odebírá se vzorek krve pro laboratorní diagnostiku.

D) DISABILITY

Čtvrtým krokem je kontrola neurologického stavu, nejčastěji prostřednictvím již zmiňovaného GSC. Nízké GSC může být způsobeno epidurálním či subdurálním hematomem nebo kontuzí mozku. Stav vědomí rovněž ovlivňuje přítomnost hypoxie nebo hypotenze.

E) ENVIRONMENT / EXPOSURE

Závěrečný krok je věnován jevům jako je hypotermie, popáleniny či poleptání chemikáliemi. Pacient je vysvléknut a kompletně zkontrolován, je mu měřena teplota (Kool et al., 2007, s. 136-137).

1.5.2 Sekundární posouzení pacienta

Po zajištění základních životních funkcí a převozu do nejbližšího traumacentra je realizováno sekundární zhodnocení pacienta, v jehož rámci je pacient kompletně vyšetřen, dochází k postupnému rozšiřování anamnézy a zkoumá se mechanismus vzniku polytraumatu.

Vyšetřen je skutečně každý tělní systém a anatomická struktura. V této části je klíčovým nástrojem CT vyšetření hlavy, krku, hrudníku, břicha a malé pánve. Na základě fyzikálního vyšetření jsou dále indikovány RTG snímky postižených končetin a kloubů (Kool et al., 2007, s. 137-138). Nutno dodat, že právě o výsledky vyšetření zobrazovacími metodami se rovněž opírá řada výše zmiňovaných skórovacích systémů. Právě zobrazovacím metodám bude věnována následující kapitola.

2 Ultrasonografie

V předchozí kapitole zmiňují posloupanost indikací zobrazovacích metod ve vyšetřovacím algoritmu mnohočetně poraněného pacienta, přičemž ultrasonografie je právě první metodou z nich.

Přístrojové vybavení umožňuje vyšetření pacienta u lůžka bezprostředně po jeho transportu na urgentní příjem, či přímo v sanitce – jeho proveditelnost je rychlá a snadno dostupná. Ultrazvukové vyšetření mnohočetně poraněných pacientů rychle a přehledně informuje tým lékařů a zdravotníků o stavu měkkých tkání a o přítomnosti volné tekutiny – poskytovaná zdravotní péče je tak v situacích, ve kterých jde o čas, mnohem více efektivní (Montoya et al., 2015, s. 1-3).

Výraznou výhodou ultrasonografie je to, že ke vzniku obrazu nevyužívá ionizující záření, nýbrž funguje na principu šíření mechanického vlnění. Oproti jiným zobrazovacím metodám tedy nezpůsobuje USG pacientovi žádnou radiační zátěž, lze ho tedy libovolně opakovat. Toto vyšetření navíc nemá v běžném diagnostickém využití prakticky žádné kontraindikace či nežádoucí účinky (Malíková et al., 2019, s. 47-48).

Mezi jediné limitace patří okolnosti spojené s pacientem, a sice obezita, nespolupráce pacienta či výrazná plynná náplň střev (střevní pneumatóza) – okolnosti znemožňující pořízení adekvátního obrazového záznamu. V případě limitovaného zobrazení cílové oblasti na USG je nutné zvážit indikaci dalších zobrazovacích metod (Malíková et al., 2019, s. 110-113).

2.1 Focused Assessment with Sonography for Trauma (FAST)

Oblast diagnostiky mnohačetných poranění je pro jejich komplikovanost a závažnost na zobrazovacích metodách prakticky závislá. Vliv ultrasonografie je pak patrný především v posledních dvou dekádách, ve kterých se sonografický přístroj stal nepostradatelnou součástí urgentních příjmů traumacenter po celém světě. Postup sonografického vyšetřování polytraumat za toto období rovněž prošel několika proměnami, které jsou popsány dále v kapitole (Montoya et al., 2015, s. 1).

2.1.1 Historie a vývoj FAST vyšetření

Poprvé se o USG ve spojitosti s vyšetřováním polytraumat začalo hovořit v roce 1996 a sice ve spojení s výskytem volné tekutiny nebo krvácením (hemoperitoneum) do břicha u hemodynamicky nestabilních pacientů. V jejich případě rychlý zásah chirurga mnohdy znamená záchranu života. Před zařazením vyšetření ultrazvukem se u těchto pacientů používala

peritoneální laváž¹, v rámci které lékař zhodnotil eventuální nutnost provedení chirurgického otevření dutiny břišní. Tato metoda je mnohem více invazivní i časově náročnější, než USG vyšetření, navíc jsou novější USG přístroje přenosné a pacienta lze vyšetřit přímo na urgentním příjmu bezprostředně po jeho přijetí – dochází tedy k téměř úplnému nahrazení peritoneální laváže ultrazvukem.

V roce 1999 došlo k ustálení pojmu Focused Assessment with Sonography for Trauma (dále FAST) jakožto vyšetření, které se vztahuje nejen na dutinu břišní, ale při kterém lékař rovněž hodnotí stav srdce a perikardiálního prostoru, nejčastěji opět pro přítomnost krvácení do některého z prostor, typicky hemoperikard.

Po přelomu milénia se FAST těší velké oblibě mezi lékaři, mimo jiné pro snadné čtení. V urgentní medicíně tedy postupně došlo k ještě většímu rozšíření působnosti tohoto vyšetření, a sice na pleurální dutinu. V rámci jednoho vyšetření se, mimo výše zmíněným patologiím, vyšetřující lékař věnuje i přítomnosti pneumothoraxu či hemothoraxu – dalším často přítomným stavům u polytraumatizovaných pacientů. Výzkumy z této doby potvrzují senzitivitu i specificitu v rozlišení PNO srovnatelnou se standardním rentgenovým snímkem plic. Tato rozšířená verze vyšetření dostává název E-FAST, kde písmeno E znamená anglický překlad slova rozšířený – extended (Montoya et al., 2015, s. 1-2) (Malíková et al., 2019, s. 49).

2.1.2 Princip vyšetření FAST

Tradiční metoda FAST využívá ke sledování vyšetřovaných orgánů čtyři základní pohledy: perihepatický (tzv. right upper quadrant view), perisplenický (tzv. left upper quadrant view), pelvický a perikardiální.

Hlavnímu cíli, odhalení přítomnosti anechogenní volné tekutiny v dutině břišní, což pro mechanismus úrazu bývá typicky hemoperitoneum, se věnují první tři z jmenovaných pohledů. FAST vykazuje pro odhalení hemoperitonea vysokou senzitivitu i specificitu, přičemž standardem je, že minimální objem volné tekutiny, kterou lze při tomto vyšetření detekovat, je 250 ml. Nestabilní pacienty s masivním hemoperitoneem lze efektivně vyšetřit a zhodnotit už během jediné minuty (Okeefe et al., 2016, s. 4).

První oblastí zájmu při použití perihepatického pohledu je Morrisonův prostor, lat. *recessus hepatorenalis*. Oblast mezi játry a pravou ledvinou je typicky prostorem, ve kterém dochází k hromadění volné tekutiny či krve. Perisplenický pohled je věnován oblasti splenorenálního recesu (úzkého zakřiveného prostoru mezi dolním pólem sleziny a levou ledvinou) opět pro přítomnost volné tekutiny.

¹ Výplach peritoneální dutiny skrze peritoneum.

První sledovanou oblastí pánve (pelvický pohled) je Douglasův prostor, lat. *excavatio rectouterina*. Oblast, kterou vpředu ohraničuje rektum a vzadu děloha, je nejnižší uložená oblast peritoneální dutiny u žen – čili je rovněž oblastí, ve které je značně pravděpodobný výskyt volné tekutiny či krve, zejména v poloze na zádech. U mužů je ze stejného důvodu sledován nepravý Douglasův prostor mezi zadní stranou močového měchýře a rektum, lat. *excavatio rectovesicalis*. (Schmidt, 2007, s. 16-30).

Perikardiálního pohledu lze dosáhnout subkostálním přiložením sondy. Oblast mezi parietálním a viscerálním perikardem je vyšetřována pro případný výskyt tekutiny. Při akutním krvácení do tohoto prostoru a vzniku hemoperikardu hrozí tvorba srdeční tamponády a následné selhání srdce (Montoya et al., 2015, s. 2-3).

2.1.3 Princip vyšetření E-FAST

S příchodem E-FAST se základní čtyři vyšetřovací pohledy obohatily o další čtyři: pravý a levý pleurální pohled, zajištěný interkostálními přístupy mezi šestým a devátým žebrem z každé strany, a dva přední pleurální pohledy (tzv. anterior pleural spaces) – přístupy mezi klíční kostí a prostory mezi 2. až 3. žebrem, opět z obou stran (Okeefe et al., 2016, s. 5).

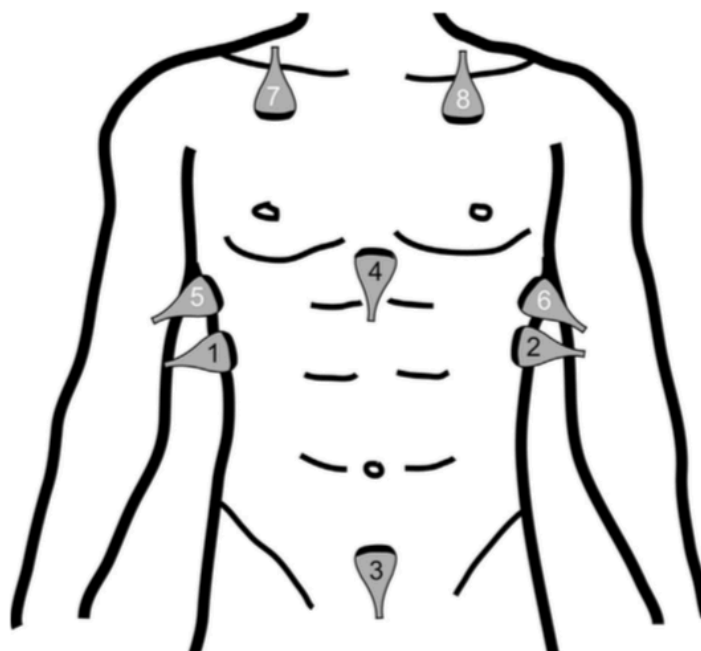


Figure 4 Scan areas for eFAST examination. FAST examination (black numbers) includes (1) right upper quadrant view, (2) the left upper quadrant view, (3) the pelvic view, and (4) pericardial view. Additional views with eFAST examination (white numbers), (5) right pleural space, (6) the left pleural space, and (7 and 8) the 2 anterior pleural spaces.

Obrázek 1 Přístupy při vyšetření E-FAST

Zdroj: Okeefe et al., 2016, s. 4

Volba tvaru ultrasonografické sondy k provedení vyšetření, a tedy i její frekvence, se v praxi odvíjí od habitu pacienta a dále dle vyšetřované oblasti – konkrétně od patologií, které v nich hledáme (Schmidt et al., s. 401-403).

Klíčovým nálezem při sonografickém vyšetřování dutiny hrudní je pneumothorax. Při správném provedení vyšetření a čtení obrazu vykazuje USG pro detekci PNO u mnohočetně poraněných dokonce vyšší senzitivitu než rentgenový snímek hrudníku. Rtg snímek hrudníku je obvyklou metodou volby při detekci PNO, ovšem u polytraumatizovaných pacientů není mnohdy možné snímek zhotovit ve standardní pozici, navíc vleže může být nález zkreslený pro posun plynu – vleže lze tedy v této situaci preferovat USG (Montoya et al., 2015, s. 4).

Ačkoliv sledování vzduchu není doménou ultrazvuku, zde paradoxně přítomnost vzduchu k evaluaci stavu pleury pomáhá. Za normálních okolností je pleura na USG detekovatelná jako hyperechogenní linie – periodicky pohybující se listy parietální a viscerální pleury mezi zastíněními tvořenými žebry v důsledku dechu pacienta pak vytvářejí tzv. lung sliding, fyziologický jev. Při PNO však lung sliding mizí, zůstává pouze jasný přechod mezi hyperechogenní pleurou a vzduchem, bez tohoto pohybu. Dalším fyziologickým jevem na USG je tzv. comet tail sign, znak vypadající jako ocas komety. Tento znak, vznikající jako artefakt při zobrazování pleury, má podobu hyperechogenních linek probíhajících právě od pleury směrem až za hranici obrazu. Pokud při vyšetřování dojde ke kombinaci těchto dvou nálezů – absence lung slidingu a absence comet tail sign – lze stoprocentně předpokládat přítomnost PNO (Montoya et al., 2015, s. 4-5) (Zhang et al., 2006, s. 2).

Pneumothorax je u polytraumat běžným nálezem, postihuje více než 20 % pacientů s tupým poraněním. Skutečně závažnou je pak přítomnost tenzního PNO, který může vést až k srdeční zástavě, vyžaduje tedy skutečně rychlé diagnostikování a léčbu. Naopak malé či středně velké pneumotoraxy život ohrožující nejsou, ovšem jejich nedostatečně rychlé odhalení může mezitím vést k progresi dýchacích nebo oběhových obtíží, zejména u nestabilních pacientů, což už fatální být může. Včasná správná detekce PNO u polytraumatických pacientů je tedy extrémně důležitá (Zhang et al., 2006, s. 1).

2.1.4 FAST – sestra versus radiolog

Zajímavá srovnání, právě v souvislosti s otázkou kvalitní diagnostiky prostřednictvím FAST, pocházejí z Austrálie, kde může za určitých podmínek USG vyšetření provádět sestra, v tomto případě sestra vyškolená a dlouhodobě pracující pro urgentní příjem, tzv. senior ED nurse. Studie z roku 2010 svou argumentaci opírá především o fakt, že přítomnost lékařů – FAST specialistů – není vždy v prostorách urgentního příjmu zaručena. Kdo je naopak v tomto systému přítomen vždy, je traumatologická zdravotní sestra. Právě zkušenosti nabyté při

konzistentním začlenění a práci v týmu urgentního příjmu by měly těmto sestřám zaručit znalosti vhodné pro samostatné provádění FAST, což je hypotéza, od jejíhož ověření si studie slibuje širší dostupnost tohoto vyšetření.

Do prospektivní studie v sydneyjském traumacentru bylo zařazeno celkem osm kvalifikovaných traumatologických sester s absolvovaným workshopem týkajícím se technického provedení a čtení USG vyšetření a účastí v akreditačním kurzu. Sestry po dobu výzkumu vyšetřily celkem 575 polytraumatických pacientů, přičemž hlavním cílem byla správná detekce přítomnosti volné tekutiny v břiše a pánvi. Kontrola probíhala formou srovnání s dalším vyšetřením, které pacient absolvoval – kontrastní CT vyšetření, nebo FAST provedený radiologem, který o výsledcích zaznamenaných sestrou nevěděl. Celková přesnost odhalení přítomnosti volné tekutiny při FAST provedeném sestrou byla 95 %. Studie na základě tohoto výstupu shledává působení sester a lékařů při vyšetřování metodou FAST jako velmi podobné (Bowra et al., 2010, s. 484-486).

2.1.5 FAST v České republice

USG vyšetření je standardní vyšetřovací metodou i v traumacentrech naší republiky (Girsa et al., 2019, s. 335). V současné době Česká republika disponuje celkem dvanácti traumacentry. Traumacentra jsou dle § 112 zákona č. 372/2011 centra vysoce specializované traumatologické péče, která zajišťují komplexní diagnostickou a léčebnou péči o triáž pozitivní pacienty a pacienty s těžkými úrazy. Aktuální seznam všech zdravotnických zařízení, kterým byl statut centra vysoce specializované traumatologické péče udělen, lze nalézt ve Věstníku Ministerstva zdravotnictví č. 3 z 8. 2. 2016 (Traumacentra, MZČR, 2016).

Centra vysoce specializované traumatologické péče pro dospělé:

- Nemocnice České Budějovice, a.s.
- Fakultní nemocnice Brno
- Fakultní nemocnice Plzeň
- Fakultní nemocnice Hradec Králové
- Fakultní nemocnice v Motole
- Fakultní nemocnice Olomouc
- Fakultní nemocnice Ostrava
- Krajská nemocnice Liberec
- Krajská zdravotní, a.s. – Masarykova nemocnice v Ústí nad Labem, o.z.
- Ústřední vojenská nemocnice – Vojenská fakultní nemocnice

- Fakultní nemocnice Královské Vinohrady
- Krajská nemocnice T. Bati, a.s.

Centra vysoce specializované traumatologické péče pro děti:

- Nemocnice České Budějovice, a.s.
- Fakultní nemocnice Brno
- Fakultní nemocnice Plzeň
- Fakultní nemocnice Hradec Králové
- Fakultní nemocnice v Motole
- Thomayerova nemocnice Praha
- Fakultní nemocnice Ostrava
- Krajská zdravotní, a.s. – Masarykova Nemocnice v Ústí nad Labem, o.z.
(Traumacentra, MZČR, 2016)

Otázce využívání metody FAST v českých traumacentrech se mimo jiné věnuje dotazníkové šetření realizované v roce 2019 lékaři Radiodiagnostické kliniky Fakultní nemocnice Královské Vinohrady a 3. lékařské fakulty Univerzity Karlovy v Praze. Otázky se zabývaly tím, kdo z lékařů FAST provádí, a dále problematikou hemodynamicky nestabilního pacienta.

V celkem devíti traumacentrech v ČR provádí FAST radiolog, v jednom pak lékař intenzivní péče a v jednom není lékař přesně určen. Jedno traumacentrum pak metodu FAST nevyužívá a nahrazuje ji rutinním USG vyšetřením břicha, které dělá radiolog.

V případě hemodynamicky nestabilních pacientů šetření zjišťovalo, zda při verifikaci hemodynamicky nestabilního stavu následně dochází k indikování celotělového CT. Při nálezů volné tekutiny na FAST u těchto pacientů indikuje celotělové CT sedm traumacenter, pět přechází rovnou k operaci (Girsa et al., 2019, s. 335-336).

3 Skiografie

Druhou, běžně využívanou, zobrazovací metodu pro diagnostiku mnohočetných poranění je skiografie. Rentgenové snímky se v případě polytraumat standardně pořizují prostřednictvím mobilního skiografického přístroje v prostorách urgentního příjmu po předchozím souboru vyšetření, v rámci kterého lékař stanoví rozsah vyšetřovaných oblastí. Zatímco sonografie, zmiňovaná v kapitole předchozí, je svou podstatou limitována ve zobrazování kostěných struktur či vzduchu, RTG snímky mají naopak tyto oblasti za cíl.

Skiografie je zobrazovací metoda využívající k tvorbě obrazu RTG záření. RTG záření je druhem ionizujícího záření, tzn. jeho kvanta mají energii dostačující k ionizaci atomů či molekul ozářené látky. Při indikování skiografického vyšetření je vždy nutné vzít v potaz radiační zátěž, která každé vyšetření provází, a indikaci pečlivě zvážit. Indikace i aplikace RTG záření by měla být vždy v souladu s principem ALARA (As Low As Reasonably Achievable), tzn. indikování skiografických snímků jen v případě, kdy je to skutečně nutné a při zhotovování snímků vystavení pacienta co nejnižší možné dávce záření za stále zachované požadované úrovně kvality obrazu. V oblasti skiografie se efektivní dávky záření na tkáň pohybují v úrovni jednotek mSv, což je hodnota srovnatelná s ročním příjmem ozáření z přírodních zdrojů. U vyšetření CT se však jedná o hodnoty násobně vyšší (Malíková et al., 2019, s. 11-13).

3.1 Radiační zátěž

S každou aplikací lékařského ozáření je tedy spojeno zatížení pacienta určitou radiační dávkou. Jsou známé dva druhy biologických účinků záření na tkáň – deterministické a stochastické. S deterministickými účinky se v moderní radiodiagnostice již téměř nesetkáváme, jelikož mechanismem jejich vzniku je překročení prahové dávky v cílové tkáni, v důsledku čehož dochází ke smrti buněk. Nevyhnutelnými jsou však účinky stochastické – mechanismus jejich vzniku nemá prahovou hodnotu a objevují se již při nízkých dávkách. Dochází k indukci mutací ozářených buněk, přičemž nelze jejich výskyt s jistotou předpovědět. Se zvyšující se dávkou nedochází ke zvyšování závažnosti poškození tkání (tak jako u deterministických účinků), nýbrž dochází k obecnému zvyšování pravděpodobnosti výskytu poškození tkání. Opakované expozice organismu RTG záření pak přispívají jejich vzniku postupným nárůstem tzv. kumulativní dávky. Projevy stochastických účinků mají pozdní charakter, klinický obraz se mění – typicky se jedná o karcinogeneze postižených buněk (Malíková et al., 2019, s. 11).

