

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI  
FAKULTA ZDRAVOTNICKÝCH VĚD

Ústav radiologických metod

**DIPLOMOVÁ PRÁCA**

2023

Bc. Paulína Duchoňová

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI  
FAKULTA ZDRAVOTNICKÝCH VĚD

Ústav radiologických metod

Bc. Paulína Duchoňová

**Angiografia truncus pulmonalis na spektrálnom CT**

Diplomová práca

Vedúci práce: MUDr. Tomáš Andrašina, Ph.D.

Olomouc 2023

## **PREHLÁSENIE**

Prehlasujem, že som diplomovú prácu vypracovala samostatne a použila len uvedené bibliografické a elektronické zdroje.

V Olomouci dňa 19.5.2023

Bc. Paulína Duchoňová

# ANOTÁCIA

**Typ záverečnej práce:** diplomová práca

**Téma práce:** Angiografia pľúcnych tepien na spektrálnom CT

**Názov práce:** Angiografia truncus pulmonalis na spektrálnom CT

**Názov práce v AJ:** Angiography of Truncus Pulmonalis on Spectral CT

**Dátum zadania:** 5.11.2021

**Dátum odovzdania:** 19.5.2023

**Vysoká škola, fakulta, ústav:**

Univerzita Palackého v Olomouci

Fakulta zdravotníckych vied

Ústav radiologických metod

**Autor práce:** Bc. Paulína Duchoňová

**Vedúci práce:** MUDr. Tomáš Andrašina, Ph.D.

**Oponent práce:** MUDr. Jan Macek

**Abstrakt:**

Úvod: Témou diplomovej práce je angiografia pľúcnych tepien na spektrálnej výpočtovej tomografii (CT) (IQon Spectral CT, Philips Healthcare). Práca sa zaoberá hodnotením kvality vyšetrenia CT angiografie pľúcnych tepien (CTPA) s fázovým podaním malého objemu kontrastnej látky na spektrálnom CT (IQon Spectral CT, Philips Healthcare) s využitím dvojpiestového injektora kontrastnej látky a fyziologického roztoku (Accutron CT-D, MEDTRON AG).

Cieľ: Hodnotenie kontrastnej náplne pľúcnych tepien počas CT pľúcnej angiografie s použitím vyšetrovacieho protokolu s viacfázovým podaním malého objemu jódovej kontrastnej látky na spektrálnom CT (IQon Spectral CT, Philips Healthcare).

Metodika: 555 pacientov (276 žien, 279 mužov, medián vek  $65 \pm 16,9$  rokov) s podozrením na pľúcnu embóliu podstúpilo CTPA. Pri vyšetrení viacfázovým protokolom bolo aplikovaných 30 ml kontrastnej látky. Pre retrospektívne vyhľadávanie pacientov, ktorý podstúpili vyšetrenie CTPA vo Fakultnej nemocnici v Brne (FN Brno) bol použitý program e-MED a z elektronických žiadaniek z tohto systému boli získané informácie o pacientoch. Pre získanie hodnotenia výskytu pľúcnej embólie boli použité oficiálne popisy vyšetrení skúsených rádiológov so špeciálnou odbornou spôsobilosťou. Obrazová dokumentácia prehliadaná pomocou archivačného a komunikačného systému MARIE PACS. Obrazová dokumentácia slúžila k meraniam šírky hrudníka a srdcového tieňa, denzít v aortálnom oblúku,

truncus pulmonalis, jeho pravej a ľavej vetvy, truncus intermedius, pravej a ľavej pľúcnej žily, paravertebrálnych svalov, pozadia, k meraniu hrúbky tuku nad sternom.

Objektívna kvalita vyšetrenia bola kvantifikovaná na 5-stupňovej škále z nameraných denzít pľúcnych tepien a žíl. Z nameraných údajov boli dopočítané vek pacienta k dátumu vyšetrenia, kardiotorakálny index, BMI pacienta, šum obrazu, pomer signál-šum, pomer kontrast-šum, arteriálno-venózný kontrastný pomer. Po získaní všetkých údajov prebehlo testovanie hypotéz, štatistické spracovanie dát a ROC analýza.