Snížení pravděpodobnosti vzniku stochastických účinků je možné cestou uvážených indikací aplikace lékařského ozáření. Každý požadavek na aplikaci RTG záření musí být předem jasně definován a zdůvodněn – přínos vyšetření musí vždy převyšovat riziko radiační

zátěže s ním spojenou. Lékař by měl před každou indikací zvážit užití alternativ bez radiační zátěže, rovněž by měl vzít v potaz načasování či možnou duplicitu vyšetření. Důležitý je pak odběr relevantních klinických informací o pacientovi, zejména pak u žen, kde je rozhodující gravidita. Účinky působení záření na plod se odvíjí od stáří plodu – hrozí mimo jiné spontánní potrat, růstové či mentální retardace nebo karcinogeneze (Malíková et al., 2019, s. 7-11).

3.2 RTG vyšetřování polytraumat

Role začlenění RTG snímků do vyšetřovacího algoritmu mnohočetně poraněných pacientů se za posledních několik dekad výrazně změnila. Důvodem je silný rozvoj a expanze CT vyšetřování, které skiagrafické snímky často předčí svou senzitivitou i specificitou, snadnou dostupností a jednoduchostí provedení.

Původně byly polytraumatickému pacientovi bezprostředně po jeho přijetí do traumacentra zhotoveny rentgenové snímky pánve a hrudníku vleže v předozadní (AP) projekci, a to ve stejném prostoru vyšetřovacího algoritmu, jako již zmiňované sonografické vyšetření. Některá zařízení do této vyšetřovací série navíc začleňovala i RTG snímky krční páteře v předozadní a laterální projekci. Všechny tři tyto anatomické oblasti jsou však začleněny do polytraumatického CT vyšetřovacího protokolu. CT vyšetření poskytuje oproti skiografii přehlednější a detailnější informace o eventuální přítomnosti a stavu patologií, které mohou být život ohrožující, což v kombinaci s nenáročným provedením a rychlostí vyšetření znamenalo postupné takřka úplné nahrazení RTG snímků CT celotělovým vyšetřením (WBCT) (Jiang et al., 2014, s. 1-9).

Některé zahraniční studie navíc, v souvislosti s tímto trendem, poukazují i na snižování celkové mortality polytraumatizovaných a rovněž zkrácení doby jejich pobytu na urgentním příjmu (Jiang et al., 2014, s. 1-9). Existují však studie, které s tímto stanoviskem nesouhlasí, například studie REACT 2, která srovnává užití WBCT a selektivního CT v kombinaci s dalšími zobrazovacími metodami. Tato studie vliv WBCT na snížení celkové mortality neprokázala (Sierink et al., 2016, s. 1-9).

Důvodem začlenění snímku pánve do původního systému ATLS bylo vyloučení přítomnosti fraktur pánve, jejichž přítomnost by mohla negativně ovlivnit hemodynamickou stabilitu pacienta. Fraktury pánve obecně patří k jedněm z nejvíce závažných a nebezpečných poranění, které v rámci mechanismu traumatu vznikají, a kterým je rovněž přičítána jedna z nejvyšších mortalit. Verifikace těchto fraktur však není na RTG snímcích zhotovených mobilním skiagrafickým přístrojem z hlediska senzitivity příliš úspěšná, nýbrž se pohybuje pouze kolem 50-60 %, navíc přináší falešně pozitivní či negativní nálezy. V detekci fraktur

pánve je tedy CT mnohonásobně přesnější a spolehlivější, navíc umožňuje sledování pánve i z hlediska přítomnosti volné tekutiny. Současně je tedy CT doporučováno pro vyšetřování pánve jako metoda číslo jedna a snímek pánve eventuálně jako doplnění až po pozitivním nálezu na CT či po odstranění pánevního pásu (Kessel et al., 2007, s. 559.561) (Moraes et al., 2020, s. 1-3).

Podobně předčilo CT i skiagrafické snímky krční páteře. Ke zhotovení kvalitních snímků krční páteře je zapotřebí mimo jiné určitá kooperace pacienta, např.: pro zobrazení atlantookcipitálního skloubení široké rozevření úst, což není s přihlédnutím na zdravotní stav polytraumatických pacientů v naprosté většině reálné. Zhotovení multiplanárních či 3D objemových rekonstrukcí poskytuje lékařům mnohem širší penzum informací, než RTG snímky, a to i přes absenci jakékoliv spolupráce ze strany pacienta (Guarnieri et al., 2016, s. 1-3).

Zatímco snímkování pánve a krční páteře z urgentních příjmů po celém světě postupně vymizelo, RTG zobrazování hrudníku je rutinně stále využíváno. Svůj význam má při verifikaci volného vzduchu či tekutiny v oblasti dutiny hrudní zejména v případě péče o hemodynamicky nestabilního pacienta. Nenahraditelný je pak jako součást algoritmu přípravy pacienta na operační zákrok (tzv. předoperační snímek plic) a rovněž jako nástroj ke kontrole polohy zajištěných vstupů, jako je endotracheální kanyla či centrální žilní katetr – u polytraumat velmi často zajišťované. Zároveň slouží jako nástroj k ověření pozice hrudních drénů, pokud jsou zavedené (Wisbach et al., 2007, s. 74-77).

Zajímavou cestou ve snímkování polytraumat je pak metoda Statscan – přístroj vytvořený fúzí klasického skiagrafického stroje a pohyblivého C-ramene. V České republice instalován není, využíván je např. ve švýcarském Bernu. Plynulý pohyb rentgenky na závěsném rameni okolo ležícího pacienta umožňuje stroji náběr 2D obrazových dat v předozadní a laterální rovině, včetně zvětšování obrazu v oblasti patologií pro detailnější diagnostiku – bez ztráty potřebného rozlišení. Statscan ke sběru dat využívá nízkodávkový silně kolimovaný RTG paprsek emitovaný z rentgenky upevněné na konci C-ramene, který dopadá na sadu detektorů na konci protilehlém, přičemž celé rameno vykonává kontinuální pohyb. Ramenem lze rotovat pro dosažení laterálního pohledu. Výsledkem je celotělový náběr dat, který je zatížen výrazně nižší radiační dávkou než celotělové CT. Na základě verifikovaných patologií na Statscanu lze následně doplnit již pouze selektivní CT vyšetření, bez nutnosti aplikovat celotělový protokol, čímž se výrazně snižuje celkové radiační zatížení, které pacient obdrží (Exadaktylos et al., 2008, s. 525-529).

Statscan ani CT ovšem nejsou, pro svůj princip zobrazování pacienta pouze vleže na zádech, schopni ve zobrazování polytraumat nahradit RTG snímky končetin. V rámci fyzikálního vyšetření mnohočetně poraněného pacienta lékař indikuje RTG vyšetření pro verifikaci suspektních fraktur, pro které je klíčové přesné zobrazení kostí a kloubů ve specifických na sobě kolmých rovinách, bez sumace okolních struktur těla, čehož lze dosáhnout pouze selektivním osnímkováním RTG přístrojem. Přesná projekční data jsou následným vodítkem v terapii fraktur – kterou typicky bývá operativa. Čili ačkoliv je dnes skiagrafická série krční páteř – hrudník – pánev do určité míry nahrazena, skiografie zůstává v otázce polytraumat výtěžnou metodou.



Obrázek 2 Přístroj Statscan

Zdroj: Exadaktylos et al., 2008, s. 526

4 Výpočetní tomografie

Klíčovou zobrazovací modalitou pro vyšetřování polytraumatických pacientů je v současné době výpočetní tomografie, dále jen CT. Metoda tzv. whole body CT (WBCT), v rámci jejíhož protokolu je pacient vyšetřen kompletně od oblasti hlavy až po oblast malé pánve včetně, a její použití je však stále diskutovaným tématem. Literatura jako hlavní přínosy tohoto vyšetření uvádí dostupnost a jednoduchost provedení, kvalitu i kvantitu nasbíraných dat, minimalizaci výskytu neodhalených zranění či patologií a s nástupem této metody i pokles úmrtnosti mnohočetně poraněných.

V kontrastu s přínosy pak stojí negativum v podobě vysoké radiační zátěže, které je každý pacient při takto rozsáhlém CT vyšetření vystaven. Vezmeme-li v potaz, že pacienti s polytraumatem bývají převážně mladšího věku, a že může expozice RTG záření později potencovat změny na buněčné úrovni (viz předchozí kapitola), je toto negativum skutečně zásadní (Corbacioglu et al., 2018, s. 142-147). Optimalizace provozu s cílem snížení radiační zátěže je aktuálním a široce zkoumaným trendem, kterému je rovněž věnován výzkum této diplomové práce.

4.1 Princip CT vyšetření a vzniku obrazu

CT zobrazování vychází ze stejného principu, jako zobrazování skiagrafické – vyjádření rozdílné absorpce RTG záření tkáněmi a orgány prostřednictvím stupňů šedi. Zatímco produktem skiografie je 2D obraz, produktem CT jsou trojrozměrná data složená z 2D vrstev (řezů), které jsou při vyšetřování postupně nabírány. Tato data lze následně libovolně rekonstruovat do rozličných obrazových podob, což z CT činí vyšetření přinášející široké množství informací o vyšetřovaném objemu.

CT přístroj je složen ze dvou částí – z prstencovité gantry, ve které je umístěna rentgenka a systém detektorů uspořádaných v řadách², a z vyšetřovacího stolu pro pacienta. Při vyšetřování pacienta dochází k synchronní rotaci rentgenky a systému detektorů uvnitř gantry, zatímco skrze gantry plynule projíždí vyšetřovací stůl. Díky tomu prochází rentgenový svazek napříč jednotlivými vrstvami sledovaného objemu z různých směrů. Tento svazek je tenký, kolimovaný do tvaru vějíře, přičemž právě kolimace udává tloušťku jednotlivé sledované vrstvy. Protilehlé detektory měří intenzitu atenuace³ prošlého RTG záření napříč vyšetřovaným objemem. Tato data jsou následně počítačově zpracovávána, přičemž výsledkem jsou

² Multidetektorová CT (MDCT) získávají simultánně více datových stop z více vrstev, což přináší zkrácení doby vyšetření za stále stejně kvalitního, či dokonce kvalitnějšího rozlišení.

³ Atenuace je celková redukce množství záření po průchodu objektem.

informace o atenuaci jednotlivých bodů, kterým jsou zároveň přiřazeny souřadnice udávající jejich výskyt uvnitř vrstev. Tyto numerické údaje jsou převáděny do stupňů šedi, čímž jsou tvořeny CT řezy (Prokop a Galanski, 2003, s. 2).

Současné CT přístroje se dle způsobu náběru dat nazývají spirální. Při expozici rotují rentgenka s detektory kontinuálně v jednom směru po celou dobu vyšetřování, přičemž stůl s vyšetřovaným pacientem zároveň projíždí skrze gantry, čímž se data nabírají v jakési spirále. Jedná se o moderní náběr dat, dříve se data nabírala sekvenčním způsobem, tedy po jednotlivých transverzálních vrstvách, a stůl s pacientem se pohyboval vždy jen mezi akvizicemi jednotlivých vrstev. Sekvenční náběr dat nadále umožňují i moderní CT přístroje, v současné době je však využíván minimálně. Spirální technologie je výrazně rychlejší metodou, která přináší ucelený objem dat, ze kterého lze rekonstruovat libovolné segmenty dle potřeby (Prokop a Galanski, 2003, s. 10).

Data, která jsou systémem detektorů nasbírána, se nazývají *raw data* (hrubá data) – v profilech uspořádaná data o atenuacích tkání. Atenuační koeficient bodu vzniká na základě zprůměrování jednotlivých atenuací ze všech směrů příchodu RTG paprsku, tzv. zpětnou projekcí. Zpětná projekce v této formě je však zatížena neostrotí a artefakty, dochází tedy k filtrované zpětné projekci, kde filtr tvoří tzv. *kernel*. Kernel je rekonstrukční algoritmus, který kompenzuje artefakty vznikající při zpětné projekci. Jeho volba ovlivňuje výslednou podobu obrazu – konkrétně detail v obraze (*sharpening*) či vyhlazení obrazu (*smoothing*). *Smoothing* kernel redukuje šum v obraze, ale zároveň zvyšuje neostrot hran. *Sharpening* kernel naopak hrany zvýrazní, což s sebou ovšem nese i zvýšený výskyt šumu. Kernely se dle těchto vlastností označují jako různě tvrdé. Na *field of view* (oblast zájmu, FOV) se aplikují různé tvrdosti kernelu dle struktur, na které se chceme v rekonstrukci zaměřit, např.: tvrdý kernel na kostní struktury, měkký na měkké tkáně (Prokop a Galanski, 2003, s. 4).

Atenuační koeficienty bodu jsou uspořádány v maticích o velikostech od 256x256 po 1024x1024 elementů, přičemž z každého elementu se stává element obrazový po přiřazení stupně šedi. Obrazovým elementem je 2D pixel, reprezentující úhrnnou atenuaci trojrozměrného voxelu. Voxel je nejmenší zobrazitelná jednotka objemu, jeho rozměry závisí na velikosti FOV, tloušťce vrstvy a velikosti matice. Ideální je, aby byl voxel tvarem co nejvíce podobný krychli (byl tzv. blízkce izotropní), tyto voxely lze rekonstruovat v libovolné rovině bez ztráty informací. Stupně šedi jsou číselným hodnotám pixelů přiřazovány prostřednictvím

Hounsfieldovy stupnice, která hodnotí denzitu⁴ jednotlivých materiálů na škále o konstantách -1000 HU (vzduch, spodní hranice stupnice) a 0 HU (voda).

Horní hranici Hounsfieldova stupnice nemá. Lidské oko je však schopno rozlišit pouze omezené množství stupňů šedi, užití všech HU ze stupnice by tady pro člověka znamenalo nečitelný obraz. Užití stupně šedi v obraze se vymezují prostřednictvím tzv. *windowingu*, kdy dojde k výběru rozmezí HU (CT okna), kde střed okna tvoří předpokládaná denzita středu zájmu a šíři okna tvoří předpokládaná minimální a maximální denzita, které by střed zájmu mohl dosáhnout. Užší CT okno nabízí lepší kontrastní rozlišení v rámci jedné struktury za cenu ztráty kontrastního rozlišení okolí, širší CT okno naopak obsáhne více struktur, ovšem již ne tak detailně (Prokop a Galanski, 2003, s. 4-5).

Kvalitu raw dat, ze kterých je obraz rekonstruován, při náběru ovlivňuje několik proměnných. Kvalitu svazku RTG záření ovlivňuje napětí (v kV) a proud (v mAs). Hodnoty napětí se v CT vyšetřeních pohybují v rozmezí 80-140 kV. Vyšší hodnoty obecně znamenají snížení kontrastu v obraze, oblasti složené z tkání o podobné denzitě je tedy vhodné vyšetřovat nižšími hodnotami, navýšením se naopak zvyšuje penetrace svazku. Proud naopak ovlivňuje množství produkovaného záření. S množstvím záření je spjata míra výskytu šumu v obraze, a to nepřímou úměrou – pokud oblast zájmu pro svou čitelnost nevyžaduje nízký poměr signálu a šumu, lze hodnotu mAs snížit a docílit tak snížení zátěže pacienta. Na radiační zátěž mají pak vliv obě veličiny (Prokop a Galanski, 2003, s. 114-115).

Perioda rotace i faktor stoupání (pitch) jsou dalšími faktory, které kvalitu raw dat ovlivňují. Perioda rotace je čas, který rentgenka potřebuje k vykonání jedné celé otočky uvnitř gantry. U moderních MDCT již toto otočení netrvá déle než jednu sekundu. Rychlejší perioda rotace příznivě ovlivňuje rychlost vyšetření a radiační zátěž pacienta, může však nepříznivě ovlivnit kvalitu obrazu. Pitch faktor je veličina informující o hustotě spirály nabíraných dat. Hustota spirály závisí na rychlosti posunu stolu ku úhrnné kolimaci svazku⁵ - nízký pitch faktor znamená hustější spirálu, tedy kvalitnější datové pole, a tedy vysokou kvalitu obrazu. Zároveň však znamená vyšší radiační zátěž. Vyšší pitch lze použít v situacích, kdy hlavní roli hraje rychlost vyšetření – za cenu ztráty určité kvality obrazu (Prokop a Galanski, 2003, s. 24-25).

Kvalitní náběr raw dat je směrodatný pro tvorbu kvalitních rekonstrukcí, o jejichž mechanismu hovořím výše v kapitole. Základní rekonstrukcí je rekonstrukce multiplanární (dále jen MPR) – dochází ke zhotovení třech (zpravidla, ale není podmínkou) na sebe kolmých

⁴ Denzita je termín vyjadřující hustotu tkáně ve vztahu s atenuací záření ve stupních šedi.

⁵ S vyšší kolimací RTG svazku dochází ke zlepšení prostorového rozlišení v obraze, ovšem zároveň dochází ke zvyšování radiační zátěže.

dvourozměrných rovin: rovina axiální, koronární a sagitální. Kvalita MPR rekonstrukcí (konkrétně jejich prostorové rozlišení) se, mimo od zmiňovaných obrazový parametrů, rovněž odvíjí od tzv. incrementu. Increment udává míru překryvu jednotlivých vrstev v rekonstruované rovině (vzdálenost mezi dvěma řezy), vyšší increment tedy zajišťuje lepší plynulost přechodů mezi řezy v rekonstrukci a přesnost v prostoru (Prokop a Galanski, 2003, s. 48). Dalšími rekonstrukcemi jsou tzv. maximum/minimum intensity projection, které vznikají manipulací s CT oknem dle oblasti zájmu. Nejvyšší hodnoty HU aplikuje MIP, využívá se nejčastěji v CT angiografiích a vyšetřeních plic. Opakem je MinIP, nejnižší HU nachází využití v diagnostice tracheobronchiálního stromu (Prokop a Galanski, 2003, s. 53). Pokročilými rekonstrukcemi jsou pak rekonstrukce trojrozměrné. Technika 3D povrchového renderingu s názvem shaded surface display (SSD) nabízí prostřednictvím stínování rekonstruovaného objemu realistický trojrozměrný pohled na jeho povrch. SSD pracuje na principu tvorby odrazu virtuálního zdroje světla, rozložení odrazů je softwarově vypočítáváno z charakteru nabraných dat. Běžně se uplatňuje pro 3D zobrazení cév či skeletu (Prokop a Galanski, 2003, s. 60). Hybridní rekonstrukcí mezi předchozími zmiňovanými je volume rendering technique (VRT). VRT pracuje s intervaly denzit (které zároveň informují o míře průhlednosti tkání) jednotlivých tkání a na jejich základě jim přiřazuje odstíny různých barev. Výsledkem je objemová rekonstrukce, ovšem bez jakéhokoliv stínování (Prokop a Galanski, 2003, s. 63). Techniku stínování, ovšem vnitřního, nikoliv zevního povrchu zobrazované struktury, i barevné škálování využívá virtuální endoskopie – jsou to rekonstrukce, díky kterým lze trojrozměrně a realisticky zobrazit prostory tlustého střeva či bronchů zevnitř (Prokop a Galanski, 2003, s. 78).

4.2 Dual energy CT

Jiný pohled na náběr dat i tvorbu rekonstrukcí, a tím pádem i celkový přínos, nabízí CT vyšetřování duální energií. Principem DECT je získání dvou sad dat stejné cílové oblasti s použitím rozdílných peaků kilovoltáže (zpravidla 80 a 140 kV). Záření o rozdílných hodnotách napětí vykazuje různé podoby atenuace v závislosti na materiálu, se kterým interaguje. V obou sadách dat mají tím pádem stejné vyšetřované struktury odlišné HU. Nízkonapěťové záření výrazněji interaguje s materiálem s vyšším atomovým číslem, jako je jód či vápník. Rozdíly v nízko a vysokonapěťových datech umožňují DECT tím pádem rozlišovat materiály o rozdílných atomových číslech, ale o stejné atenuaci RTG záření, což nachází využití např.: v detekci okultních zlomenin žeber či diagnostice páteřních poranění. Duální energie rovněž vytěží mnohem více informací z podání jodové kontrastní látky, z čehož lze těžit při kardiologických či neurologických indikacích. Další výhodou této formy náběru dat je možnost

dodatečné rekonstrukce virtuálního nativ, což se pozitivně odráží na radiační zátěži (Aran et al., 2014, s. 391-394). Virtuální nativ se vytváří na základě softwarové kvantifikace jódu ve skenovaném objemu. Duální akvizice umožňuje softwaru přesně detekovat výskyt jódu (na základě atomového čísla), výsledkem je mapa výskytu tohoto prvku. Díky přesnému odhalení a lokalizaci jodové kontrastní látky ji tak lze zpětně z rekonstrukcí odstranit a vytvořit obraz bez ovlivněním kontrastní látkou – virtuální nativ (Lestra et al., 2016, s. 3).