Výsledky: Výsledky ukázali, že protokol s aplikáciou 30 ml kontrastnej látky poskytoval dostatočnú kvalitu pre hodnotenie aj v konvenčnom zobrazení u 497 (94,6 %) vyšetrení, u 5 % pacientov pre dostatočné hodnotenie bolo vhodné použitie spektrálnej analýzy, u 17 (3 %) vyšetrení bolo potrebné aplikáciu kontrastnej látky opakovať. Rozdiel medzi použitím protokolu s 50 ml k.l. vo vzťahu ku kvalite vyšetrenia nebol štatisticky významný. V sledovaných parametroch – veku pacienta, kardiotorakálneho indexu, výšky a váhy pacienta, sa preukázali štatisticky signifikantné vzťahy ku kvalite vyšetrenia.

Záver: Hlavné výsledky ukazujú, že viacfázový protokol aplikácie 30 ml kontrastnej látky dosahuje vysokú technickú kvalitu pri použití konvenčného aj spektrálneho zobrazenia. Z daných výsledkov možno určiť skupiny pacientov, pri ktorých by bolo možné ďalej znížiť objem podanej kontrastnej látky pri rutinnom použití spektrálnej analýzy.

**Kľúčové slová:** spektrálne CT, CT angiografia, CT pľúcna angiografia, pľúcna embólia, jódomá kontrastná látka, postkontrastné akútne poškodenie obličiek

### **Abstrakt v AJ:**

Introduction: The topic of the diploma thesis is pulmonary artery angiography on spectral computed tomography (CT) (IQon Spectral CT, Philips Healthcare). The thesis deals with the evaluation of the quality of CT angiography of the pulmonary arteries (CTPA) with the multiphase administration of low dose contrast agent on spectral CT (IQon Spectral CT, Philips Healthcare) using a double-piston power injector of contrast agent and saline solution (Accutron CT-D, MEDTRON AG).

Objectives: To evaluate the contrast enhancement of the pulmonary arteries during CT pulmonary angiography (CTPA) using a protocol with the multiphase administration of low dose contrast agent on spectral CT (IQon Spectral CT, Philips Healthcare).

Methods: 555 patients (276 women, 279 men, age  $65 \pm 16.9$  years) with suspected pulmonary embolism underwent CTPA. During the examination with a multiphase protocol, 30 ml of contrast material was applied. The e-MED program was used for the retrospective

search of patients who underwent CTPA examination at the University Hospital in Brno (FN Brno) and information about patients was obtained from electronic requests from this system. To obtain an assessment of the incidence of pulmonary embolism, official results of examinations by experienced radiologists with special professional competence were used. Image documentation viewed using the MARIE PACS archiving and communication system. Image documentation was used to measure the width of the chest and heart, densities in the aortic arch, truncus pulmonalis, its right and left branches, truncus intermedius, right and left pulmonary vein, paravertebral muscles, background and to measure the fat thickness above the sternum.

Objective quality of the examination on a 5-point scale was quantified from the measured densities of pulmonary arteries and pulmonary veins. Image noise, signal-to-noise ratio, contrast-to-noise ratio, arterial-venous contrast ratio, patient's BMI, patient's age at the date of the examination was calculated from the measured data. After all the data were obtained, hypothesis testing, statistical analysis and ROC analysis were performed.

Results: The results showed that the protocol with application of 30 ml of contrast agent provided sufficient quality for evaluation even in conventional imaging in 497 (94.6%) examinations, in 5% of patients the use of spectral analysis was appropriate for sufficient evaluation, in 17 (3%) examinations it was necessary to repeat the application of contrast agent. The difference between the use of the 50 ml CM protocol in relation to examination quality was not statistically significant. The parameters studied - patient age, cardiothoracic index, height and weight of the patient, showed statistically significant relationships to the quality of the examination.

Conclusion: From the given results, it is possible to identify groups of patients for whom the volume of contrast agent administered could be further reduced with routine use of spectral analysis.

**Keywords:** spectral CT, CT angiography, CT pulmonary angiography, pulmonary embolism, iodinated contrast medium, post contrast acute kidney injury

**Rozsah:** 82 strán/ 11 strán

## **POĎAKOVANIE**

Touto cestou by som rada poďakovala vedúcemu práce MUDr. Tomášovi Andrašinovi, Ph.D. za užitočné rady, vecné pripomienky a trpezlivosť pri odbornom vedení diplomovej práce. Ďalej by som rada poďakovala za pomoc pri štatistickom spracovaní a riešení nedostatkov MUDr. Tomášovi Rohanovi, Ph.D. a Mgr. Ing. Marekovi Dostálovi, Ph.D.

## Obsah

1. ÚVOD .....	9
2. REŠERŠNÁ ČINNOSŤ .....	10
Rešeršná stratégia.....	10
3. TEORETICKÁ ČAS.....	11
Pľúcna embólia .....	11
Diagnostický algoritmus .....	12
Zobrazovacie metódy pri hodnotení pľúcnej embólie .....	13
Echokardiografia .....	13
Kompresívna ultrasonografia .....	14
Natívna snímka hrudníka .....	14
Konvenčná angiografia.....	14
Ventilačno-perfúzna scintigrafia.....	15
CTPA .....	16
CT angiografia pľúcnych tepien .....	16
Spektrálna výpočtová tomografia .....	21
Postkontrastné akútne poškodenie obličiek .....	25
4. PRAKTICKÁ ČASŤ .....	28
Ciele práce, výskumné otázky a hypotézy .....	28
Ciele výskumu .....	28
Výskumné otázky.....	28
Hypotézy .....	28
Súbor pacientov a metodika výskumu .....	29
Súbor pacientov .....	29
Metodika výskumu.....	29
5. VÝSLEDKY PRÁCE .....	39
Popis súboru.....	39
Výsledky výpočtov .....	43
Testovanie hypotéz .....	45
Hypotéza 1 .....	45
Hypotéza 2 .....	49
Hypotéza 3 .....	52
Hypotéza 4 .....	54



Hypotéza 5 .....	56
Doplnkové výsledky .....	59
6. DISKUSIA .....	61
Limitácie práce .....	68
7. ZÁVER.....	70
8. REFERENČNÝ ZOZNAM.....	71
9. ZOZNAM SKRATIEK A ZNAČIEK.....	76
10. ZOZNAM TABULIEK .....	78
11. ZOZNAM OBRÁZKOV .....	80
12. ZOZNAM GRAFOV .....	81
13. ZOZNAM PRÍLOH.....	82
14. PRÍLOHY .....	83

# 1. ÚVOD

Pľúcna embólia (PE) je častým klinickým nálezom s vysokou úmrtnosťou. Vyšetrenie pľúcnych tepien pomocou CT sa stalo prvou voľbou pre klinickú diagnózu pacientov s podozrením PE pre rýchlosť vyšetrenia, neinvazívnosť a jej diagnostickú presnosť (Zhang et al. 2021, s. 1033; Kim et al. 2017, s. 90; Suntharalingam et al. 2017, s. 2). Vývojom medicíny sa obyvatelia dožívajú vyššieho veku, s ktorým je spojená polymorbidita a zdravotné riziká, spolu so zvyšujúcou sa dostupnosťou zobrazovacích metód v tejto súvislosti narastá aj počet pacientov podstupujúcich CTPA, ale pozitívny nález sa vyskytuje len v menšine prípadov (9-35 %). (Suntharalingam et al. 2017, s. 2)