CT stroje pořizující data o duální energii mohou mít v gantry buďto dvě odlišné sady rentgenka + detektorové řady, v tomto případě hovoříme o dvouzdrojovém CT přístroji (dual source CT), nebo se jedná o tzv. single source CT, kdy jedna sada nabírá dva soubory dat díky rychlému přepínání kilovoltáže emitovaného záření. Výhodou DSCT je především možnost zkrácení vyšetřovacího času až o polovinu, kvalita obrazu (zejména výskyt šumu) je u obou technologií srovnatelná (Singh et al., 2019, s. 1-6).

Sety dat lze rekonstruovat zvlášť nebo je kombinovat. Kombinovanými rekonstrukcemi lze vytvořit vysoce kontrastní obraz o nízkém zatížení šumem s potlačením artefaktů při přítomnosti materiálů kovu, poměr vlivu dat z obou setů na rekonstrukci lze navíc měnit dle potřeby, což přináší vyšší diagnostickou výtečnost (Aran et al., 2014, s. 391-394).

Potlačení kovových artefaktů prostřednictvím DECT je dalším benefitem této technologie. Kovové artefakty vznikají kvůli tvrdnutí RTG svazku (tzv. beam hardening) po kontaktu s těmito materiály, což má za následek artefakty ve tvaru paprsků, které směřují směrem od kovového předmětu do periferie (kterou obrazově znehodnocují) a vytvářejí specifický šum, jelikož velké množství RTG fotonů atenuovalo právě v kovu a na detektorové řady se jich dostalo jen omezené množství. Konvenční CT redukuje vliv kovových artefaktů na obraz prostřednictvím iterativních rekonstrukcí (odlišné provedení filtrované zpětné projekce při obrazové rekonstrukci dat). DECT iterace používá rovněž, dochází však k iteracím dvou sad dat, přičemž k redukci artefaktů paprsků dochází zejména u monoenergetických rekonstrukcí sady o nižších kV. Jejich kombinací s vysokoenergetickými rekonstrukcemi pak dochází též k potlačení míry šumu (Lewis et al., 2013, s. 275-281).

Polytraumatické protokoly na DECT přístrojích standardně obě sady rentgenka-detektory pro náběr dat nepoužívají, z vybavení těchto strojů však lze stále v této oblasti těžit. Přínosem je již zmiňovaná kvalitní detekce okultních fraktur žeber a páteře. Studie rovněž uvádějí vyšší rychlost vyšetření bez nepříznivého vlivu na kvalitu obrazu či již zmiňované kvalitnější sledování podané jodové kontrastní látky, díky čemuž je možné ji podávat v nižších objemech, než u konvenčního CT (Aran et al., 2014, s. 400-402).

4.3 Radiační zátěž

Rizika spojená s radiační zátěží pacienta již zmiňují v kapitole týkající se skiografie. Zátěž pacientů na CT je však výrazně vyšší, např.: až v násobcích stovek vůči skiografickému snímku plic. Sledování tohoto jevu a optimalizace provozu na základě výsledků tohoto sledování je z hlediska radiační ochrany nezbytné. Radiační zátěž na CT je charakterizována systémem zavedených veličin.

4.3.1 Volume CT Dose Index (CTDI_{vol})

Veličina CTDI_{vol} je pomůckou ke stanovení průměrné lokální dávky na pacienta, a to v rámci vyšetřovaného objemu (v mGy). Obecně o ní lze hovořit jako o nejspodnější přístupnému indikátoru dávkového zatížení, jelikož je její hodnota měřena a vyhodnocována okamžitě v průběhu vyšetření. Tato veličina ovšem informuje o radiační zátěži pouze z hlediska nastavených parametrů CT vyšetření, tzn. jakým způsobem se zátěž mění se změnami skenovacích parametrů, jakými jsou pitch faktor, mAs, kV apod. Její výpočet nezahrnuje individuální vlastnosti pacienta, respektive jeho habitus (zde efektivní průměr pacienta), čili nemůže sloužit jako nástroj pro vyjádření přesného dávkového zatížení pacienta. CTDI_{vol} slouží čistě jako dávkový index pro konkrétní CT vyšetření na konkrétním CT přístroji. Vhodné užití této veličiny je tedy např.: k porovnávání zavedených CT protokolů, u stanovování dávkového zatížení u jednotlivců může dojít k podhodnocení či nadhodnocení dávky na základě rozměru efektivního průměru pacienta a efektivního průměru referenčního fantomu⁶ (Prokop a Galanski, 2003, s. 132).

4.3.2 Dose-Length Product (DLP)

DLP je veličinou vyjadřující tzv. kumulativní dávku, která se vztahuje k celkové energii ionizujícího záření (total energy) dodané objemu. Nezahrnuje tedy pouze průměrnou lokální dávku (nýbrž hovoří o celku), pro svůj výpočet však CTDI_{vol} využívá – a sice DLP je násobkem CTDI_{vol} a délky skenovaného objemu (mGy*cm), tzv. scan length. Scan length data získávají spirální CT přístroje z pozice vyšetřovacího stolu – rozdíl mezi prvotní a konečnou jednotkou mezi posunem stolu. Je nutno počítat s tzv. *oversamplingem* – rozsah posunu stolu je vždy z obou konců širší, než je skutečný objem pacienta, a to pro interpolaci hrubých dat; v praxi to znamená navýšení radiační zátěže o cca jednu otáčku rentgenky v gantry (záleží na stroji a výrobci). Tento nárůst je však výrazný spíše u kratších akvizic. DLP lze využít pro výpočet

⁶ Nižší efektivní průměr pacienta, než je efektivní průměr referenčního fantomu, znamená podhodnocení dávky. CTDI_{vol} tedy zkresluje např. dávkové zatížení dětí.

odhadu efektivní dávky na pacienta, jelikož pracuje s jeho konkrétní délkou, sám o sobě však plní stejnou funkci, jako $CTDI_{vol}$ (Prokop a Galanski, 2003, s. 134).

4.3.3 Efektivní dávka

K vyjádření dávkového zatížení pacientů a jako míra pravděpodobnosti vzniku stochastických účinků slouží veličina efektivní dávka (v mSv). Umožňuje hodnotit zátěž pacienta při aplikaci lékařského ozáření, a to i při nehomogenním ozáření více orgánů a tkání. Efektivní dávka je vyjádřena součtem součinů ekvivalentních dávek a tkáňových váhových faktorů pro každý ozářený orgán. Tkáňový váhový faktor do výpočtu přináší informace o radiosenzitivitě jednotlivých orgánů, ekvivalentní dávka informace o absorbované dávce záření a o druhu ionizujícího záření, kterým je objem ozářen (Súkupová, 2018, s. 160).

K odhadu efektivní dávky lze využít výše zmíněný DLP, který ovšem souhrnně informuje o hodnotě zátěže na celou skenovanou oblast (hlava a krk, atp.), nikoliv o zátěži jednotlivých orgánů. Opět se tak mohou objevit odchylky ve smyslu pod a nadhodnocování pacientů. K výpočtu efektivní dávky dále slouží specializované programy, které do kalkulace zahrnují i BMI, věk a pohlaví pacienta či technické parametry CT přístroje. V souvislosti s efektivní dávkou je nutné rovněž hovořit o radiosenzitivitě celého pacienta, numerická hodnota efektivní dávky znamená odlišný dopad (ve smyslu stochastických účinků) na dospělého pacienta a na pacienta dětského, který je radiosenzitivnější (Prokop a Galanski, 2003, s. 134-136).

4.3.4 Šetření pacienta vs. kvalita obrazu

Dávkové zatížení pacienta, a tím pádem i kvalita nasbíraných dat k obrazovým rekonstrukcím, závisí na mnoha proměnných – jak zmiňuji v předchozí kapitole – nastavení proudu, napětí, kolimace, pitch faktor, skenovaný objem, habitus pacienta, typy detektorů a detektorových řad CT přístroje atd. Cílem optimalizace provozu CT pracovišť je opět zmiňovaný princip ALARA čili snaha dosažení zisku kvalitních obrazových dat za co nejnižší zátěže pacienta. V tomto případě je hlavní překážkou obrazový šum, objevující se v souvislosti se snížením hodnot mAs, zatímco ostatní hodnoty zůstávají stejné. Se šumem lze do určité míry pracovat v postprocessingu, a to volbou měkčího, více vyhlazujícího kernelu – je však nutné počítat se zhoršením prostorového rozlišení. Vliv na šum rovněž může mít volba kolimace, volba větší šíře rekonstruovaného řezu může výskyt šumu snížit, ovšem opět za cenu určité ztráty prostorového rozlišení. Je tedy vždy na zvážení, jaká anatomická oblast bude vyšetřována a co přesně je cílem vyšetření (Prokop a Galanski, 2003, s. 143-152). Se šumem v obraze rovněž pracují iterativní rekonstrukce, kterým se více věnuji v kapitole 4.5.

Pro snížení dávky je rovněž podstatné poziční nastavení pacienta na vyšetřovacím stole. Spirální CT přístroje jsou vybaveny technologií proudové modulace, kdy stroj softwarově zvyšuje a snižuje hodnotu miliampér v závislosti na anatomickém regionu, který je zrovna skenován. Oblast ramen či pánve je oblastí s výraznou atenuací RTG záření, je tedy nutné zvýšení produkce fotonů. Naopak oblast hrudníku vykazuje atenuaci nižší, lze tedy tuto oblast exponovat nižším množstvím fotonů, a tím pádem snižovat celkové dávkové zatížení, za zachování celkově vysoké kvality obrazu (Prokop a Galanski, 2003, s. 142). Právě u vyšetřování hrudníku a celkově trupu hraje významnou roli pozice horních končetin. Horní končetiny umístěné podél těla výrazně zvyšují atenuaci záření a zatěžují obraz artefakty tvaru paprsků, čímž výrazně komplikují diagnostiku. V důsledku proudové modulace zároveň paže podél těla znamenají i vyšší radiační zátěž. Zdvížení alespoň jedné z paží tak může dávkové zatížení i kvalitu obrazu příznivě ovlivnit (Prokop a Galanski, 2003, s. 111). Pro laboranta provádějícího takovéto CT vyšetření jsou připážené horní končetiny překážkou při monitorování podaného bolusu jodové kontrastní látky, ve smyslu znehodnocení monitorovaného axiálního řezu artefakty, které zkreslují průběh sycení srdečních oddílů a velkých cév.

4.4 Jodová kontrastní látka

Intravenózní podávání kontrastních látek umožňuje kvalitnější zobrazování anatomických struktur a orgánů, v některých případech pak i jejich funkci. V rámci vyšetřování polytraumatických pacientů se setkáváme pouze s kontrastní látkou jodovou, která se rutinně při užití WBCT protokolu aplikuje intravenózně. Podávání JKL i.v. u mnohočetně poraněných má svá rizika – většinou neznáme pacientovu osobní ani alergickou anamnézu, čili nelze předcházet výskytu nežádoucích účinků např.: hydratací či premedikací.

U některých pacientů se po podání JKL i.v. může rozvinout alergoidní⁷ reakce, a to nezávisle na množství podané látky, při které dochází k vyplavení histaminu a serotoninu. Od mírných reakcí, jako je kopřivka, se lze setkat i s reakcemi těžkými, v podobě hypotenze, tachykardie, plicního edému a křečí. U pacientů k této reakci náchylnějších (polyvalentní alergiky, astmatiky, pacienty s předchozí reakcí na JKL) před CT kontrastním vyšetřením rutinně dochází k premedikaci tabletami Prednisonu; u akutních pacientů tuto možnost bohužel nemáme. Mimo alergoidní reakce může aplikaci JKL provázet reakce chemotoxická v podobě kardiotoxicity či kontrastní nefropatie – tato reakce se odvíjí od množství podané JKL a obecně postihuje pacienty v nestabilním klinickém stavu. K eliminaci rizika výskytu akutního zhoršení

⁷ Alergické reakci podobná.

ledvinných funkcí je vhodné před každým podáním JKL znát hodnoty sérového kreatininu pacienta, u pacienta s normální funkcí ledvin tato hodnota nepřesahuje 130 $\mu\text{mol/l}$, hraniční hodnotou pro aplikaci JKL je pak 300 $\mu\text{mol/l}$ (Metodický list, 2007, s. 105-107).

Za standardní situace je pacient před CT vyšetřením s JKL i.v. podroben přípravě – přichází dostatečně hydratovaný, je mu odebrána anamnéza. Polytraumatického pacienta kompletní přípravě samozřejmě podrobit nelze. Samotné podání JKL ovšem nemá žádnou absolutní kontraindikaci, existují pouze relativní, jako jsou již zmiňovaná vysoká hodnota kreatininu a předchozí těžká alergoidní reakce na JKL; dále tyreotoxikóza či mnohočetný myelom. Relativní jsou právě pro možnost ovlivnění podoby reakcí pacientů vhodnou přípravou a premedikací a péčí po podání (Metodický list, 2007, s. 105-107). V otázce pacientů s mnohočetnými poraněními v akutním stavu pak větší roli hraje přínos aplikace JKL v kontrastu s možnými riziky jejího podání (Geyer et al., 2013, s. 373).

4.4.1 JKL v polytraumatických protokolech, technika split bolus

Podávání JKL i.v. u polytraumatických pacientů je pro spolehlivou detekci poranění vaskulárního zásobení orgánů a poranění orgánů samotných nezbytné. Ačkoliv se nastavování WBCT protokolů v traumacentrech napříč celým světem různí (viz následující kapitola), obecně je společným cílem zachycení všech struktur od oblasti hlavy po oblast pánve z hlediska jak arteriálního, tak venózního zásobení (Geyer et al., 2013, s. 373). Správné zachycení těchto fází ovlivňuje řada parametrů, které s aplikací JKL souvisejí. Mezi ně patří parametry spojené s vlastnostmi JKL, jakými jsou koncentrace jódu a s ní spojená viskozita a osmolarita JKL. Kontrastní látky o vysoké koncentraci (tzn. >350 mg jódu/ml) vykazují zvýšenou viskozitu a před aplikací vyžadují zahřátí (zajišťuje injektor na aplikaci JKL). Vysoce viskózní JKL déle ulpívají na stěnách žil, skrze které jsou aplikovány, což negativně ovlivňuje vznik a průběh arteriální fáze – je nutný proplach fyziologickým roztokem, který přispívá k lepšímu využití aplikované JKL. Další skupina parametrů se týká samotné aplikace JKL, a sice její množství a rychlost jejího podání (průtok v ml/s). Pro volbu těchto hodnot je směrodatná výška a váha pacienta a stav jeho kardiovaskulárního systému – minutový objem srdeční. S těmito faktory souvisí i parametr poslední, nastavení zpoždění. Postup JKL skrze jednotlivé srdeční oddíly, velké cévy a periférii je u každého pacienta individuální, rozdíly jsou ale stále v řádu sekund. Roli hraje pacientův habitus, věk, prodělaná onemocnění či zmiňovaný stav srdce a cév. Správné nastavení zpoždění – správné spuštění arteriální a venózní fáze – je klíčové pro dosažení hodnotitelného vyšetření. Spuštění příliš brzy před nasycením nebo příliš pozdě po nasycení velkých cév může zamezit tzv. *bolus triggering*, který slouží k monitorování postupu JKL v reálném čase. Arteriální fáze se spouští automaticky po dosažení prahové denzity při

sycení zvolené cévy JKL, sycení je sledováno ve vybraném axiálním řezu. Venózní fáze na arteriální navazuje s nastaveným zpožděním, fyziologicky venózní fáze nastává za zhruba minutu od zahájení aplikace (Prokop a Galanski, 2003, s. 96-108).

Alternativu ke dvoufázové akvizici dat po podání JKL tvoří technika split bolus umožňující zachycení arteriální a venózní fáze v jediném skenu, tzv. technika děleného bolu. Pro pacienta tato technika tím pádem znamená nižší radiační zátěž, což je s přihlédnutím na fakt, že se většinou vyskyt polytraumat týká mladších ročníků, vítaným benefitem. Další výhodou je pak zrychlení celého průběhu vyšetření, v urgentní medicíně podstatný přínos. Obrazová data zároveň nejsou tak objemná, počet rekonstrukcí se snižuje, přičemž data zůstávají stále stejně výtěžná – což znamená zrychlení čtení a tvorby popisu radiologem čili další benefit. Vysoké kvality výtěžnosti ve zobrazování jak cévních struktur, tak parenchymových orgánů najednou lze dosáhnout úpravou parametrů podání JKL. Namísto jednofázového podání JKL (jednorázové podání celého objemu JKL dle hmotnosti pacienta s jednou hodnotou nastavení průtoku) se v případě split bolus techniky podává kontrast vícefázově – v objemu neměnném, kromě výjimečně nízkých (např.: ve FNKV pod 60 kg) či výjimečně vysokých hmotností. Jako příklad uvedu Fakultní nemocnici Plzeň, kde se pro split bolus techniku používá 100 ml JKL. Nejprve dochází k aplikaci většího bolusu (cca 70 ml) s pomalejším nastavením průtoku (2,6 – 4 ml/s), poté na tento bolus navazuje další, méně objemný (cca 30 ml) aplikovaný rychleji (4-5 ml/s) (Bajcurová et al., 2019, s. 101). Díky split bolusovému způsobu podání již dochází k venóznímu sycení cév a parenchymových orgánů a zároveň k arteriálnímu sycení díky druhému podanému bolusu. Jediný sken od hlavy po symfýzu tak poskytuje kompletní objem informací. Indikaci této techniky je ovšem nutno zvážit ve spojení se zátěží renálního a kardiovaskulárního systému pacienta, které souvisí s aplikací vysokého objemu JKL.

U mladších lidí obecně cílíme především na radiační ochranu. Výskyt chronických renálních a kardiovaskulárních onemocnění je obecně spojován s vyšším věkem, u mladších ročníků tedy lze přistoupit k větší zátěži těchto orgánů za cenu snížení zátěže radiační. U polytraumatických starších osob se pro změnu lze uchýlit ke dvoufázovému skenu, neboť je u nich výskyt těchto patologií pravděpodobnější a aplikace JKL o vysokém objemu by mohla přispět k jejich progresi (Bajcurová et al., 2019, s. 99-106).

4.5 CT vyšetřování polytraumat

Vyšetřování polytraumatických pacientů na CT má svá specifika. Pacient do vyšetřovny přijíždí zajištěn z urgentního příjmu, s krční páteří imobilizovanou pomocí límce, často pak ve

vakuové matraci. Při poranění pánve má pacient tuto oblast fixovanu pánevním pásem. Polytraumatizovaní pacienti z urgentního příjmu vyžadují zajištěný přívod kyslíku, jsou napojeni na monitory snímající srdeční činnost a saturaci, mají na paži manžetu ke snímání krevního tlaku, často přijíždějí i napojeni na infuzní pumpu. Veškeré toto vybavení vytváří, je-li přítomno ve vyšetřované oblasti, obrazové artefakty – úlohou CT laboranta je odstranění těchto prvků mimo oblast zájmu, přičemž zároveň spolupracuje s týmem urgentního příjmu. Monitory musejí být umístěné na viditelném místě pro neustálé sledování pacienta. Přesun pacienta na vyšetřovací stůl a samotné zhotovení vyšetření musí být co nejvíce rychlé, precizní a bezpečné, aby se pacient co nejrychleji mohl vrátit zpět na lůžko.

Další skupinou artefaktů, se kterými musí laborant pracovat, jsou artefakty pohybové. Laborant nezahajuje CT vyšetření, pokud není zajištěno, že se pacient nebude v průběhu hýbat, např. pomocí znehybnovacích pásů či farmakosedace (podává tým urgentního příjmu). Kontrastní látka je podávána do zajištěné periferní žilní kanyly nebo do centrálního žilního katetru, je-li zavedený (Eichler et al., 2015, s. 1-5).

Z výsledků dotazníkového šetření realizovaného v českých traumacentrech vyplývají celkem tři hlavní podoby WBCT protokolu pro polytraumata, které rutinně nacházejí využití. První je monofázový protokol, v rámci kterého je postkontrastně zhotovována pouze jedna fáze. Výhodami tohoto protokolu je jednoduché a rychlé provedení a méně objemná obrazová data. Nevýhodou je obtížné zobrazování arteriálního cévního řečiště. Druhou možností je multifázový protokol čili dvě a více postkontrastních fází. Tento protokol poskytuje dobré posouzení jak arteriálního cévního řečiště, tak i parenchymatózních orgánů; je s ním však spojena výrazně vyšší radiační zátěž a také vysoké množství obrazových dat. Třetí technika využívá dělený bolus aplikované JKL (split bolus). Výhody a nevýhody této techniky zmiňují výše v kapitole; tato technika je výrazně náročnější na provedení z pohledu nastavení zpoždění po podání JKL, hrozí nesprávný překryv arteriální a venózní fáze, což může komplikovat např.: detekci arteriovenózních píštělí či pseudoaneurysmat (Girsa et al., 2019, s. 336-338).

Součástí kapitoly jsou dále příklady CT protokolů využívaných trauma centry v zahraničí, pro srovnání s protokoly užívanými v našem zařízení v následujících kapitolách.

Mnichov (Ludwig-Maximilians-University Hospital Munich) – hlava nativně, aplikace JKL: objem 140 ml, průtok 3,5 ml/s, FR: objem 40 ml, průtok 3,5 ml/s, bolus triggering v hrudní aortě, sken krční páteře a hrudníku 3 s po prahu triggeringu (arteriální fáze), sken břicha a pánve 50 s po arteriální fázi (portovenózní fáze) (Geyer et al., 2016, s. 3).

Frankfurt (Department of Diagnostic and Interventional Radiology, University of Frankfurt) – hlava a krční páteř nativně, aplikace JKL: objem 120 ml, průtok 2 ml/s, FR:

objem 60 ml, průtok 2 ml/s, sken hrudníku, břicha a pánve 85 s po podání JKL (portovenózní fáze) (Eichler et al., 2015, s. 2).

Berlín (Charité School of Medicine and University Hospital Berlin) – hlava nativně, aplikace JKL split-bolus technikou: JKL 100 ml (2 ml/s), FR 20 ml (1 ml/s), JKL 60 ml (4 ml/s), FR 40 ml (4 ml/s); sken krční páteře-pánve 85 s po podání JKL (kombinace arteriální a portovenózní fáze) (Kahn et al., 2017, s. 845).

Curych (University Hospital Zurich) – hlava a krční páteř nativně zvlášť, aplikace JKL: objem 100 ml, průtok 3 ml/s, FR: objem 40 ml, průtok 3 ml/s, bolus triggering v hrudní aortě, sken hrudníku 6 s po prahu triggeringu (120 HU) (arteriální fáze), sken břicha a pánve 45 s po arteriální fázi (portovenózní fáze) (Karlo et al., 2011, s. 286-287).

Vancouver (Vancouver General Hospital, University of British Columbia) – hlava nativně, aplikace JKL: objem 120 ml, průtok 4,5 ml/s, směs 50 ml JKL a 50 ml FR, průtok 4,5 ml/s, CTA sken od vertexu po pánev ihned po dosažení prahové hodnoty bolus triggeringu, sken břicha a pánve 70 s po CTA (portovenózní fáze) (Sedlic et al., 2013, s. 401-404).

Skenovací parametry těchto protokolů se různí vzhledem k technickým vlastnostem CT přístrojů, na kterých jsou používány, jako jsou vlastnosti rentgenky, počet detektorových řad či vlastnosti detektorů (Prokop a Galanski, 2003, s. 20-23). Roli v nastavování hodnot mA rovněž hraje výrobce přístroje, jelikož každá výrobní značka používá vlastní systém proudové modulace, např.: Siemens – CARE Dose4D, GE Healthcare – auto mA či smart mA, Philips – DoseRight atd. (Žižka, 2011, s. 169-176). Lze se rovněž setkat s modulací kV (např. CARE kV u přístrojů Siemens). Hodnota parametru kV je optimalizována tak, aby se minimalizovala hodnota $CTDI_{vol}$, ale aby zároveň zůstala zachována kvalita obrazu. Funkce CARE kV vyhodnocuje průměr těla pacienta pomocí topogramu a na základě předem definované kvality obrazů u tkání, které jsou oblastí zájmu, vyhodnotí ideální nastavení parametru kV (MacDougall et al., 2016, s. 329-339).

Výrobce od výrobce se rovněž odlišuje software pro iterativní rekonstrukce. Iterativní rekonstrukce poskytují obraz méně zatížený šumem nežli standardní filtrovaná zpětná projekce, což v globálu umožňuje snížení dávkového zatížení pacienta za produkce dat o stejné obrazové kvalitě. Princip iterací používá každý opět výrobce jiný, pod vlastním obchodním názvem: Siemens – SAFIRE či ADMIRE, GE Healthcare – MBIR, Philips – iDose (Žižka, 2011, s. 169-176). Nelze tedy vytvořit ideální CT protokol a paušalizovat ho na všechny CT přístroje; v souladu s vlastnostmi konkrétního stroje by se tyto protokoly měly tvořit na základě všeobecných principů optimalizace – minimalizace zátěže pacienta, maximalizace diagnostické

výtěžnosti (a zároveň snížení celkového objemu obrazových dat), zrychlení průběhu vyšetření a eliminace rizik spojenými s eventuálním opakováním vyšetření.

5 Metodologie výzkumu

Východiskem pro stanovení výzkumu byly teoretické předpoklady a výsledky současných studií ve zkoumané oblasti. Praktická část diplomové práce je zaměřena na pacienty vyšetřované polytraumatickými CT protokoly, přičemž byli do zařízení přijímáni skrze urgentní příjem, chirurgickou ambulanci nebo ortopedickou ambulanci. Výzkum je orientován na radiační zátěž, která je s užitím WBCT protokolu spjata.

5.1 Výzkumný problém

Trauma je celosvětově jednou z výrazných příčin úmrtí v populaci, a to především u osob mladšího věku. Úmrtnost v důsledku nehod a zranění je nejvíce častým jevem u mladých lidí ve věku 15-29 let a dospělých ve věku 30-49 let (Global Health Estimates 2019, WHO, 2020). Rutinně užívaným nástrojem k redukci mortality pacientů s mnohočetným poraněním se v posledních dvou dekadách stalo WBCT – rychlé a výrazně diagnosticky výtěžné CT vyšetření zachycující oblast hlavy, krku, hrudníku, břicha a pánve s užitím jediného protokolu. Ačkoliv existují přesné parametry pro indikaci převozu pacienta do traumacentra, neexistuje již žádný ucelený systém indikačních kritérií právě pro WBCT, a to ani v České republice, ani v zahraničí (Girsa et al., 2019, s. 334).

Tento jev přirozeně svádí k nadužívání této indikace – což je pochopitelné, vzhledem k možnosti přehlédnutí či zanedbání přítomných poranění, které by bez WBCT mohly projít bez povšimnutí. Tento faktor je však nezbytné stavět do kontrastu s radiační zátěží, která při CT vyšetření takto rozsáhlého objemu vzniká. Literatura se shoduje na efektivní dávce u dvoufázového WBCT kolem 20 mSv, což je hodnota v řádu stonásobků dávky u skiagrafického snímku plic. U řady pacientů je navíc přítomnost polytraumatu po zhotovení WBCT negována – stačilo by pouze selektivní CT v kombinaci s dalšími zobrazovacími metodami, jako je skiografie či USG, což by radiační zátěž výrazně snížilo (Davies et al., 2016, s. 2).

Formulace výzkumného problému

Vysoká radiační zátěž u pacientů vyšetřovaných polytraumatickými WBCT protokoly. Radiační zátěž přidává aditivní riziko pro pozdější manifestaci stochastických účinků. Vzhledem k průměrnému mladému věku polytraumatických pacientů je přílišná radiační zátěž nežádoucí, ale bohužel aktuální problematika.

5.2 Výzkumné cíle, otázky a hypotézy

Cíl 1: Zjistit, zda existuje rozdíl v dávkovém zatížení při vyšetřování jedno a dvoufázovým CT protokolem.

Otázka 1: Jaký je rozdíl v dávkovém zatížení pacienta při vyšetřování jedno či dvoufázovým CT protokolem?

- **H₀:** Mezi dávkovým zatížením při vyšetřování jedno a dvoufázovým CT protokolem není rozdíl.
- **H_A:** Mezi dávkovým zatížením při vyšetřování jedno a dvoufázovým CT protokolem je rozdíl.

Hypotéza 1: Pacient je vystaven většímu dávkovému zatížení při vyšetřování dvoufázovým CT protokolem než při užití jednofázového CT protokolu.

Cíl 2: Zjistit, zda existuje rozdíl v dávkovém zatížení při vyšetřování na CT přístroji Somatom Definition AS+ a Somatom Drive.

Otázka 2: Jaký je rozdíl mezi dávkovým zatížením pacienta při vyšetřování na CT přístroji Somatom Definition AS+ a Somatom Drive?

- **H₀:** Mezi dávkovým zatížením pacienta při vyšetřování na CT přístroji Somatom Definition AS+ a Somatom Drive není rozdíl.
- **H_A:** Mezi dávkovým zatížením pacienta při vyšetřování na CT přístroji Somatom Definition AS+ a Somatom Drive je rozdíl.

Hypotéza 2: Dávkové zatížení pacienta je nižší při vyšetřování CT přístrojem Somatom Drive, než vyšetřování CT přístrojem Somatom Definition AS+.

Cíl 3: Zjistit, zda existuje rozdíl v dávkovém zatížení při CT vyšetřování se zapnutým a vypnutým systémem modulace napětí CARE kV.

Otázka 3: Jaký je rozdíl mezi dávkovým zatížením pacienta při CT vyšetřování se zapnutým a vypnutým systémem modulace napětí CARE kV?

- **H₀:** Mezi dávkovým zatížením pacienta při CT vyšetřování se zapnutým a vypnutým systémem modulace napětí CARE kV není rozdíl.
- **H_A:** Mezi dávkovým zatížením pacienta při CT vyšetřování se zapnutým a vypnutým systémem modulace napětí CARE kV je rozdíl.

Hypotéza 3: Dávkové zatížení pacienta je nižší při CT vyšetřování se zapnutým systémem modulace napětí CARE kV, než při jeho vypnutí.

Cíl 4: Zjistit, zda existuje rozdíl v dávkovém zatížení při polohování horních končetin podél těla a při polohování horních končetin za hlavu.

Otázka 4: Jaký je rozdíl mezi dávkovým zatížením pacienta při polohování horních končetin podél těla a při polohování horních končetin za hlavu?

- **H₀:** Mezi dávkovým zatížením pacienta při polohování HK podél těla a za hlavu není rozdíl.
- **H_A:** Mezi dávkovým zatížením pacienta při polohování HK podél těla a za hlavu je rozdíl.

Hypotéza 4: Pokud má pacient při vyšetření ruce podél těla, bude jeho dávkové zatížení vyšší, než kdyby měl ruce polohované za hlavou.

5.3 Charakteristika souboru

Výzkumný soubor je tvořen pacienty s anamnézou, na základě které byli při příjmu na chirurgické ambulanci, ortopedické ambulanci nebo urgentním příjmu indikováni k vyšetření CT polytraumatickým protokolem. Všichni pacienti tvořící výzkumný soubor byli přijati a rovněž vyšetřeni na CT na Radiodiagnostické klinice ve Fakultní nemocnici Královské Vinohrady v Praze, a to v období od 10.3.2020 do 10.8.2020. Vyšetření pacientů ve výzkumném souboru bylo provedeno protokoly k tomu určenými, stejným způsobem jim byla podána jodová kontrastní látka i.v. (přesné parametry nastavení CT přístroje i kontrastního injektoru zmiňuji dále v kapitole). Vyšetření byla zhotovována na CT přístrojích Somatom Definition AS+ (Siemens Healthcare, Erlagen, Německo), což je konvenční MDCT přístroj; a na přístroji DSCT Somatom Drive (Siemens Healthcare, Erlagen, Německo). Do výzkumného souboru nebyli zařazeni pacienti, jejichž vyšetření neproběhlo v souladu s rutinním nastavením zvoleného CT protokolu, tzn. případy, kdy vyšetření nebylo z nějakého důvodu dokončeno, kdy bylo nutné ho z nějakého důvodu opakovat (nebo jeho část) či v případě přidání dodatečné odložené fáze vyšetření do vyšetřovacího protokolu (typicky pro sledování patologií malé pánve).

Všichni pacienti zařazení do výzkumného souboru byli polohováni standardním způsobem, tj. supinační poloha směrem hlavou do gantry, při nativním skenu hlavy a krční páteře (vertex-Th1) s HK podél těla, při kontrastním skenu/skenech (u split protokolů

očné-symfýza, u dvoufázových arteriální fáze očné-symfýza a venózní fáze brániční klenba-symfýza) s HK polohovanými za hlavu nebo podél těla.

5.4 Metody sběru dat

Jako typ výzkumu byl zvolen kvantitativní výzkum pomocí retrospektivního náběru dat. Všechna data potřebná k realizaci výzkumu byla získána prostřednictvím programu xVision View, který ve FNKV slouží k prohlížení obrazových a textových dat ze systému PACS. Data relevantní pro realizaci výzkumu jakkoliv nesouvisí s osobními údaji pacientů do výzkumu zařazených, tzn. osobní údaje pacientů nefigurují ve výzkumu v jakékoliv formě. Shromažďovaná data pocházejí tzv. Patient protocolů generovaných k obrazové dokumentaci každého CT vyšetření. Jedná se konkrétně o hodnoty $CTDI_{vol}$ pro fantom 32 cm, DLP a expoziční parametry (užité kV, referenční mAs, pitch faktor, perioda rotace).

5.5 Realizace výzkumu

V rámci přípravné části jsem provedla rozsáhlou rešeršní činnost, která zahrnovala průzkum recenzované literatury zabývající se danou problematikou. Na základě rešerše jsem stanovila výzkumný problém a cíle mé diplomové práce. Ve fázi plánování byla stanovena volba kvantitativního výzkumu a rovněž kritéria pro výběr pacientů. Zažádala jsem Etickou komisi Fakulty zdravotnických věd Univerzity Palackého v Olomouci o vydání stanoviska před zahájením výzkumného šetření a rovněž jsem oslovila vedení Radiodiagnostické kliniky Fakultní nemocnice Královské Vinohrady a 3. lékařské fakulty Univerzity Karlovy v Praze se žádostí o souhlas s realizací výzkumného šetření. Obě instituce vydaly k realizaci výzkumu souhlasné stanovisko, viz kapitola Přílohy, ve které jsou kopie obou oficiálních vyjádření k dispozici. Retrospektivní náběr dat jsem uskutečnila na začátku roku 2021.

5.6 Zpracování dat

Údaje nashromážděné z programu xVision View jsem zpracovala do tabulek v programu Microsoft Excel. Použila jsem metody popisné statistiky (průměr, medián, minimální a maximální četnost). Popisnou statistiku jsem použila k přehledné charakterizaci jednotlivých zkoumaných skupin souboru a rovněž jako výchozí data pro testovací statistiku. Testovací statistiku jsem zpracovala ve statistickém programu Statistica. Pomocí zpracování nasbíraných dat jsem testovala předem stanovené hypotézy, k čemuž jsem využila metody neparametrického Mann-Whitney U-testu a parametrického Studentova dvouvýběrového t-testu.

5.7 Výzkumné skupiny

Pacienti byli rozděleni do skupin A-D dle CT přístroje, na kterém byli vyšetřeni, a dle zvoleného vyšetřovacího protokolu, který na ně byl použit. Dvě poslední skupiny, skupina E a F, jsou vyšetřeni protokolem o stejných parametrech, a jsou rozděleni dle pozice horních končetin. Všichni pacienti ve výzkumném souboru byli vyšetřeni v souladu s nastavením pacienta, které uvádím v kapitole Charakteristika souboru.

Skupinu A tvoří pacienti vyšetřeni dvoufázovým protokolem na přístroji Somatom Definition AS+, modulace napětí CARE kV zapnutá.

Skupinu B tvoří pacienti vyšetřeni dvoufázovým protokolem na přístroji Somatom Drive, modulace napětí CARE kV zapnutá.

Skupinu C tvoří pacienti vyšetřeni dvoufázovým protokolem na přístroji Somatom Drive, modulace napětí CARE kV vypnutá, pro všechny skeny je použito pevné nastavení 120 kV.

Skupinu D tvoří pacienti vyšetřeni jednofázovým (split) protokolem na přístroji Somatom Drive, modulace napětí CARE kV zapnutá.

Skupiny E a F jsou vyšetřeni stejným protokolem, jako je protokol A. Skupinu E tvoří pacienti, kteří měli při zhotovování arteriální a venózní fáze horní končetiny polohované za hlavou, skupinu F pak pacienti s končetinami podél těla.

U všech protokolů je použita aktivní proudová modulace CARE Dose4D.

Somatom Definition AS+ je 128řadý MDCT přístroj z roku 2016. K optimalizaci radiační zátěže využívá modulační systémy CARE Dose4D a CARE kV. Zátěž rovněž umožňuje snížit využitím iterativních rekonstrukcí SAFIRE.

Tabulka 5 Dvoufázový vyš. protokol a parametry aplikace JKL u CT Somatom Definition AS+ (SKUPINA A)

Topogram hlava + C páteř	
Napětí	120 kV
Proud	36 mA
Hlava + C páteř	
Perioda rotace	1 s
Kolimace	40 x 0,6 mm
Šíře vrstvy	3 mm

Napětí	120 kV, CARE kV on
Referenční kvalita mAs	300 mAs, modulováno
Pitch	0,8
Topogram očníce-symfýza	
Napětí	120 kV
Proud	35 mA
Aplikace JKL	
Objem	dle hmotnosti pacienta
Proplach FR	60 ml
Průtok	3 ml/s
Bolus tracking	hrudní aorta
Arteriální fáze	
Perioda rotace	0,5 s
Kolimace	128 x 0,6 mm
Šíře vrstvy	3 mm
Napětí	120 kV, CARE kV on
Referenční kvalita mAs	210 mAs, modulováno
Pitch	0,75
Zpoždění	6 s, po monitoringu
Venózní fáze	
Perioda rotace	0,5 s
Kolimace	128 x 0,6 mm
Šíře vrstvy	3 mm
Napětí	120 kV, CARE kV on
Referenční kvalita mAs	210 mAs, modulováno
Pitch	0,75
Zpoždění	35 s, po arteriální fázi

Somatom Drive (do našeho zařízení instalován roku 2019) je přístroj umožňující vyšetřování duální energií díky svému dvouzdrojovému zpracování. Dva zdroje záření znamenají dvě sady detektorů – zde mají obě sady 128 detektorových řad a jsou to již moderní detektory typu Stellar – Stellar detektory jsou to první plně integrované CT detektory a fungují na principu TrueSignal technology – zpracovávají digitální signál bez jakýchkoliv ztrát,

zatímco snižují poměr šumu. Výsledkem je tedy kvalitní obraz i prostorové rozlišení s nízkou zátěží šumem (Christe et al., 2013, s. 421-427). Somatom Definition AS+ detektory Stellar ještě vybaven není.

Optimalizace zátěže opět funguje díky systémům CARE Dose4D a CARE kV. Somatom Drive využívá iterativní rekonstrukci ADMIRE, inovovaného nástupce SAFIRE. Pracuje na principu statistického modelování raw dat, což umožňuje tvorbu obrazu o ještě nižší zátěži šumem.

Polytraumatické protokoly k náběru dat obě sady rentgenka-detektor nevyužívají, nýbrž pouze monoenergetické záření (viz kapitola 4.2). Modernější vybavení stroje Somatom Drive, jako je např. výše zmiňovaný typ detektorů či systém iterativních rekonstrukcí, by mohlo být nástrojem k optimalizaci dávkového zatížení, což je předmětem zájmu druhé výzkumné hypotézy.

Tabulka 6 Dvoufázový vyš. protokol a parametry aplikace JKL u CT Somatom Drive (SKUPINA B)

Topogram hlava + C páteř	
Napětí	140 kV
Proud	342 mA
Hlava + C páteř	
Perioda rotace	1 s
Kolimace	40 x 0,6 mm
Šíře vrstvy	3 mm
Napětí	120 kV, CARE kV on
Referenční kvalita mAs	273 mAs, modulováno
Pitch	0,8
Topogram očníce-symfýza	
Napětí	100 kV
Proud	300 mA
Aplikace JKL	
Objem	dle hmotnosti pacienta
Proplach FR	60 ml
Průtok	3 ml/s
Bolus tracking	hrudní aorta

Arteriální fáze	
Perioda rotace	0,5 s
Kolimace	128 x 0,6 mm
Šíře vrstvy	3 mm
Napětí	120 kV, CARE kV on
Referenční kvalita mAs	147 mAs, modulováno
Pitch	0,6
Zpoždění	6 s, po monitoringu
Venózní fáze	
Perioda rotace	0,5 s
Kolimace	128 x 0,6 mm
Šíře vrstvy	3 mm
Napětí	120 kV, CARE kV on
Referenční kvalita mAs	147 mAs, modulováno
Pitch	0,6
Zpoždění	30 s, po arteriální fázi

Skenovací parametry i parametry pro aplikaci JKL jsou pro skupinu C stejné, jako v tabulce č. 6, jediný rozdíl je ve fixním nastavení napětí 120 kV u nativního skenu hlavy a krční páteře, i u náběrů postkontrastních fází – CARE kV off.