Okrem rizík spojených s ionizačným žiarením, je pri CT angiografii nevyhnutná vnútrožilová aplikácia kontrastnej látky. Podanie kontrastnej látky so sebou prináša riziká spojené nielen s alergickými reakciami, anafylaktickým šokom, ale aj rizikom akútneho poškodenia obličiek spôsobeného kontrastnou látkou (z anglického Contrast-induced Acute Kidney Injury, CI-AKI), v staršej literatúre označované ako nefropatia indukovaná kontrastnou látkou (z anglického Contrast-induced nephropathy, CIN). Najnovšie odporúčania uvádzajú pojem postkontrastné akútne poškodenie obličiek (z anglického Post Contrast Acute Kidney Injury, PC-AKI). (ESUR 2018, s. 17) Prejaviť sa môže najmä u rizikových skupín pacientov s narušenou funkciou činnosti obličiek. (Suntharalingam et al. 2017, s. 2) Nanešťastie, veľa pacientov s podozrením na PE sú starší pacienti s pridruženými ochoreniami, ktoré zvyšujú riziko vzniku akútneho poškodenia obličiek. Riziko vzniku postkontrastného poškodenia obličiek sa zväčšuje s množstvom a vyššou koncentráciou aplikovanej kontrastnej látky. (Stacul et al. 2011, s. 2532) Z tohto dôvodu je vynaložená snaha o znižovanie aplikovaného objemu kontrastnej látky, avšak pri zachovaní kvality vyšetrenia. Pri aplikácii kontrastnej látky možno využiť princípu, ALARA “as low as reasonably achievable”, teda použitie čo najnižšieho množstva kontrastnej látky, ktoré je potrebné pre určenie správnej diagnózy, pri zachovaní dostatočnej kvality. (Laqmani et al. 2016, s. 2)

Z prieskumu publikácii v oblasti CT pľúcnej angiografie existuje viacero odborných štúdií sledujúcich kvalitu CTPA pri znížení objemu (20-75 ml) kontrastnej látky s využitím dvojenergetických CT (z anglického Dual-Energy CT, DECT). (Han et al. 2020, s. 3; Laqmani et al. 2016, s. 3) Niektoré aj pri udanom znížení objemu kontrastnej látky prevyšovali objem 30 ml, ktorý bol použitý v tejto práci (80-120 ml). (Kosmala et al. 2020, s. 2052; Hendriks et al. 2016, s. 2)

## 2. REŠERŠNÁ ČINNOSŤ

### Rešeršná stratégia

Pre vyhľadanie aktuálnych a relevantných podkladov pre tvorbu diplomovej práce bola využitá nasledujúca rešeršná stratégia. Zadaním kľúčových slov a ich variant za použitia Booleovských operátorov (and, or, not) do citačných databáz uvedených nižšie boli vyhladané zdroje. Z vyhladaných zdrojov boli použité aj práce, na ktoré zdroje odkazovali. Použité databázy, kľúčové slová a ďalšie vyhľadávacie kritéria sú uvedené v schéme:

**Kľúčové slová:** spektrálne CT, dvojenergetické CT, CT pľúcna angiografia, pľúcna embólia, PE, kontrastná látka, kontrast, kontrastnou látkou indukovaná nefropatia, zobrazovacie metódy, scintigrafia, SPECT  
**Kľúčové slová v AJ:** spectral CT, dual-energy CT, CT pulmonary angiography, pulmonary embolism, PE, contrast agent, contrast, contrast-induced nephropathy, imaging methods, scintigraphy, SPECT  
**Jazyk:** anglický, český  
**Vyhľadávacie obdobie:** 10 rokov  
**Ďalšie kritéria:** hľadanie v titulke článku, abstrakte, kľúčových slovách článku, free full text