Tabulka 7 Jednofázový vyš. protokol a split bolus aplikace JKL u CT Somatom Drive (SKUPINA D)

Topogram hlava + C páteř	
Napětí	140 kV
Proud	342 mA
Hlava + C páteř	
Perioda rotace	1 s
Kolimace	40 x 0,6 mm
Šíře vrstvy	3 mm
Napětí	120 kV, CARE kV on
Referenční kvalita mAs	273 mAs, modulováno

Pitch	0,8
Topogram očnice-symfýza	
Napětí	100 kV
Proud	300 mA
Aplikace JKL – split bolus	
Objem 1 / průtok	75 ml / 3 ml/s
Objem 2 / průtok	1 ml / 0,2 ml/s
Objem 3 / průtok	75 ml / 4,3 ml/s
Proplach FR / průtok	20 ml / 2 ml/s
Bolus tracking	ne, zpoždění manuálně
Postkontrastní fáze	
Perioda rotace	0,5 s
Kolimace	128 x 0,6 mm
Šíře vrstvy	3 mm
Napětí	120 kV, CARE kV on
Referenční kvalita mAs	147 mAs, modulováno
Pitch	0,6
Zpoždění	53 s, po aplikaci JKL

6 Výsledky

Výzkumný soubor tvořilo celkem 120 pacientů, skupiny A, B, C a D jsou každá tvořeny třiceti pacienty. Do skupin byli pacienti vybíráni náhodným výběrem, přičemž byli vyšetřeni v časovém období a v souladu s vyšetřovacím postupem, které uvádím v kapitole Charakteristika souboru. Skupiny E a F jsou pak tvořeny pacienty ze skupiny A, rozdělení dle pozice horních končetin – obě skupiny jsou tvořeny patnácti pacienty.

6.1 Hodnocení radiační zátěže v souvislosti s počtem skenovacích fází

Prvním cílem práce bylo zjistit, zda existuje rozdíl v dávkovém zatížení při vyšetřování jedno a dvoufázovým CT protokolem.

Statistické hypotézy k cíli 1:

H₁₀: Mezi dávkovým zatížením při vyšetřování jedno a dvoufázovým CT protokolem není rozdíl.

H_{2A}: Mezi dávkovým zatížením při vyšetřování jedno a dvoufázovým CT protokolem je rozdíl.

Platnost hypotézy H₁₀ byla ověřena pomocí neparametrického Mann-Whitney U-testu se signifikantní hladinou významnosti α 0,05. Tato testovací metoda byla použita proto, že proměnná Total DLP nemá v tomto případě normální rozložení, což bylo dokázáno testem normality.

Testem byly porovnávány skupiny B a D. Skupinu B tvořili pacienti vyšetřování dvoufázovým CT protokolem, skupinu D pak pacienti vyšetřování technikou děleného bolu (split bolus technika), který umožňuje spojení arteriální a venózní fáze do jedné. Všechna vyšetření byla provedena na CT přístroji Somatom Drive. Předmětem testování byla hodnota Total DLP (mGy*cm). Základní popisné charakteristiky obou skupin uvádí tabulky č. 8 a 9.

Tabulka 8 Přehled hodnot Total DLP (mGy*cm) u skupin B a D

	Průměr	Medián	Minimum	Maximum
Dvoufázové v.	3320,5	3291	1386	5838
Jednofázové v.	2603,8	2602,5	1794	3504

Tabulka 9 Přehled hodnot DLP (mGy*cm) v jednotlivých postkontrastních fázích

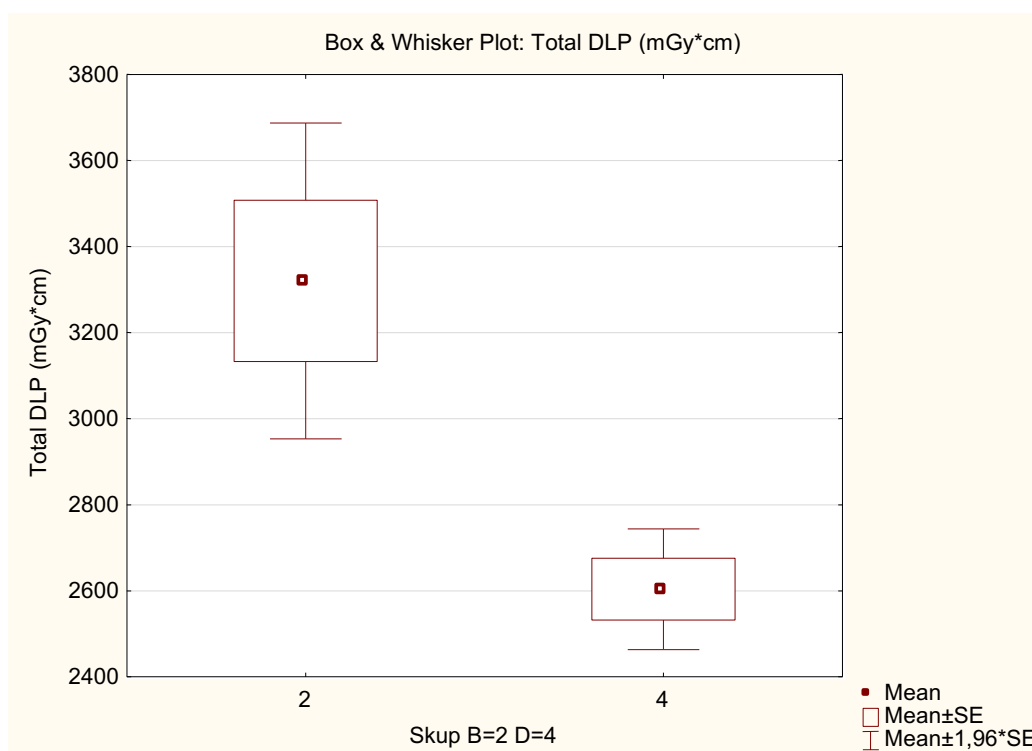
	Průměr	Medián	Minimum	Maximum
Arteriální fáze (sk. B)	821,01	717,1	223,1	1865,3
Venózní fáze (sk. B)	429,2	374,8	108,9	1222,5
Postkontrastní f. (sk. D)	634,28	617,8	320,3	994,6

Testováním neparametrickým Mann-Whitney U-testem byla stanovena hodnota signifikance (p-hodnota) $p = 0,007617$. Mezi skupinami B a D byl zjištěn vysoce signifikantní rozdíl ($p < 0,01$). **Hypotézu H_{10} zamítáme.** Byl prokázán signifikantní rozdíl v dávkovém zatížení při vyšetřování jednofázovým a dvoufázovým CT protokolem.

Ve skupině B byly zjištěny signifikantně vyšší hodnoty celkového DLP než ve skupině D. To znamená, že pacienti vyšetřováni dvoufázovým CT protokolem byli vystaveni větší radiační zátěži než pacienti, kteří byli vyšetřeni jednofázovým (split) protokolem. Při užití jednofázového CT protokolu došlo ke snížení průměrné hodnoty Total DLP o 21,58 % oproti dvoufázovému protokolu.

Distribuci hodnot celkového DLP v jednotlivých skupinách pacientů lze přehledně zobrazit pomocí kvartilového krabicového grafu, zahrnující hodnoty průměru (Mean) a střední chybu průměru (SE).

Graf 1 Porovnání hodnot Total DLP u skupin B a D



6.2 Hodnocení radiační zátěže v souvislosti s volbou CT přístroje

Druhým cílem práce bylo zjistit, zda existuje rozdíl v dávkovém zatížení při vyšetřování na CT přístroji Somatom Definition AS+ a Somatom Drive.

Statistické hypotézy k cíli 2:

H₂₀: Mezi dávkovým zatížením pacienta při vyšetřování na CT přístroji Somatom Definition AS+ a Somatom Drive není rozdíl.

H_{2A}: Mezi dávkovým zatížením pacienta při vyšetřování na CT přístroji Somatom Definition AS+ a Somatom Drive je rozdíl.

K testování druhé nulové hypotézy byl použit parametrický Studentův dvouvýběrový t-test. Test normality dokázal, že v tomto případě již je hodnota Total DLP o normálním rozložení, mohla tedy být použita právě tato testovací metoda.

Do testování byly zařazeny skupiny A a B. Oba soubory pacientů tedy byly vyšetřeny dvoufázovým polytraumatickým CT protokolem, ovšem skupina A na CT přístroji Somatom Definition AS+ a skupina B na přístroji Somatom Drive. Předmětem testování byla opět hodnota Total DLP (mGy*cm). Deskriptivní hodnoty jsou shrnuty v tabulkách níže.

*Tabulka 10 Přehled hodnot Total DLP (mGy*cm) u skupin A a B*

	Průměr	Medián	Minimum	Maximum
Definition AS+	4135,9	4102	2017	7157
Drive	3320,5	3291	1386	5838

*Tabulka 11 Přehled hodnot DLP (mGy*cm) arteriálních a venózních fází*

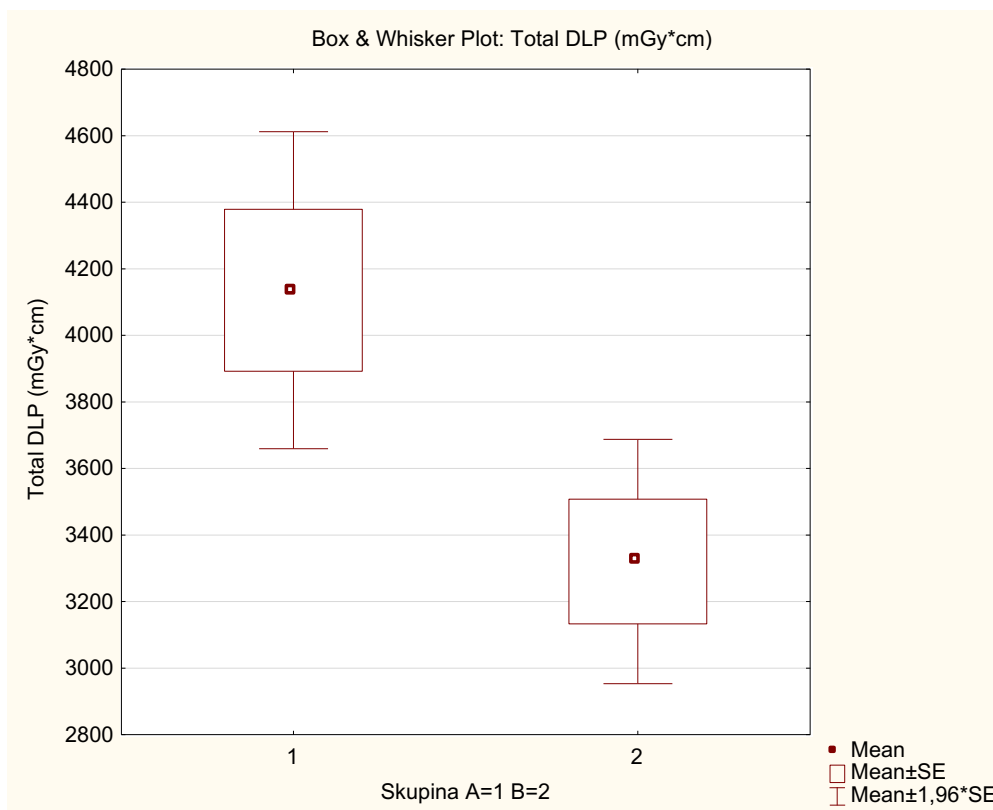
	Průměr	Medián	Minimum	Maximum
Arteriální fáze (sk. A)	1116,32	970,25	536,3	2521,6
Venózní fáze (sk. A)	770,44	640,2	350,4	2031,4
Arteriální fáze (sk. B)	821,01	717,1	223,1	1865,3
Venózní fáze (sk. B)	429,2	374,8	108,9	1222,5

Užitím parametrického Studentova dvouvýběrového t-testu byla stanovena hladina signifikantnosti $p = 0,010186$, čili byl zjištěn signifikantní rozdíl ($p < 0,05$) mezi skupinami A a B. **Hypotézu H_0 zamítáme.** Byl prokázán signifikantní rozdíl v dávkovém zatížení při vyšetřování na strojích Somatom Definition AS+ a Somatom Drive.

Ve skupině A byly zjištěny signifikantně vyšší hodnoty celkového DLP než ve skupině B. Ukazuje se tedy, že vyšetřováním na Somatom Definition AS+ je pacient vystaven vyšší dávkové zátěži než na stroji Somatom Drive. Průměrné hodnoty Total DLP skupin A a B se od sebe v tomto případě liší o 24,55 %.

Výsledky testování opět shrnuji v kvartilovém krabicovém grafu zobrazující distribuci hodnot Total DLP u obou testovaných skupin.

Graf 2 Porovnání hodnot Total DLP u skupin A a B



6.3 Hodnocení radiační zátěže v souvislosti s nastavením modulace napětí

Třetím cílem práce bylo zjistit, zda existuje rozdíl v dávkovém zatížení při CT vyšetřování se zapnutým a vypnutým systémem modulace napětí CARE kV.

Statistické hypotézy k cíli 3:

H₃₀: Mezi dávkovým zatížením pacienta při CT vyšetřování se zapnutým a vypnutým systémem modulace napětí CARE kV není rozdíl.

H_{3A}: Mezi dávkovým zatížením pacienta při CT vyšetřování se zapnutým a vypnutým systémem modulace napětí CARE kV je rozdíl.

Platnost třetí nulové hypotézy byla ověřena metodou parametrického Studentova dvouvýběrového t-testu, stejně jako u předešlého cíle. Do testování byly zařazeny skupiny B a C. Všichni pacienti patřící do těchto skupin byli vyšetřeni dvoufázovým polytraumatickým CT protokolem na přístroji Somatom Drive. Protokoly se od sebe odlišovaly pouze nastavením systému modulace napětí, přičemž skupina B má tuto funkci v režimu zapnutém a skupina C ve vypnutém režimu s tím, že má v protokolu neměnně nastavené hodnoty napětí na 120 kV. Testování bylo opět zaměřeno na hodnoty Total DLP (mGy*cm).

*Tabulka 12 Přehled hodnot Total DLP (mGy*cm) u skupin B a C*

	Průměr	Medián	Minimum	Maximum
CARE kV ON	3320,5	3291	1386	5838
CARE kV OFF	3280,33	3297	2017	4631

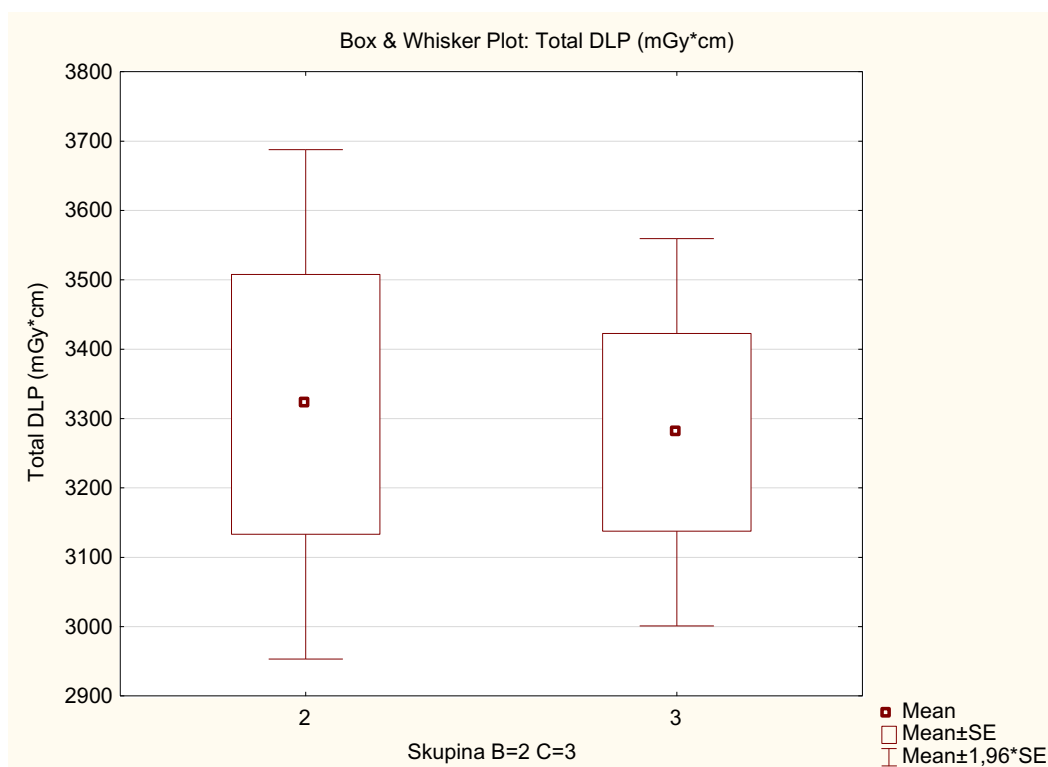
*Tabulka 13 Přehled hodnot DLP (mGy*cm) arteriálních a venózních fází*

	Průměr	Medián	Minimum	Maximum
Arteriální fáze (sk. B)	821,01	717,1	223,1	1865,3
Venózní fáze (sk. B)	429,2	374,8	108,9	1222,5
Arteriální fáze (sk. C)	816,94	726,7	373	1565,9
Venózní fáze (sk. C)	410,61	402,05	176	862,3

Testováním parametrickým Studentovým dvouvýběrovým t-testem byla stanovena hodnota signifikantnosti $p = 0,865087$. Mezi skupinami B a C nebyl zjištěn signifikantní rozdíl ($p > 0,05$). **Hypotézu H_{3_0} tedy není možné zamítnout.** Nebyl prokázán signifikantní rozdíl v dávkovém zatížení při vyšetřování se zapnutým a vypnutým systémem modulace napětí CARE kV.

V kvartilovém krabicovém grafu lze vidět velmi těsnou distribuci hodnot Total DLP i jejich průměrů (Mean). Hodnota průměrného Total DLP je u skupiny C nižší pouze o 1,2 % než u skupiny B.

Graf 3 Porovnání hodnot Total DLP u skupin B a C



6.4 Hodnocení dávkového zatížení pacienta v souvislosti s pozicí HK

Čtvrtým cílem práce bylo zjistit, zda existuje rozdíl v dávkovém zatížení pacientů při polohování horních končetin podél těla a při polohování horních končetin za hlavu při WBCT vyšetřování.

Statistické hypotézy k cíli 4:

H₄₀: Mezi dávkovým zatížením pacienta při polohování HK podél těla a za hlavu není rozdíl.

H_{4A}: Mezi dávkovým zatížením pacienta při polohování HK podél těla a za hlavu je rozdíl.

K testování čtvrté nulové hypotézy byl použit neparametrický Mann-Whitney U-test se signifikantní hladinou významnosti α 0,05. Pro ověřování čtvrté hypotézy byl použit odhad efektivní dávky na pacienta (mSv). Při testování normality se rozložení této proměnné ukázalo jako nenormální, proto došlo k volbě této testovací metody.

Testovány byly v tomto případě skupiny E a F. Pacienti z obou skupin byli vyšetřeni dvoufázovým polytraumatickým CT protokolem na přístroji Somatom Definition AS+. Skupinu E tvoří pacienti s horními končetinami polohovanými za hlavu (při zhotovování arteriální a venózní fáze), skupinu F pak pacienti s horními končetinami podél těla po celou dobu vyšetření.

K odhadu efektivní dávky byl použit výpočet $E = DLP * k$, kde je k konverzní koeficient pro oblast hrudníku, břicha a pánve pro fantom o průměru 32 cm, jehož hodnota je 0,015. Došlo tedy k součtu DLP arteriální a DLP venózní fáze u každého vyšetření a k následnému vynásobení součtu tímto koeficientem. Popisné metody pro obě skupiny jsou shrnuty v tabulce níže.

Tabulka 14 Přehled hodnot odhad efektivní dávky (mSv) pro skupiny E a F

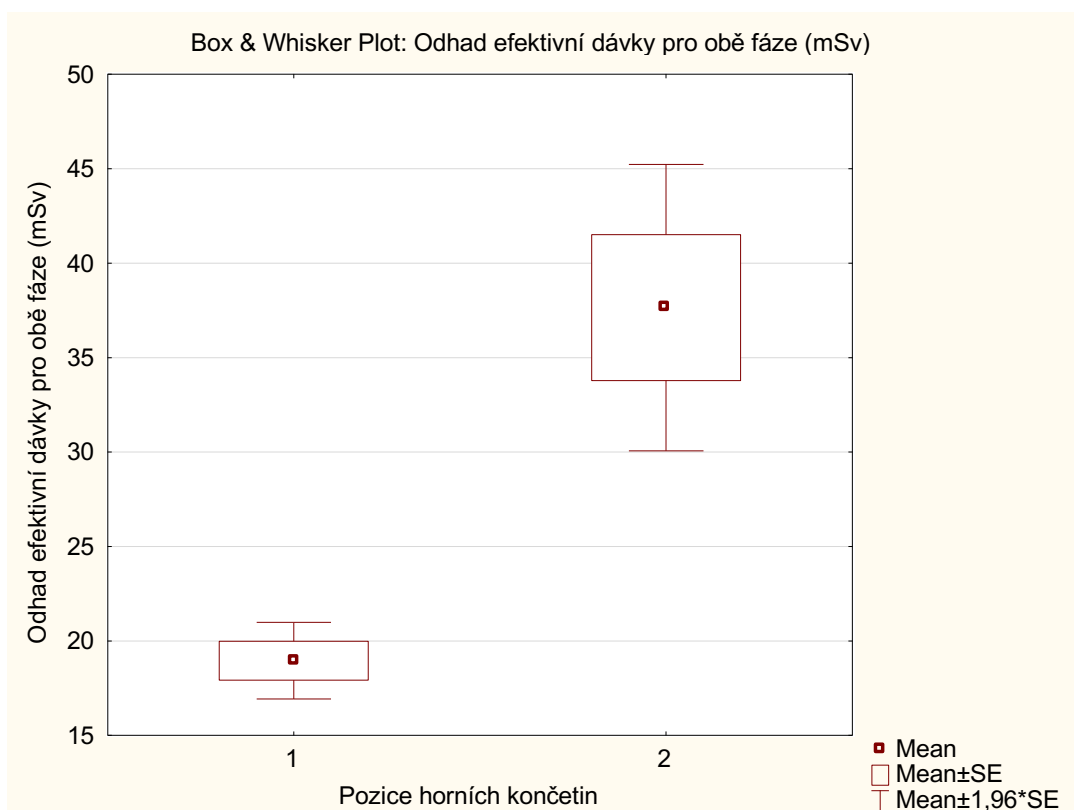
	Průměr	Medián	Minimum	Maximum
HK za hlavou (E)	18,9567	18,4755	14,322	24,474
HK podél těla (F)	37,6762	36,582	13,005	68,295

Testováním neparametrickým Mann-Whitney U-testem byla stanovena hodnota signifikance (p-hodnota) $p = 0,000262$. Mezi skupinami E a F byl zjištěn velmi vysoce signifikantní rozdíl ($p < 0,001$). **Hypotézu H_0 zamítáme.**

Ve skupině F byly zjištěny signifikantně vyšší hodnoty odhadu efektivních dávek než ve skupině E. Prokázalo se tedy, že polohování horních končetin za hlavu příznivě ovlivňuje dávkové zatížení pacienta. Při ponechání horních končetin podél těla došlo k navýšení průměrného odhadu efektivní dávky o 49,64 %, tedy téměř o polovinu.

Distribuci odhadu efektivní dávky zobrazuje kvartilový krabicový graf č. 4, kde je skupina E označena číslem 1 a skupina F označena číslem 2.

Graf 4 Porovnání odhadu efektivních dávek (mSv) u skupin E a F



7 Diskuze

Cílem diplomové práce bylo zjistit, jak vysoké je radiační zatížení pacientů s polytraumatem vyšetřených výpočetním tomografem s užitím různých alternativ, či jejich kombinací, cílících na jeho snížení. Předmětem zkoumání byly polytraumatické CT protokoly o různých variantách expozičního a rekonstrukčního nastavení, sledovanými proměnnými byly pak odhad efektivní dávky (mSv) a Dose-Length Product (mGy*cm). Dílčí cíle byly zaměřeny na jednotlivé faktory, které mohou výslednou radiační zátěž pacienta ovlivnit.

První dílčí cíl zkoumal, zda existuje rozdíl v dávkovém zatížení pacienta při vyšetřování jednofázovým (split) a dvoufázovým CT protokolem. Z provedené rešeršní činnosti vyplývá, že má užití jednofázového protokolu na výslednou radiační zátěž pozitivní vliv, přičemž ho právě technika děleného bolu činí diagnosticky výtěžným tak, jako je vyšetření dvěma skenovacími fázemi. Redukce dávkové zátěže byla potvrzena v rámci výzkumného šetření. Mezi celkovým DLP dvoufázového a split protokolu byl zjištěn vysoce signifikantní rozdíl. Zatímco průměrná hodnota Total DLP u dvoufázového protokolu činila 3320,5 mGy*cm, u jednofázového činila pouze 2603,8 mGy*cm. Nativní vyšetření hlavy a krku, která každému postkontrastnímu vyšetření v souboru předcházela, byla u obou srovnávaných CT protokolů vyšetřována stejnými skenovacími parametry; hodnota Total DLP mohla být použita jako výchozí i pro srovnávání postkontrastních fází.

Obdobný pohled nabízí britská studie z roku 2015, která se split protokolem z hlediska radiační zátěže zabývá. Tato studie taktéž srovnává hodnoty DLP u dvoufázového a split protokolu, přičemž prokazuje přítomnost signifikantního snížení DLP právě u užití protokolu o jedné fázi, a to průměrně o 43,5 % oproti dvěma fázím. V rámci vyhodnocování výzkumu byla dále data převedena na odhady efektivních dávek pomocí simulační metody Monte Carlo. Srovnání odhadů efektivních dávek pak udává redukci dávkového zatížení o 48,6 % (Leung et al., 2015, s. 1112).

Vyšetřovací parametry protokolů této studie jsou v mnohém shodné s protokoly skupin B a D, JKL je u dvoufázového vyšetření aplikována v objemu 100 ml, u techniky split bolus dochází k aplikaci celkového objemu 150 ml kontrastní látky. Právě objem JKL u vyšetření technikou děleného bolu považuje tato studie za nejvíce rizikový faktor v souvislosti s možnou renální toxicitou. Argumentuje však obecně nižším věkem polytraumatických pacientů, kdy pacient více benefituje ze snahy o snížení radiační zátěže než ze snahy o šetření renálního systému, jelikož je výskyt rizikových patologií u této věkové skupiny obecně velmi nízký. Tato studie je dále zaměřena na kvalitu výsledného nasycení postkontrastní fáze z hlediska

hodnotitelnosti arteriálního a venózního cévního zásobení, kdy sledává split protokol a dvoufázový protokol jako objektivně srovnatelné (Leung et al., 2015, s. 1110-1115).

Porovnáním CT protokolů o jedné a dvou fázích se dále zabývá izraelská studie z roku 2013. Předmětem zkoumání je rovněž konvenční jednorázové podávání bolu JKL při dvoufázovém vyšetření a technika děleného bolu v kombinaci s jednofázovým skenem. I zde je k hodnocení radiační zátěže využita proměnná DLP, v tomto případě čistě z postkontrastních fází, bez zahrnutí předchozího nativního vyšetření hlavy a krční páteře. Studie opět prokazuje signifikantní navýšení radiační zátěže u dvoufázového vyšetření. Jednofázový protokol pak vyzdvihuje nejen v souvislosti s radiační ochranou, ale také zdůrazňuje kvalitu obrazové dokumentace z hlediska nasycení sledovaných cév a orgánů, zrychlení celkového průběhu vyšetření přispívající k redukci pohybových artefaktů a rovněž zrychlení a zjednodušení hodnocení (Yaniv et al., 2013, s. 668-675).

Ke split CT protokolu jakožto k efektivnímu nástroji ke snížení radiační zátěže se rovněž pozitivně vyjadřuje Hakim v publikaci z roku 2016. V rámci své studie srovnal výtěžnost dvoufázového protokolu se dvěma jednofázovými, které se lišily se pouze parametry podání jodové kontrastní látky, skenovaný objem byl o stejném rozsahu. Rovněž byl prokázán statisticky významný rozdíl v dávkovém zatížení ve prospěch jednofázového protokolu (Hakim et al., 2016, s. 1-20).

Druhým dílčím cílem bylo zjistit, zda existuje rozdíl v dávkovém zatížení při vyšetřování na CT přístroji Somatom Definition AS+ a Somatom Drive. Naše klinika disponuje oběma těmito CT přístroji, přičemž jsou oba k vyšetřování polytraumat rutinně využívány. Přístroj Somatom Definition AS+ byl do našeho zařízení instalován roku 2016. Jedná se o jednozdrojový 128řadý MDCT přístroj, který je vybaven systémem modulace proudu CARE Dose 4D, algoritmem pro volbu kilovoltáže CARE kV a softwarem pro iterativní rekonstrukce dat SAFIRE.

Somatom Drive je po přístrojové i softwarové stránce modernějším typem CT. Naše klinika byla tímto DSCT přístrojem vybavena v roce 2019. Obě detektorové sady jsou 128řadé⁸, vybavené moderními detektory typu Stellar (zde konkrétně Stellar Infinity), což jsou plně integrované CT detektory využívající tzv. TrueSignal technologii, která je vybavena optimalizovaným systémem konverze signálu. Výrobce deklaruje zlepšení poměru signálu a šumu oproti detektorům předchozích generací, a to už u nízkodávkových vyšetření. Získáváme tedy obrazové i prostorové rozlišení o vysoké kvalitě a s nízkou zátěží šumem – což je

⁸ K polytraumatickému CT vyšetření je využívána pouze jedna detektorová sada, jedná se o monoenergetické vyšetření (single source mód).

příležitost pro snižování radiační zátěže pacienta (Christe et al., 2013, s. 421-427). Tento faktor se odráží i na nastavení CT protokolů, které jsou srovnávány ve výzkumné části této práce. Zatímco referenční hodnota mAs pro postkontrastní fáze je pro přístroj Somatom Definition AS+ nastavena na 210 mAs, u přístroje Somatom Drive je to 147 mAs. Somatom Drive je rovněž vybaven systémy CARE Dose 4D a CARE kV; typem iterativních rekonstrukcí je pak modernější ADMIRE.

Vliv výše zmíněných parametrů na konečnou radiační zátěž pacienta ověřuji v rámci svého statistického šetření. Předmětem zájmu bylo srovnávání hodnot DLP dvoufázových polytraumatických CT protokolů z obou přístrojů. Výsledkem bylo prokázání statisticky signifikantního rozdílu mezi přístroji. Zatímco u přístroje Somatom Definition AS+ byla průměrná hodnota DLP u arteriální fáze 1116,32 mGy*cm a u venózní 770,44 mGy*cm, u přístroje Somatom Drive byla v arteriální fázi naměřena průměrná hodnota 821,01 mGy*cm a u fáze venózní 429,2 mGy*cm. Celkové DLP bylo pak u přístroje Somatom Definition AS+ v průměru o 24,55 % vyšší.

Výsledky přezkoumání této hypotézy ovšem mohly být do určité míry ovlivněny vnějšími faktory. Přístroj Somatom Definition AS+ je instalován v bezprostřední blízkosti urgentního příjmu. Až na skutečně neobvyklé výjimky jsou tedy na tomto přístroji vyšetřováni polytraumatizovaní pacienti přijati právě sem. Tito pacienti přijíždějí na vyšetření uvnitř vakuové matrace, zaintubováni, napojeni na monitor životních funkcí, často i na infuzní pumpu. Tato zařízení nelze z oblasti zájmu eliminovat kompletně, ve vakuové matraci pacient zůstává vždy, což pro pacienta v konečném důsledku znamená nárůst radiační zátěže. U těžce poraněných pacientů jsou zároveň mnohem omezenější možnosti a prostor pro polohování horních končetin za hlavu čili paže v postkontrastní fázi vyšetření zůstávají podél těla. Tento faktor výslednou radiační zátěž ovlivňuje skutečně zásadně, viz kapitola 6,4. Pacienti byli do výzkumných skupin zařazeni náhodně, nezávisle na pozici horních končetin – vzhledem k obecně pravděpodobnějšímu výskytu paží podél těla u pacientů z urgentního příjmu mohlo k ovlivnění výsledků srovnávání dojít. Přístroj Somatom Drive vyšetřuje převážně polytraumata z chirurgické a ortopedické ambulance, pacienty z urgentního příjmu přejímá ve službě. Ačkoliv jsou zde tedy těžce poranění pacienti vyšetřováni rovněž na denní bázi, vyskytuje se zde vyšší podíl pacientů s lehčími poraněními. Tito pacienti bývají vybaveni pouze krčním límcem (méně pacientů ve vakuové matraci) a jsou mnohem častěji schopni udržení horních končetin za hlavou.

Pozitivní vlivy Stellar detektorů i iterativních rekonstrukcí ADMIRE na radiační zátěž pacienta byly prokázány zahraničními studiemi.

Schmid ve své studii zkoumá vliv kombinace iterativních rekonstrukcí SAFIRE a ADMIRE spolu se systémem modulace napětí na dávkové zatížení pacientů u nízkodávkového CT vyšetření hlavy a krku. První výzkumnou skupinu tvořili pacienti vyšetření MDCT protokolem s fixním nastavením 120 kV a užitím SAFIRE (Somatom Definition AS+), druhou pacienti vyšetření single source módem DSCT přístroje s modulací napětí a iterativními rekonstrukcemi ADMIRE (Somatom Force). Průměrná hodnota DLP první skupiny byla 261,23 mGy*cm, u druhé skupiny to byla hodnota 254,42 mGy*cm. Užitím systému modulace napětí spolu s modernějším typem iterací došlo ke snížení radiační zátěže o 7,5 % (Schmid et al., 2016, s. 1-7).

Vztah Stellar detektorů a radiační zátěže zkoumá Christie ve své studii. Zde je tímto detektorem vybaven přístroj Somatom Definition Edge, srovnáván byl s přístroji Somatom Sensation a Somatom Definition Flash. Měření bylo provedeno na fantomu v podobě přesného anatomického modelu hrudníku, skenovací parametry odpovídaly doporučeným parametrům pro nativní vyšetření hrudníku od výrobce pro každý ze strojů. Studie prokázala pozitivní vliv kombinace iterativních rekonstrukcí se Stellar detektory na dávkovou zátěž (Christie et al., 2013, s. 421-427).

Třetí cíl práce je zaměřen na rozdíl v dávkovém zatížení při CT vyšetřování se zapnutým a vypnutým systémem modulace napětí CARE kV. Tento systém, na rozdíl od modulace proudu, kdy dochází ke kontinuálním úpravám jeho hodnot v souladu se skenovaným objemem během náběru dat, funguje na principu algoritmu automatického výběru hodnot. Na základě zhotoveného topogramu dochází k automatické volbě ideální kilovoltáže pro skenovaný objem a diagnostický záměr vyšetření tak, aby ve výsledném obraze byl optimální podíl šumu. Součástí CT protokolů využívajících systém CARE kV je předdefinování požadované kvality obrazu a tkání, které jsou předmětem zájmu. Výrobce deklaruje, že výsledkem udržení optimálního konstantního podílu šumu v obraze, který je tímto nastavením zprostředkován, je mimo zaručení zisku kvalitních obrazových dat rovněž pozitivní vliv na radiační zátěž (konkrétně na minimalizaci hodnoty $CTDI_{vol}$). Obecně je snižování hodnot kV spojeno se zvyšováním hodnot mAs pro zachování kvality obrazu. Přizpůsobení hodnot kV cílové oblasti (každá tkáň a materiál reaguje na změnu kV odlišně) přispívá ke zlepšení kontrastního rozlišení v obraze (např.: jód, základní složka i.v. kontrastní látky, vykazuje lepší absorpční maximum s nižšími hodnotami kV), je tedy možné v obraze zároveň navýšit podíl šumu, aniž by obraz diagnosticky degradoval. K číselnému navýšení hodnot mAs tedy může dojít, kombinace těchto dvou proměnných by ovšem stále měla zajistit celkové snížení radiační zátěže (MacDougall et al., 2016, s. 329-339).

Výsledky mého výzkumného šetření jsou ovšem v rozporu s tímto tvrzením. Předmětem šetření v tomto případě bylo srovnání DLP postkontrastních skenů (arteriální a venózní fáze) trupu v rámci dvoufázového polytraumatického CT protokolu, a to se systémem CARE kV v režimu ON (skupina B) a režimu OFF (skupina C). Hodnota kV byla v případě skupiny C nastavena neměnně na 120 kV – referenční hodnotu pro tento protokol, viz Tabulka 6. Statistické srovnávání vzorku pacientů obou skupin pozitivní vliv systému CARE kV na radiační zátěž neprokázalo; neprokázalo ovšem ani signifikantní negativní vliv na tuto proměnnou – mezi naměřenými hodnotami DLP nebyl prokázán statisticky signifikantní rozdíl. Rozdíl mezi skupinami je skutečně minimální, v průměrných hodnotách DLP pouze 1,2 %, ovšem navíc paradoxně ve prospěch skupiny C.

V rámci prováděné rešerše bohužel nebylo možné vyhledat jakoukoliv studii či publikaci, která by se optimalizaci radiační zátěže s užitím modulace napětí při CT vyšetřování celého trupu věnovala. Jako referenční tedy použiji studie věnující se soliterně oblastem hrudníku a břicha.

Jako první zmíním čínskou studii z roku 2017, která je zaměřena na zkoumání CARE kV z hlediska kvality obrazu a radiační zátěže u nativního CT hrudníku. Srovnávány byly dvě skupiny pacientů – první skupina byla vyšetřena protokolem s CARE kV, přičemž referenční hodnota byla nastavena na 100 kV; a druhá skupina byla vyšetřena s nastavenou fixní hodnotou 120 kV. Všichni pacienti byli vyšetřeni na stejném přístroji, v obou protokolech byla nastavena referenční kvalita 80 mAs. Zatímco raw data první skupiny byla dále vyhodnocena prostřednictvím iterativní rekonstrukce SAFIRE, u skupiny druhé tomu tak nebylo. Studie je primárně věnována rozdílu v kvalitě obrazu, v protokolech jsou tedy výraznější rozdíly než v protokolech mé výzkumné části, kde dochází pouze ke změně zapnutí a vypnutí nastavení. Ve studii byl potvrzen signifikantně vyšší poměr signálu a šumu v jednotlivých strukturách hrudníku u první skupiny čili pozitivní vliv kombinace CARE kV a iterativních rekonstrukcí na výsledný obraz. Signifikantní rozdíl byl pak zjištěn i z hlediska radiační zátěže, kdy systém CARE kV u pacientů aplikoval pouze hodnoty 80 nebo 100 kV a celkově se prokázalo snížení hodnot DLP o 31,44 %. (Yang et al., 2017, s. 1-4).

Tato studie má však vícere rozdíly v nastavení obou užitých protokolů, její oblastí zájmu je pouze hrudník, který je navíc vyšetřován nativně.

Druhá, rovněž čínská, studie z roku 2014 zkoumá vliv CARE kV na dávkové zatížení při kontrastním CT břicha. Parametry CT protokolů zařazených do této studie se již výrazněji podobají těm v mé výzkumné části – první skupina je vyšetřena s fixní hodnotou 120 kV, u druhé skupiny je použita modulace CARE kV. Referenční hodnoty proudu byly u obou skupin

pozměněny – pro 120 kV se hodnoty pohybovaly mezi 145-286 mA, pro CARE kV se jednalo o rozpětí 135-473 mA. U pětáctyřiceti pacientů z druhé skupiny došlo k redukcí napětí na 100 kV, u zbývajících pěti na 80 kV. Protokolem se 120 kV bylo naproti tomu vyšetřeno 39 pacientů. Pro hodnocení dávkového zatížení byla opět použita hodnota DLP. Studie prokázala snížení průměrné hodnoty DLP při užití CARE kV, a sice o 17 %. Ve studii bylo zároveň prokázáno, že tato redukce neměla negativní vliv na kvalitu obrazu. Část studie je rovněž věnována souvislosti mezi hodnotami DLP nebo odhadem efektivní dávky a BMI pacienta, přičemž byla v obou případech prokázána signifikantní pozitivní korelace (Hu et al., 2014, s. 1011-1016).