### DATABÁZY:

PUBMED, SCOPUS, MEDVIK, WEB OF SCIENCE

CELKOVO DOHĽADANÝCH 523 ČLÁNKOV

### Vyrad'ovacie kritéria:

duplicitné články  
články, ktoré nezodpovedajú cieľom práce

### Sumarizácia využitých databáz, dohľadaných periodík a dokumentov:

PubMed - 11  
Scopus - 7  
Medvik - 0  
Web of Sciece - 3

PRE TVORBU DIPLOMOVEJ PRÁCE BOLO POUŽITÝCH 21 ČLÁNKOV

### 3. TEORETICKÁ ČAS

#### Pľúcna embólia

Pľúcna embólia (PE) je obštrukcia v pľúcnych tepnách a ich vetvách, spôsobená najčastejšie krvnou zrazeninou. Radí sa k cievnemu tromboembolickému ochoreniu, kam patrí aj napr. hlboká žilová trombóza (HŽT). Pľúcna embólia patrí medzi hlavné príčiny chorobnosti, hospitalizácie a úmrtnosti v Európe. Je tretím najčastejším srdcovocievnyim ochorením s celkovým ročným počtom 100-200 nových prípadov na 100 000 obyvateľov. Patofyziológia akútnej PE spôsobuje, že dochádza k zmene výmeny dýchacích plynov, ale aj k zmenám v krvnom obeh. Za primárnu príčinu úmrtia pri ťažkej akútnej PE sa považuje zlyhanie pravej komory srdca z tlakového preťaženia. Dilatácia pravej srdcovej komory je spôsobená zvýšenou rezistenciou pľúcnych ciev a vedie k množstvu nežiaducich reakcií. Podľa klinickej klasifikácie závažnosti rozlišujeme PE s vysokým rizikom a bez vysokého rizika, podľa prítomnosti šoku alebo hypotenzie. Symptómy, ktoré môžu naznačovať prítomnosť akútnej pľúcnej embólie sú náhle vzniknutá dýchavičnosť, bolesť na hrudi, vykašliavanie krvi, tachykardia, kašeľ, bolesť na hrudníku, opuchnuté končatiny nasvedčujúce prítomnosť hlbokej žilovej trombózy (HŽT). (van der Hulle et al. 2015, s. 17) Pri prvom vyšetrení nemusí byť PE vždy odhalená pre jej nešpecifické symptómy a klinické prejavy, ktoré sa môžu vyskytovať aj pri iných akútnych kardiopulmonálnych stavoch, uvedené sú v tabuľke č.1. Masívna PE sa prejavuje hypotenziou, šokom alebo zástavou srdca.

Tabuľka 1 Prejavy pri podozrení pľúcnej embólie

Prejav	PE potvrdená (n = 1 880)	PE nepotvrdená (n = 528)
Dýchavičnosť	50%	51%
Pleurálna bolesť na hrudníku	39%	28%
Kašeľ	23%	23%
Bolesť za hrudnou kosťou	15%	17%
Horúčka	10%	10%
Hemoptýza	8%	4%
Synkopa	6%	6%
Bolesti v jednej dolnej končatine	6%	5%
Známky HŽT (opuchy jednej končatiny)	24%	18%

(Konstantinides et al. 2014, s. 3040)

## Diagnostický algoritmus

Pľúcna embólia môže byť spoľahlivo diagnostikovaná len s využitím zobrazovacích metód, kde je v dnešnej dobe zaradená hlavne CT angiografia pľúcnych tepien (CTPA), ktorá so sebou prináša vysoké náklady, radiačnú záťaž pacienta a riziko vzniku akútneho poškodenia obličiek po aplikácii jódovej kontrastnej látky a v neposlednom rade možné alergické reakcie. (van der Hulle et al. 2015, s. 17)

Diagnostické algoritmy boli vyvinuté, tak aby boli schopné vylúčiť nerizikových pacientov pred použitím zobrazovacích metód, klinické hodnotenie pravdepodobnosti tzv. pravidlo klinického rozhodovania (z anglického Clinical Decision Rule, CDR). Pri rozhodovaní lekárom pomáhajú hodnotiace systémy, ktoré stanovujú pravdepodobnosť prítomnosti PE u pacienta, k týmto systémom predbežného hodnotenia patria Ženevský hodnotiaci systém (Geneva Scoring System), Wellsov hodnotiaci systém (Wells Scoring System) a Kritéria vylučujúce pľúcnu embóliu (Pulmonary Embolism Rule Out Criteria, PERC). (Konstantinides et al. 2020, s. 555) Skórovacie systémy zisťujú stav pacienta, jeho fyzikálne prejavy, ako klinické charakteristiky predchádzajúceho výskytu pľúcnej embólie alebo hlbkej žilovej trombózy, hodnotu srdcového tepu, nedávne operačné zákroky, zlomeniny, vykašliavanie krvi, vek nad 50 rokov, hodnoty krvných testov a ďalšie, ktorým priradujú hodnotu. V závere sa hodnoty sčítajú a na škále určia pravdepodobnosť výskytu pľúcnej embólie u pacienta. Výsledky skórovacích systémov pomáhajú lekárom v rozhodnutí o nasledujúcom diagnostickom postupe. Napríklad trojstupňový model klasifikácie (0-1 nízke riziko; 2-6 mierne riziko; >6 vysoké riziko) pomáha spoľahlivým spôsobom stratifikovať riziko. Použitý dvojstupňový model ( $\leq 4$  nepravdepodobná PE;  $> 4$  pravdepodobná PE) odporúča vykonať test D-dimérov pri výsledku nepravdepodobnosti PE a CTPA pri výsledku pravdepodobnej PE. (Moore et al. 2018, s. 226)

U pacientov s nízkym alebo stredným podozrením na PE a negatívnym výsledkom D-dimérov, kedy normálne hodnoty D-dimérov ( $< 0,5$  mg/l) zo vzorky krvi, sú postačujúce k vylúčeniu novej PE. Hodnoty D-dimérov sú vysoko citlivé, ale na nešťastie nešpecifické pre PE, pozitívne D-diméry ešte neznamenajú PE, ale negatívne D-diméry, s dobrým stupňom istoty (83-92 %), sú indikáciou neprítomnosti PE. V tých situáciách by PE mohla byť vylúčená u 46% pacientov s podozrením na PE, bez toho, aby sa pristúpilo k zobrazovacím testom. Pacienti s hladinou D-dimérov pod hranicu by nemali byť zaťažovaní zobrazovacími metódami, naopak pacienti so zvýšenou hladinou D-dimérov by mali byť podrobený diagnostickým zobrazovacím metódam. Pacienti s vysokým rizikom výskytu PE by mali podstúpiť niektoré zo zobrazovacích vyšetrení aj bez výsledkov hladiny D-dimérov, pretože

ani negatívny test by nevytlúčil nutnosť diagnostického zobrazenia. (Konstantinides et al. 2020, s. 555; Kirsch et al. 2017, s. 7; van der Hulle et al. 2015, s. 17) Zlepšováním klinických schopností pri diagnostikovaní v priebehu desiatok rokov, však znepokojivo narástla incidencia výskytu pľúcnej embólie. (Brendlin et al. 2021, s. 2)

### **Zobrazovacie metódy pri hodnotení pľúcnej embólie**

Lekárska kardiologická spoločnosť odporúča testy, ako je hladina D-dimérov, aby poskytli podporný dôkaz o potrebe diagnostického zobrazenia, ak testy klinickej pravdepodobnosti potvrdia nízku alebo strednú pravdepodobnosť výskytu pľúcnej embólie. Možnosti zobrazenia v dnešnej dobe poskytujú echokardiografia, kompresívna ultrasonografia pri podozrení na hlbokú žilovú trombózu, natívna snímka hrudníka, konvenčná angiografia, ventilačno-perfúzna scintigrafia na nukleárnej medicíne a angiografia výpočtovou tomografiou s viacradovými detektormi. (Rokyta et al. 2020, s. 171)

#### **Echokardiografia**

Akútna PE môže viesť k tlakovému preťaženiu pravej srdcovej komory, ktoré môže byť diagnostikované pomocou echokardiografie. Echokardiografia má obmedzenú senzitivitu a špecificitu pri diagnostikovaní PE. Pre individuálnu geometriu pravej srdcovej komory nie je parameter echokardiografie, ktorý by rýchlo a spoľahlivo hovoril o veľkosti a funkcii pravej komory srdca. Dilatácia pravej srdcovej komory je nájdená u > 25 % pacientov s PE na transthorakálnej echokardiografii (TTE). Viac špecifický nález na echokardiografii, kombinácia gradientu trikuspidálnej regurgitácie menej ako 60 mmHg a akceleračný čas prúdenia v hlavnej pľúcnej tepne menej ako 60 ms ('60/60' znak) alebo tzv. McConnellov znak, t.j. zníženie kontraktility (hypokinéza) steny pravej komory v porovnaní s apexom pravej komory (normokinéza/ hyperkinéza), naznačuje PE. Avšak tieto nálezy sa objavujú len u asi 12 % pacientov s PE. (Konstantinides et al. 2020, s. 557; Rokyta et al. 2020, s. 162)