Ve srovnání s provedenou rešerší se tedy teoreticky pro výsledky mého šetření jako zásadní jeví právě skenovaný objem celého trupu. Oblasti hrudníku a břicha (potažmo malé pánve) jsou od sebe z tohoto hlediska velmi rozdílné, a to svou homogenitou, tkáňovým a orgánovým obsahem, mnohdy i svým tvarem. Volba ideální hodnoty napětí pomocí CARE kV tedy vychází z vlastností celé oblasti trupu, která je příliš rozsáhlá a heterogenní. To může prostor pro snižování kilovoltáže značně omezovat, což by vysvětlovalo značnou podobnost skupin B a C v mém výzkumném šetření.

Čtvrtý, poslední, dílčí cíl byl věnován rozdílu v dávkovém zatížení pacientů v postkontrastní části vyšetření při polohování horních končetin za hlavu a při jejich ponechání podél těla. Pozice horních končetin by měla dávkové zatížení ovlivňovat v souvislosti se systémem proudové modulace (AEC). Software CT přístroje po zhotovení topogramu automaticky přizpůsobí hodnoty proudu pro emitaci záření pacientově tvaru a předpokládané míře atenuace v různých oblastech těla tak, aby byla zajištěna požadovaná obrazová kvalita nezávisle na vlastnostech skenovaného objemu za co nejnižší radiační zátěže. Pro získání potřebné obrazové kvality tedy dochází k přístrojovému navyšování hodnot proudu společně s narůstajícím objemem cílové oblasti, jelikož je její míra atenuace vyšší. Pokud paže eliminujeme z oblasti zájmu jejich polohováním směrem za hlavu pacienta, celkový skenovaný objem se přirozeně sníží, což by mělo radiační zátěž pozitivně ovlivnit. Kromě pozitivního vlivu na zátěž pacienta má tento krok rovněž pozitivní vliv na výslednou kvalitu obrazu. Nárůst objemu oblasti zájmu je spojen s nárůstem podílu šumu ve výsledném obraze a s výskytem artefaktů, typicky v oblasti jater a sleziny dorsálně (beam hardening artefakt). Důsledkem výskytu těchto jevů je snížení celkové kvality obrazu, což zároveň přispívá ke zhoršené hodnotitelnosti obrazových dat.

Všechna tato tvrzení se opírají o provedenou rešeršní činnost, např.: o rozsáhlou nizozemskou studii z roku 2008, která se pozicí horních končetin u thorakoabdominálních

skenů a jejímu vlivu na zátěž a obraz věnuje. Tato studie sleduje chování AEC CARE Dose 4D (čili stejný systém proudové modulace od společnosti Siemens, který je využíván CT přístroji zařazenými do mé výzkumné části práce) u polohování paží za hlavu, podél těla a také zohledňuje skupinu pacientů s jednou paží za hlavou. U pacientů ve výzkumném souboru byla provedena kalkulace odhadů efektivní dávky a jejich následnému statistickému srovnání, ze kterého vyplývá, že u pacientů s jednou paží podél těla došlo k nárůstu dávkového zatížení o 18 % a u pacientů s oběma pažemi podél těla o 45 %, tedy k signifikantnímu navýšení zátěže (Brink et al., 2008, s. 661-670).

Odhad efektivní dávky byl použit i pro mé statistické šetření, přičemž byl aplikován konverzní vzorec $E = DLP * k$, kde je k konverzní koeficient pro oblast hrudníku, břicha a pánve pro fantom o průměru 32 cm, jehož hodnota je 0,015. Tato hodnota koeficientu k vychází z oficiální směrnice Evropské unie (European Guidelines on Quality Criteria for Computed Tomography) a je standardně v zahraničních studiích za tímto účelem využívána (Christner et al., 2010, s. 884) (Romanyukha et al., 2016, s. 429).

Četné studie rovněž podrobily stanovené koeficienty zkoumání, např.: srovnávání hodnot z výpočtu s kalkulacemi efektivní dávky pomocí simulační metody Monte Carlo či s výpočetními programy zohledňujícími více proměnných týkajících se CT přístroje i konkrétního pacienta (ImPACT), za účelem ověření relevance výpočtu. Studie poukazují na přítomnost odchylek ve výsledcích, které jsou spojené konkrétně s hodnotou DLP, kdy se obecně prokázala přítomnost nadhodnocování DLP strojem u objemných pacientů, tj. u pacientů o vyšší hmotnosti a výšky, než má tzv. standardní pacient, což je 70 kg a 170 cm; a naopak na podhodnocování u pacientů o rozměrech menších (Christner et al., 2010, s. 884-888) (Romanyukha et al., 2016, s. 428-429). Přítomnost odchylek násobku vůči sofistikovaným výpočetním metodám je předvídatelným jevem, velikosti odchylek ovšem postup jako takový nedegradují a zůstává tedy jednou ze zavedených početních alternativ.

Negativní vliv pozice horních končetin podél těla na odhad efektivní dávky, a tedy na radiační zátěž pacienta, byl prokázán i v rámci mého výzkumného šetření, kdy byl mezi skupinami zjištěn velmi vysoce signifikantní rozdíl ($p < 0,001$). Oproti pozici za hlavou došlo u pacientů s pažemi podél těla k navýšení průměrného odhadu efektivní dávky postkontrastních fází o 49,64 %, což je výsledek srovnatelný s výše zmíněnou nizozemskou studií. Zatímco průměrný odhad efektivní dávky souboru pacientů s pažemi za hlavou byl 18,9567 mSv, u skupiny s pažemi podél těla to bylo 37,6762 mSv.

Karlo se ve své studii vztahem mezi radiační zátěží a pozicí horních končetin rovněž zabývá. Ke dvěma standardním pozicím zařadil do výzkumného souboru ještě pozici třetí, a

sice uložení v loktech pokrčených horních končetin na hrudník v poloze zkříženě, přičemž jsou paže na hrudi podloženy molitanovou pomůckou. Pozicím paží se věnuje z hlediska dávkového zatížení, k odhadu efektivní dávky rovněž využívá početní metodu popsanou výše, a také se věnuje vlivu na kvalitu obrazu. I u této studie je AEC systémem proudové modulace CARE Dose 4D od společnosti Siemens. Nastavení délky postkontrastních skenů je od dvoufázového protokolu, kterým byly vyšetřovány skupiny E a F ve výzkumné části, odlišné. V tomto případě byla nejprve postkontrastně vyšetřena oblast hrudníku (od šestého krčního obratle po brániční klenbu), a poté následoval sken oblasti břicha a pánve (od brániční klenby po malé trochantery). Dvoufázový protokol sledovaný v mé práci využívá délku arteriální fáze ocnice-symfýza a venózní fáze brániční klenba-symfýza čili větší celkový postkontrastní objem. Mezi skupinou pacientů s pažemi za hlavou byl vůči ostatním prokázán statisticky signifikantní rozdíl v radiační zátěži. Zatímco průměrný odhad efektivní dávky u těchto pacientů byl 16,1 mSv, u pacientů s končetinami podél těla to bylo 21,2 mSv a u skupiny využívající podložení horních končetin 21,9 mSv. Mezi zbývajících dvěma skupinami tedy statisticky signifikantní rozdíl v dávkové zátěži není, rozdíl byl potvrzen pouze z hlediska kvality obrazu (Karlo et al., 2011, s. 285-293).

Z hlediska radiační ochrany i z hlediska redukce artefaktů v obraze je tedy snaha o polohování horních končetin za hlavu pacienta před zahájením postkontrastních skenů jednoznačně přínosná. Vytvořenou radiační zátěž lze tímto krokem snížit až téměř o polovinu. Na první pozici je ale vždy individuální zdravotní stav pacienta. Je-li pacient v oblasti horní končetiny či jejího pletence poraněn nebo mohl by další pohyb s paží její poranění potencovat, není tato snaha na místě. Pohybu s končetinami by vždy měla nejprve předcházet osobní domluva s pacientem, případně s týmem urgentního příjmu, není-li pacient při vědomí.

Realizované výzkumné šetření má několik **limitujících faktorů**. Prvním je lokalita realizace výzkumu a velikost výzkumného souboru. Do výzkumného souboru byli zařazeni pacienti vyšetřeni pouze v jediném traumacentru (Fakultní nemocnice Královské Vinohrady) a to pouze v úseku několika měsíců. Druhým faktorem je retrospektivní náběr dat, související s omezenými informacemi o pacientech, jako je absence údajů o BMI, na základě které nemohl být výzkumný soubor přesněji vymezen a rovněž nemohly být využity sofistikovanější početní metody pro odhad efektivní dávky, což znamená přítomnost odchylek. Jako třetí faktor lze uvést nesourodé soubory pacientů na obou sledovaných CT přístrojích, které zmiňuji v souvislosti s druhou výzkumnou hypotézou výše v kapitole.

Závěr

Pro svou diplomovou práci jsem si zvolila téma týkající se zobrazovacích metod využívaných k vyšetřování polytraumatizovaných pacientů. Provedené výzkumné šetření jsem věnovala výpočetní tomografii, která je současně a celosvětově pro vyšetřování polytraumat považována za klíčovou metodu. Cílem diplomové práce bylo zjistit, jak vysoká je radiační zátěž pacientů vyšetřených pomocí polytraumatického CT protokolu s užitím různých alternativ, či jejich kombinací, cílících na její snížení. Dílčí cíle práce byly věnovány zkoumání konkrétních proměnných, které mohou radiační zátěž pacienta ovlivnit.

Výsledky práce prokázaly signifikantní rozdíly v radiační zátěži mezi dvoufázovým polytraumatickým protokolem a jednofázovým s využitím techniky děleného bolu. Dále byly prokázány signifikantní rozdíly v zátěži při vyšetřování na CT přístrojích Somatom Definition AS+ a Somatom Drive. V rámci práce byl prokázán signifikantní vliv pozice horních končetin při postkontrastním skenu na výslednou radiační zátěž pacienta. Signifikantní vliv systému modulace napětí CARE kV na velikost radiační zátěže u postkontrastního skenu trupu prokázán nebyl.

Z výsledků výzkumného šetření vyplývá, že radiologický asistent může ze své pozice výslednou radiační zátěž pacienta významně ovlivnit. Spoluprací s lékařem radiologem přítomným u vyšetření a rovněž se zdravotníky, kteří poraněného doprovázejí na CT vyšetřovnu, může asistent učinit kroky, které povedou ke snížení radiační zátěže pacienta, a zároveň nebudou mít jakýkoliv negativní vliv na kvalitu obrazu a jeho diagnostickou výtěžnost. Výsledná expozice pacienta rentgenovému záření, a tedy i výsledná kvalita obrazových dat, je pak právě v rukou radiologického asistenta – a ten by měl mít o faktorech ovlivňujících radiační zátěž odpovídající přehled.

Přihlédneme-li na fakt, že mnohočetně poraněnými jsou v největší míře lidé mladšího věku a radiační zátěž u nich může v budoucnu potencovat negativní změny, je snaha o snížení zátěže u WBCT více než na místě. V rámci diplomové práce bylo prokázáno, že je čistě z hlediska radiační ochrany optimální vyšetřování jednofázovým (split) protokolem s pažemi za hlavou při postkontrastním skenu, a to na CT přístroji vybaveným plně integrovanými detektory a volbou iterativních rekonstrukcí pracujících na principu statistického modelování dat. Tuto diplomovou práci lze využít jako zdroj informací o možnostech v diagnostice mnohočetně poraněných a v optimalizaci radiační zátěže na CT pro radiologické asistenty.

Referenční seznam

ARAN, Shima, Khalid W. SHAQDAN a Hani H. ABUJUDEH. Dual-energy computed tomography (DECT) in emergency radiology: basic principles, techniques, and limitations. *Emergency Radiology* [online]. 2014, **21**(4), 391-405 [cit. 2021-01-13]. ISSN 1070-3004. Dostupné z: doi:10.1007/s10140-014-1208-2

BAJCUROVÁ, Kristýna, Hynek MÍRKA a Eva KORČÁKOVÁ. Optimalizace split-bolus techniky podání kontrastní látky při celotělovém CT vyšetření u pacientů s polytraumatem. *Česká radiologie* [online]. 2019, 2019, **73**(2), 99-106 [cit. 2021-03-20]. ISSN 1210-7883. Dostupné z: http://www.cesradiol.cz/dwnld/CesRad_1902_99_106.pdf

BORDER, J. R., J. LADUCA a R. SEIBEL. Priorities in the Management of the Patient with Polytrauma. BERGENTZ, S.-E., R.Y. CALNE a U.F. GRUBER, ed. *Progress in Surgery* [online]. S. Karger, 1975, s. 84-120 [cit. 2021-01-16]. Progress in Surgery. ISBN 978-3-8055-2181-9. Dostupné z: doi:10.1159/000398211

BOWRA, Justin, Sally FORREST-HORDER, Erica CALDWELL, Michelle COX a Scott K. D'AMOURS. Validation of nurse-performed FAST ultrasound. *Injury* [online]. 2010, **41**(5), 484-487 [cit. 2021-01-13]. ISSN 00201383. Dostupné z: doi:10.1016/j.injury.2009.08.009

BRINK, Monique, Frank DE LANGE, Luuk J. OOSTVEEN, et al. Arm Raising at Exposure-controlled Multidetector Trauma CT of Thoracoabdominal Region: Higher Image Quality, Lower Radiation Dose. *Radiology* [online]. 2008, **249**(2), 661-670 [cit. 2021-04-10]. ISSN 0033-8419. Dostupné z: doi:10.1148/radiol.2492080169

BUTCHER, Nerida a Zsolt J BALOGH. The definition of polytrauma: the need for international consensus. *Injury* [online]. 2009, **40**, S12-S22 [cit. 2021-01-13]. ISSN 00201383. Dostupné z: doi:10.1016/j.injury.2009.10.032

BUTCHER, N. E. a Z. J. BALOGH. Update on the definition of polytrauma. *European Journal of Trauma and Emergency Surgery* [online]. 2014, **40**(2), 107-111 [cit. 2021-01-13]. ISSN 1863-9933. Dostupné z: doi:10.1007/s00068-014-0391-x

CHAWDA, M.N, F HILDEBRAND, H.C PAPE a P.V GIANNOUDIS. Predicting outcome after multiple trauma: which scoring system? *Injury* [online]. 2004, **35**(4), 347-358 [cit. 2021-01-13]. ISSN 00201383. Dostupné z: doi:10.1016/S0020-1383(03)00140-2

CHRISTE, Andreas. CT dose and image quality in the last three scanner generations. *World Journal of Radiology* [online]. 2013, **5**(11) [cit. 2021-04-17]. ISSN 1949-8470. Dostupné z: doi:10.4329/wjr.v5.i11.421

CHRISTNER, Jodie A., James M. KOFLER a Cynthia H. MCCOLLOUGH. Estimating Effective Dose for CT Using Dose–Length Product Compared With Using Organ Doses: Consequences of Adopting International Commission on Radiological Protection Publication 103 or Dual-Energy Scanning. *American Journal of Roentgenology* [online]. 2010, **194**(4), 881-889 [cit. 2021-04-10]. ISSN 0361-803X. Dostupné z: doi:10.2214/AJR.09.3462

ÇORBACIOĞLU, Şeref Kerem a Gökhan AKSEL. Whole body computed tomography in multi trauma patients: Review of the current literature. *Turkish Journal of Emergency Medicine* [online]. 2018, **18**(4), 142-147 [cit. 2021-01-13]. ISSN 24522473. Dostupné z: doi:10.1016/j.tjem.2018.09.003

DAVIES, Ronnie M., Ashley B. SCRIMSHIRE, Lorna SWEETMAN, Michael J. ANDERTON a E. Martin HOLT. A decision tool for whole-body CT in major trauma that safely reduces unnecessary scanning and associated radiation risks: An initial exploratory analysis. *Injury* [online]. 2016, **47**(1), 43-49 [cit. 2019-12-08]. ISSN 00201383. Dostupné z: doi:10.1016/j.injury.2015.08.036

EICHLER, Katrin, Ingo MARZI, Hendrik WYEN, Stephan ZANGOS, Martin G. MACK a Thomas J. VOGL. Multidetector computed tomography (MDCT): simple CT protocol for trauma patient. *Clinical Imaging* [online]. 2015, **39**(1), 110-115 [cit. 2021-01-13]. ISSN 08997071. Dostupné z: doi:10.1016/j.clinimag.2014.09.011

EXADAKTYLOS, A.K., L.M. BENNEKER, V. JEGER, L. MARTINOLLI, H.M. BONEL, S. EGGLI, H. POTGIETER a H. ZIMMERMANN. Total-body digital X-ray in trauma. *Injury* [online]. 2008, **39**(5), 525-529 [cit. 2021-02-25]. ISSN 00201383. Dostupné z: doi:10.1016/j.injury.2007.10.019

FAIST, E., A. E. BAUE, H. DITTMER a G. HEBERER. Multiple Organ Failure in Polytrauma Patients. *The Journal of Trauma: Injury, Infection, and Critical Care* [online]. 1983, **23**(9), 775-787 [cit. 2021-01-16]. ISSN 0022-5282. Dostupné z: doi:10.1097/00005373-198309000-00002

GEYER, Lucas, Markus KOERNER, Stefan WIRTH, Fabian MUECK, Maximilian REISER a Ulrich LINSENMAIER. Polytrauma: Optimal Imaging and Evaluation Algorithm. *Seminars in Musculoskeletal Radiology* [online]. 2013, **17**(04), 371-379 [cit. 2019-12-08]. ISSN 1089-7860. Dostupné z: doi:10.1055/s-0033-1356466

GEYER, Lucas L, Markus KÖRNER, Andreas HARRIEDER, Fabian G MUECK, Zsuzsanna DEAK, Stefan WIRTH a Ulrich LINSENMAIER. Dose reduction in 64-row whole-body CT in multiple trauma: an optimized CT protocol with iterative image reconstruction on a gemstone-based scintillator. *The British Journal of Radiology* [online]. 2016, **89**(1061), 1-6 [cit. 2021-01-13]. ISSN 0007-1285. Dostupné z: doi:10.1259/bjr.20160003

GIANNOUDIS, P.V., P.J. HARWOOD, C. COURT-BROWN a H.C. PAPE. Severe and multiple trauma in older patients; incidence and mortality. *Injury* [online]. 2009, **40**(4), 362-367 [cit. 2021-01-13]. ISSN 00201383. Dostupné z: doi:10.1016/j.injury.2008.10.016

GIRSA, David, Jiří WEICHET a Hana MALÍKOVÁ. Celotělové CT a další zobrazovací metody při vyšetření pacienta s polytraumatem: výsledky dotazníkové studie mezi traumacentry v České republice. *Acta Chirurgiae Orthopaedicae et Traumatologiae Cechoslovaca* [online]. Praha: Galén, 2019, **86**(5), 334-341 [cit. 2021-01-13]. Dostupné z: http://www.achot.cz/dwnld/achot_2019_5_334_341.pdf

Global Health Estimates 2019: Deaths by Cause, Age, Sex, by Country and by Region, 2000-2019 [online]. Geneva: World Health Organization, 2020a [cit. 2021-01-17]. Dostupné ke stažení z: <https://www.who.int/data/gho/data/themes/mortality-and-global-health-estimates/ghe-leading-causes-of-death>

GUARNIERI, Gianluigi, Roberto IZZO a Mario MUTO. The role of emergency radiology in spinal trauma. *The British Journal of Radiology* [online]. 2016, **89**(1061) [cit. 2021-02-25]. ISSN 0007-1285. Dostupné z: doi:10.1259/bjr.20150833

HAKIM, Wasim, Raghavendra KAMANAHALLI, Elizabeth DICK, Nishat BHARWANI, Shirley FETHERSTON a Elika KASHEF. Trauma whole-body MDCT: an assessment of image quality in conventional dual-phase and modified biphasic injection. *The British Journal of Radiology* [online]. 2016, **89**(1063) [cit. 2021-04-08]. ISSN 0007-1285. Dostupné z: doi:10.1259/bjr.20160160

HAVRANOVÁ, Helena. Deset nejčastějších příčin smrti: nejvíc Češi umírají na nemoci srdce a nádory. *Aktuálně.cz* [online]. 20. 11. 2019 [cit. 2021-01-17]. Dostupné z: <https://zpravy.aktualne.cz/domaci/deset-nejcastejsich-pricin-smrti-nejvic-cesi-umiraji-na-nemo/r~15b8d6fa0b8711ea88f50cc47ab5f122/>