Echokardiografia nie je povinne zahrnutá v rutinnom diagnostickom algoritme pri hemodynamicky stabilných pacientoch s podozrením na PE. Pri hemodynamicky kompromitovaných pacientoch s podozrením na PE, bez iného zjavného prípadu tlakového preťaženia pravej komory, jednoznačný nález pravostranného preťaženia hlavne s viac špecifickými znakmi na echokardiografii (60/60 znak, McConnellov znak) je dostatočným dôkazom k reperfúzne liečbe, ak okamžitá CTPA nie je možná u pacienta s vysokou klinickou pravdepodobnosťou výskytu PE. (Konstantinides et al. 2020, s. 558) Naopak negatívny nález na echokardiografii nemôže vylúčiť PE. (Rokyta et al. 2020, s. 161)

### **Kompresívna ultrasonografia**

Vo väčšine prípadov (70 %), pľúcna embólia má pôvod z hlbokkej žilovej trombózy v dolných končatinách. V dnešnej dobe diagnostika HŽT venografiou je nahradená štandardne indikovanou kompresívnou ultrasonografiou (CUS). K výhodám metódy patria široká dostupnosť, absencia ionizačného žiarenia a nízke náklady. Zobrazenie dolnej dutej žily a žíl v oblasti panvy je značne limitujúce habitom pacienta, chirurgickými ranami a rezmi v oblasti záujmu. Metóda je charakterizovaná viac ako 90 % senzitivitou a 95 % špecificitou, v závislosti na technike a hodnotiteľovi. Kompresívnou ultrasonografiou (CUS) je diagnostikovaná HŽT u 30-50 % pacientov s PE. Kompresívna ultrasonografia (CUS) je účelnou metódou v diagnostickom algoritme pre pacientov s kontraindikáciou podstúpenia CTPA. (Konstantinides et al. 2020, s. 558) Podľa odporúčaní Českej kardiologickej spoločnosti sa považuje diagnóza PE za potvrdenú pri pozitívnom náleze proximálnej HŽT na CUS u pacientov so stredným a vysokým klinickým podozrením na PE. V týchto prípadoch CTPA nie je indikované. (Rokyta et al. 2020, s. 163)

Žily sú typicky zobrazované v odtieňoch šedej B-módou, ktorý dokáže priamo identifikovať znaky vnútro cievneho trombu a rádiológ vytvára kompresiu sondou na žily zobrazované v reálnom čase. Technika je kombinovaná s farebným dopplerovským a spektrálnym dopplerovským zobrazením, trojkombinácia zobrazenia je nazývaná aj ako triplexný mód. (Moore et al. 2018, s. 233)

### **Natívna snímka hrudníka**

Skiografia nie je užitočná pri hodnotení PE, ale má dôležitú úlohu pri vylúčení iných príčin bolesti na hrudi, ako napr. pneumónie, pľúcneho edému alebo pneumothoraxu. Avšak niektoré abnormality zobrazené na snímke hrudníka môžu byť viditeľné u pacientov s podozrením na PE. Zväčšenie pľúcnych artérií, označované ako Fleischerov znak, sa ukazuje sekundárne k pľúcnej hypertenzii alebo rozťahnutiu ciev pľúcny embolom. Regionálna oligémia spôsobená PE je interpretovaná ako Westermarkovo znamenie, má 14 % senzitivitu, 92 % špecificitu a 38 % pozitívnu prediktívnu hodnotu pri diagnostikovaní PE. Klinovité zatienenie na perifériách, nazývané Hamptonov hrb, sa zobrazuje u pacientov s pľúcny infarkt, pri diagnostikovaní PE je jeho senzitivita 22 %, špecificita 82 % a pozitívna prediktívna hodnota 28 %. (Moore et al. 2018, s. 226)

### **Konvenčná angiografia**

Desiatky rokov bola pľúcna angiografia zlatým štandardom pri diagnostikovaní PE, v súčasnosti je využívaná zriedkavo pre rovnako diagnosticky presnú neinvazívnu metódu