HILAIRE, Cameron St., Arianne JOHNSON, Caitlin LOSETH, Hamid ALIPOUR, Nick FAUNCE, Stephen KAMINSKI a Rohit SHARMA. Facial fractures and associated injuries in high-versus low-energy trauma: all are not created equal. *Maxillofacial Plastic and Reconstructive Surgery* [online]. 2020, **42**(1), 1-6 [cit. 2021-01-17]. ISSN 2288-8586. Dostupné z: doi:10.1186/s40902-020-00264-5

HU, Lirong, Yujun WANG, Hongtao HOU, Fuquan WEI, Guangzhao YANG a Yougeng CHEN. Radiation dose and image quality with abdominal computed tomography with automated dose-optimized tube voltage selection. *Journal of International Medical Research* [online]. 2014, **42**(4), 1011-1017 [cit. 2021-04-15]. ISSN 0300-0605. Dostupné z: doi:10.1177/0300060513496173

JIANG, Libing, Yuefeng MA, Shouyin JIANG, Ligang YE, Zhongjun ZHENG, Yongan XU a Mao ZHANG. Comparison of whole-body computed tomography vs selective radiological imaging on outcomes in major trauma patients: a meta-analysis. *Scandinavian Journal of Trauma, Resuscitation and Emergency Medicine* [online]. 2014, **22**(1) [cit. 2021-02-25]. ISSN 1757-7241. Dostupné z: doi:10.1186/s13049-014-0054-2

KAHN, Johannes, David KAUL, Georg BÖNING, et al. Quality and Dose Optimized CT Trauma Protocol – Recommendation from a University Level-I Trauma Center. *RöFo - Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen und der bildgebenden Verfahren* [online]. 2017, **189**(09), 844-854 [cit. 2021-01-13]. ISSN 1438-9029. Dostupné z: doi:10.1055/s-0043-108996

KARLO, Christoph, Ralph GNANNT, Thomas FRAUENFELDER, Sebastian LESCHKA, Martin BRÜESCH, Guido A. WANNER a Hatem ALKADHI. Whole-body CT in polytrauma patients: effect of arm positioning on thoracic and abdominal image quality. *Emergency Radiology* [online]. 2011, **18**(4), 285-293 [cit. 2021-01-13]. ISSN 1070-3004. Dostupné z: doi:10.1007/s10140-011-0948-5

KESSEL, Boris, Roger SEVI, Igor JEROUKHIMOV, et al. Is routine portable pelvic X-ray in stable multiple trauma patients always justified in a high technology era? *Injury* [online]. 2007, **38**(5), 559-563 [cit. 2021-02-25]. ISSN 00201383. Dostupné z: doi:10.1016/j.injury.2006.12.020

KOOL, Digna R. a Johan G. BLICKMAN. Advanced Trauma Life Support®. ABCDE from a radiological point of view. *Emergency Radiology* [online]. 2007, **14**(3), 135-141 [cit. 2021-01-13]. ISSN 1070-3004. Dostupné z: doi:10.1007/s10140-007-0633-x

LECKY, Fiona, Omar BOUAMRA a Maralyn WOODFORD. Changing Epidemiology of Polytrauma. PAPE, Hans-Christoph, Andrew B. PEITZMAN, Michael F. ROTONDO a Peter V. GIANNOUDIS, ed. *Damage Control Management in the Polytrauma Patient* [online]. Cham: Springer International Publishing, 2017, 2017-04-05, s. 27-32 [cit. 2021-01-13]. ISBN 978-3-319-52427-6. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-319-52429-0_3

LESTRA, T., S. MULÉ, I. MILLET, A. CARSIN-VU, P. TAOUREL a C. HOEFFEL. Applications of dual energy computed tomography in abdominal imaging. *Diagnostic and Interventional Imaging* [online]. 2016, **97**(6), 593-603 [cit. 2021-04-18]. ISSN 22115684. Dostupné z: doi:10.1016/j.diii.2015.11.018

LEUNG, V., A. SASTRY, T.D. WOO a H.R. JONES. Implementation of a split-bolus single-pass CT protocol at a UK major trauma centre to reduce excess radiation dose in trauma pan-CT. *Clinical Radiology* [online]. 2015, **70**(10), 1110-1115 [cit. 2021-04-08]. ISSN 00099260. Dostupné z: doi:10.1016/j.crad.2015.05.014

LEWIS, Mark, Karen REID a Andoni P. TOMS. Reducing the effects of metal artefact using high keV monoenergetic reconstruction of dual energy CT (DECT) in hip

replacements. *Skeletal Radiology* [online]. 2013, **42**(2), 275-282 [cit. 2021-01-13]. ISSN 0364-2348. Dostupné z: doi:10.1007/s00256-012-1458-6

MACDOUGALL, Robert D., Patricia L. KLEINMAN a Michael J. CALLAHAN. Size-based protocol optimization using automatic tube current modulation and automatic kV selection in computed tomography. *Journal of Applied Clinical Medical Physics* [online]. 2016, **17**(1), 328-341 [cit. 2021-04-15]. ISSN 15269914. Dostupné z: doi:10.1120/jacmp.v17i1.5756

MALÍKOVÁ, Hana. *Základy radiologie a zobrazovacích metod*. Praha: Univerzita Karlova, nakladatelství Karolinum, 2019. ISBN 978-80-246-4036-5.

Metodický list intravaskulárního podání jodových kontrastních látek. In: *Česká radiologie* [online]. 2007, 27. 2. 2007, **61**(1), s. 105-107 [cit. 2021-03-18]. ISSN 1210-7883. Dostupné z: http://www.cesradiol.cz/dwnld/CesRad0701_105.pdf

MONTOYA, J., S. P. STAWICKI, D. C. EVANS, D. P. BAHNER, S. SPARKS, R. P. SHARPE a J. CIPOLLA. From FAST to E-FAST: an overview of the evolution of ultrasound-based traumatic injury assessment. *European Journal of Trauma and Emergency Surgery* [online]. 2016, **42**(2), 119-126 [cit. 2021-01-13]. ISSN 1863-9933. Dostupné z: doi:10.1007/s00068-015-0512-1

MORAES, JÚLIO PATROCÍNIO, JOSÉ GUSTAVO PARREIRA, PEDRO DE SOUZA LUCARELLI-ANTUNES, GIOVANNA ZUCCHINI RONDINI, JACQUELINE ARANTES GIANNINI PERLINGEIRO a JOSE CESAR ASSEF. Optimizing Pelvic X-Ray indication in blunt trauma patients using clinical criteria. *Revista do Colégio Brasileiro de Cirurgiões* [online]. 2020, **47** [cit. 2021-02-25]. ISSN 1809-4546. Dostupné z: doi:10.1590/0100-6991e-20202624

O'KEEFFE, Michael, Sheldon CLARK, Faisal KHOSA, Mohammed F. MOHAMMED, Patrick D. MCLAUGHLIN a Savvas NICOLAOU. Imaging Protocols for Trauma Patients: Trauma Series, Extended Focused Assessment With Sonography for Trauma, and Selective and Whole-body Computed Tomography. *Seminars in Roentgenology* [online]. 2016, **51**(3), 130-142 [cit. 2021-01-27]. ISSN 0037198X. Dostupné z: doi:10.1053/j.ro.2016.02.007

PAPE, Hans-Christoph, Rolf LEFERING, Nerida BUTCHER, et al. The definition of polytrauma revisited. *Journal of Trauma and Acute Care Surgery* [online]. 2014, **77**(5), 780-786 [cit. 2021-01-16]. ISSN 2163-0755. Dostupné z: doi:10.1097/TA.0000000000000453

PROKOP, Mathias a Michael GALANSKI. *Spiral and Multislice Computed Tomography of the Body*. New York: Thieme, 2003. ISBN 3-13-116481-6.

RAPSANG, Amy Grace a Devajit Chowlek SHYAM. Scoring Systems of Severity in Patients with Multiple Trauma. *Cirugía Española (English Edition)* [online]. 2015, **93**(4), 213-221 [cit. 2021-01-13]. ISSN 21735077. Dostupné z: doi:10.1016/j.cireng.2013.12.031

ROMANYUKHA, Anna, Les FOLIO, Stephanie LAMART, Steven L. SIMON a Choonsik LEE. BODY SIZE-SPECIFIC EFFECTIVE DOSE CONVERSION COEFFICIENTS FOR CT SCANS. *Radiation Protection Dosimetry* [online]. 2017, **172**(4), 428-437 [cit. 2021-04-10]. ISSN 0144-8420. Dostupné z: doi:10.1093/rpd/ncv511

SEDLIC, Anto, Christina M. CHINGKOE, David K. TSO, Sandro GALEA-SOLER a Savvas NICOLAOU. Rapid imaging protocol in trauma: a whole-body dual-source CT scan. *Emergency Radiology* [online]. 2013, **20**(5), 401-408 [cit. 2021-01-13]. ISSN 1070-3004. Dostupné z: doi:10.1007/s10140-013-1139-3

SCHALAMON, Johannes, Sylvester V. BISMARCK, Peter H. SCHOBER a Michael E. HÖLLWARTH. Multiple trauma in pediatric patients. *Pediatric Surgery International* [online]. 2003, **19**(6), 417-423 [cit. 2021-01-13]. ISSN 0179-0358. Dostupné z: doi:10.1007/s00383-003-0954-0

SCHMID, Andrea I, Michael UDER a Michael M LELL. Reaching for better image quality and lower radiation dose in head and neck CT: advanced modeled and sinogram-affirmed iterative reconstruction in combination with tube voltage adaptation. *Dentomaxillofacial Radiology* [online]. 2017, **46**(1) [cit. 2021-04-17]. ISSN 0250-832X. Dostupné z: doi:10.1259/dmfr.20160131

SCHMIDT, Gunter. *Thieme Clinical Companions: Ultrasound*. New York: Thieme, 2007. ISBN 978-3-13-142711-3

SIERINK, Joanne, Kaij TRESKES, Michael EDWARDS a Benn BEUKER. Immediate total-body CT scanning versus conventional imaging and selective CT scanning in patients with severe trauma (REACT-2): a randomised controlled trial [online]. 2016, , 1-11 [cit. 2021-03-25]. Dostupné z: doi:10.1016/S0140-6736(16)30932-1

SHKRUM, Michael a David RAMSAY. *Forensic Pathology of Trauma: Common Problems for the Pathologist* [online]. 2nd. New Jersey: Humana Press, 2007 [cit. 2021-01-17]. eISBN 1-59745-138-X. Dostupné z:

https://books.google.cz/books?id=xaQRx_6zxWMC&pg=PA405&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false

SINGH, Ramandeep, Amita SHARMA, Shaunagh MCDERMOTT, et al. Comparison of image quality and radiation doses between rapid kV-switching and dual-source DECT techniques in the chest. *European Journal of Radiology* [online]. 2019, **119** [cit. 2021-01-13]. ISSN 0720048X. Dostupné z: doi:10.1016/j.ejrad.2019.08.008

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

Statistika příčin smrti [online]. Lucemburk: Eurostat, 2020 [cit. 2021-01-17]. Dostupné z:

https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Causes_of_death_statistics/cs

The top 10 causes of death [online]. Geneva: World Health Organization, 2020b [cit. 2021-01-17]. Dostupné z: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/the-top-10-causes-of-death>

Traumacentra. *Ministerstvo zdravotnictví České republiky* [online]. 11. 8. 2016 [cit. 2021-02-11]. Dostupné z: <https://www.mzcr.cz/traumacentra/>

Věstník Ministerstva zdravotnictví České republiky [online]. 2008, částka 6, Praha, 2008 [cit. 2021-03-25]. Dostupné z: <https://www.mzcr.cz/wp-content/uploads/wepub/2146/6399/ZDRAVOTNICTVI-tisk%2006-08.indd.pdf>

WISBACH, Gordon G., Michael J. SISE, Daniel I. SACK, Sophia M. SWANSON, Sanna M. SUNDQUIST, Gabrielle M. PACI, Kenneth M. KINGDON a Stephen S. KAMINSKI. What is the Role of Chest X-Ray in the Initial Assessment of Stable Trauma Patients? *The Journal of Trauma: Injury, Infection, and Critical Care* [online]. 2007, **62**(1), 74-79 [cit. 2021-02-25]. ISSN 0022-5282. Dostupné z: doi:10.1097/01.ta.0000251422.53368.a3

YANG, Bin, Zheng-Liang LI, Yi GAO, Ya-Ying YANG a Wei ZHAO. Image quality evaluation for CARE kV technique combined with iterative reconstruction for chest computed tomography scanning. *Medicine* [online]. 2017, **96**(11) [cit. 2021-04-15]. ISSN 0025-7974. Dostupné z: doi:10.1097/MD.00000000000006175

YANIV, G., O. PORTNOY, D. SIMON, S. BADER, E. KONEN a L. GURANDA. Revised protocol for whole-body CT for multi-trauma patients applying triphasic injection followed by a single-pass scan on a 64-MDCT. *Clinical Radiology* [online]. 2013, **68**(7), 668-675 [cit. 2021-04-08]. ISSN 00099260. Dostupné z: doi:10.1016/j.crad.2012.12.011

ZHANG, Mao, Zhi-Hai LIU, Jian-Xin YANG, Jian-Xin GAN, Shao-Wen XU, Xiang-Dong YOU a Guan-Yu JIANG. Rapid detection of pneumothorax by ultrasonography in patients with multiple trauma. *Critical Care* [online]. 2006, **10**(4), 1-7 [cit. 2021-01-13]. ISSN 13648535. Dostupné z: doi:10.1186/cc5004

ŽIŽKA, Jan. Iterativní rekonstrukce CT obrazu – revoluční krok ve vývoji výpočetní tomografie? *Česká radiologie* [online]. 2011, 2011, **65**(3), 169-176 [cit. 2021-03-21]. ISSN 1210-7883. Dostupné z: http://www.cesradiol.cz/dwnld/CesRad_1103_169_176.pdf

Seznam zkratek

μmol/l	mikromol na litr
2D	dvourozměrný
3D	trojrozměrný
4D	čtyřrozměrný
ADMIRE	Advanced Modeled Iterative Reconstruction
AEC	Automatic Exposure Control
AIS	Abbreviated Injury Scale
AIS-90	verze Abbreviated Injury Scale z roku 1990
ALARA	As Low As Reasonably Achievable
AP	Anatomic Profile
APACHE	Acute Physiology and Chronic Health Evaluation
APS	Acute Physiology Score
ASCOT	A Severity Characterisation Of Trauma
ATLS®	Advanced Trauma Life Support®
BMI	body mass index
CARE	Combined Applications to Reduce Exposure
CT	computed tomography (výpočetní tomografie)
CTA	CT angiografie
CTDI _{vol}	Volume CT Dose Index
ČSÚ	Český statistický úřad
DLP	Dose-Length Product
DECT	dual energy CT
DSCT	dual source CT
DF	dechová frekvence
ED	emergency department
E-FAST	Extended Focused Assessment with Sonography for Trauma
EU	Evropská unie
Eurostat	Statistický úřad Evropské unie
FAST	Focused Assessment with Sonography for Trauma
FNKV	Fakultní nemocnice Královské Vinohrady
FOV	field of view
FR	fyziologický roztok

GSC	Glasgow Coma Scale
GHE	Global Health Estimates
HARM	Harboview Assessment of Risk of Mortality
HK	horní končetiny
HU	Hounsfield Unit (jednotka Hounsfieldovy stupnice)
ISS	Injury Severity Score
i.v.	intravenózně
JKL	jodová kontrastní látka
lat.	latinsky
kV	kilovolt
mA	miliampér
mas	miliampér sekunda
MBIR	Model Based Iterative Reconstruction
MDCT	multidetektorové CT
mGy	miligray
mg	miligram
MHz	megahertz
MinIP	minimum intensity projection
MIP	maximum intensity projection
ml	mililitr
mmHg	torr
MPR	multiplanární rekonstrukce
mSv	milisievert
MZČR	Ministerstvo zdravotnictví České republiky
NISS	New Injury Severity Score
PNO	pneumothorax
RTG	rentgenový
RTS	Revised Trauma Score
SAFIRE	Sinogram Affirmed Iterative Reconstruction
SSD	shaded surface display
STK	systolický krevní tlak
Th1	první hrudní obratel
TRISS	Trauma Injury Severity Score
USG	ultrasonografie, ultrasonografický

VRT	volume rendering technique
WBCT	whole body computed tomography
WHO	World Health Organization (Světová zdravotnická organizace)

Seznam tabulek

Tabulka 1 Závažnost poranění dle AIS.....	21
Tabulka 2 Ukázka výpočtu ISS skóre.....	22
Tabulka 3 Glasgowská stupnice	23
Tabulka 4 Hodnocení dle systému RTS	24
Tabulka 5 Dvoufázový vyš. protokol a parametry aplikace JKL u CT Somatom Definition AS+ (SKUPINA A).....	55
Tabulka 6 Dvoufázový vyš. protokol a parametry aplikace JKL u CT Somatom Drive (SKUPINA B).....	57
Tabulka 7 Jednofázový vyš. protokol a split bolus aplikace JKL u CT Somatom Drive (SKUPINA D)	58
Tabulka 8 Přehled hodnot Total DLP (mGy*cm) u skupin B a D	60
Tabulka 9 Přehled hodnot DLP (mGy*cm) v jednotlivých postkontrastních fázích....	61
Tabulka 10 Přehled hodnot Total DLP (mGy*cm) u skupin A a B	62
Tabulka 11 Přehled hodnot DLP (mGy*cm) arteriálních a venózních fází	62
Tabulka 12 Přehled hodnot Total DLP (mGy*cm) u skupin B a C.....	64
Tabulka 13 Přehled hodnot DLP (mGy*cm) arteriálních a venózních fází	64
Tabulka 14 Přehled hodnot odhad efektivní dávky (mSv) pro skupiny E a F.....	66

Seznam obrázků

Obrázek 1 Přístupy při vyšetření E-FAST.....	30
Obrázek 2 Přístroj Statscan.....	37

Seznam grafů

Graf 1 Porovnání hodnot Total DLP u skupin B a D.....	61
Graf 2 Porovnání hodnot Total DLP u skupin A a B.....	63
Graf 3 Porovnání hodnot Total DLP u skupin B a C.....	65
Graf 4 Porovnání odhadu efektivních dávek (mSv) u skupin E a F	67

Seznam příloh

Příloha č. 1	Souhlas s výzkumným šetřením od vedení RDG kliniky FNKV
Příloha č. 2	Stanovisko etické komise FZV UPOL

Univerzita Palackého
v OlomouciFakulta
zdravotnických věd

Univerzita Palackého v Olomouci

Fakulta zdravotnických věd

Hněvotínská 976/3, 779 00 Olomouc

Souhlas s výzkumným šetřením

Žádám Radiodiagnostickou kliniku Fakultní nemocnice Královské Vinohrady a 3. lékařské fakulty Univerzity Karlovy v Praze o souhlas s realizací výzkumného šetření k mé diplomové práci na téma Zobrazovací metody u polytraumatických pacientů se zaměřením na výpočetní tomografii.

Jmenuji se Klára Dominová, jsem studentkou studijního oboru Zobrazovací technologie v radiodiagnostice Univerzity Palackého v Olomouci. Data shromážděná v rámci výzkumného šetření budou použita pro vypracování mé diplomové práce. Zavazuji se, že zachovám mlčenlivost o skutečnostech, o nichž se dozvím v souvislosti s prováděným výzkumem a sběrem dat. Během sběru a zpracování dat bude zachována anonymita pacientů zařazených do výzkumného souboru dle zákona č. 101/2000 Sb., o ochraně osobních údajů.

dne 1. 3. 2021 v Praze

žadatel: Klára Dominová

Roudenská 470/1, 370 01 Č. Budějovice

Vyjádření souhlasu

Dle zákona č. 101/2000 Sb., o ochraně osobních údajů Vám uděluji/ ~~neuděluji~~ souhlas s realizací výzkumné činnosti, a se zpracování dat poskytnutých naším pracovištěm.

Datum 1. 3. 2021



Razítko a podpis zástupce pracoviště



Fakulta
zdravotnických věd

UPOL-147135/1030-2019

Vážená paní
Klára Dominová

2019-31-10

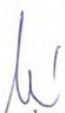
Vyjádření Etické komise FZV UP

Vážená paní Dominová,

na základě Vaší Žádosti o stanovisko Etické komise FZV UP byla Vaše výzkumná část diplomové práce posouzena a po vyhodnocení všech zaslaných dokumentů Vám sdělujeme, že diplomové práci s názvem „**Zobrazovací metody u polytraumatických pacientů se zaměřením na výpočetní tomografii**“, jehož jste hlavní řešitelkou, bylo uděleno

souhlasné stanovisko Etické komise FZV UP .

S pozdravem,


Mgr. Lenka Mazalová, Ph.D.
předsedkyně
Etické komise FZV UP

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