CTPA. Angiografia je invazívna metóda, ktorá sa v dnešnej dobe používa len, keď je plánovaná endovaskulárna liečba. Pri tejto metóde je hodnotenie PE založené na zobrazení trombu v 2 projekciách, buď ako defekt v kontrastnej náplni alebo úplnej blokády vetiev pľúcnych tepien, zobrazením po aplikácii 40-50 ml kontrastnej látky rýchlosťou 20 ml/s. (Palm et al. 2020, s. 41) Drobné tromby na subsegmentálnej úrovni možno tiež dobre zobraziť. Angiografia ako dynamické vyšetrenie s obrazovou kontrolou v reálnom čase umožňuje eventuálne hodnotenie aj zmien v prietoku a zmien lokálne zníženej perfúzie. (Moore et al. 2018, s. 237) Metóda nie je bez rizík, závažnejšie komplikácie sa vyskytujú v 1 % prípadov, zatiaľ čo menej závažné komplikácie u 5 % pacientov. (Konstantinides et al. 2020, s. 557) Hlavné výhody a nevýhody tejto metódy sú uvedené v tabuľke č.2.

### **Ventilačno-perfúzna scintigrafia**

Perfúzne zobrazenie pľúc pomocou aplikácie technécium značených rádiofarmák ( $^{99m}\text{Tc}$ -značený makroagregát albumínu) k diagnostike PE bolo zavedené pred viac ako 55 rokmi, ako neinvazívna alternatíva k pľúcnej angiografii u pacientov s klinickým podozrením na PE. Následné zavedenie ventilačných štúdií s využitím rádioaktívnych plynov ( $^{133}\text{Xe}$ ,  $^{81m}\text{Kr}$ ), aerosólov značených technécium a uhlíkových aerosólov, tzv. pseudoplynov ( $^{99m}\text{Tc}$ -TECHNEGAS), pridalo na špecificite nálezom pri perfúznom snímaní. (Waxman et al. 2017, s. 13) Scintigrafia pľúc bola prvou voľbou pri diagnostikovaní PE pred asi 30 rokmi, kým neprišli nové techniky výpočtovej tomografie. Napriek tomu, že v dnešnej dobe je zlatým štandardom CTPA, je viacero klinických situácií, v ktorých sa preferuje ventilačno-perfúzna scintigrafia. (Moore et al. 2018, s. 227) Dve metódy využívajúce ventilačno-perfúzne snímanie sú planárna scintigrafia a SPECT. Metóda SPECT môže byť kombinovaná s nízkodávkovým CT (SPECT/CT), v tomto prípade nie je potrebná ventilačná časť vyšetrenia, tá je nadradená nízkodávkovým CT. Obe metódy dosahujú výborných vlastností pri diagnostikovaní klinicky významných PE. Metóda SPECT je schopná zobraziť embóliu na subsegmentálnej úrovni. Voľba metódy má regionálne odlišnosti, zatiaľ čo v amerických štátoch je preferovaná planárna scintigrafia, Európska spoločnosť pre nukleárnu medicínu preferuje ventilačno-perfúznou SPECT scintigrafiu alebo perfúzne SPECT/CT vyšetrenie, podobne ako v Austrálii alebo v Ázii. (Waxman et al. 2017, s. 15) Ventilačno-perfúzna scintigrafia môže byť indikovaná pri nízkej klinickej pravdepodobnosti výskytu PE a natívnej snímke hrudníka bez patológií. Modalita je spojená s nižšou radiačnou záťažou (efektívna dávka  $\sim 2$  mSv) a šetrí aplikáciu kontrastnej látky. Scintigrafia je dobre využiteľná aj u mladých pacientov, predovšetkým žien, tehotných žien, pacientov



s predchádzajúcou alergickou reakciou na jódomú kontrastnú látku alebo u pacientov so zlyhávajúcimi obličkami. (Konstantinides et al. 2020, s. 556) SPECT pľúcna scintigrafia má vysokú diagnostickú senzitivitu aj pri segmentálnych a subsegmentálnych defektoch typických pre PE. Dokonca aj u pacientov s podozrením na PE s množstvom komorbidít, ako napr. chronická obštrukčná choroba pľúc, pneumónia, tumor či ľavostranné zlyhanie srdca, si SPECT zachováva svoju diagnostickú hodnotu. (Waxman et al. 2017, s. 15) Klinickí lekári by mali indikovať ventilačno-perfúzne snímanie len u pacientov s kontraindikáciami k CT angiografii alebo ak CT angiografia nie je dostupná. Už v minulosti Anderson et al. v jeho prospektívnej štúdií porovnávajúcej ventilačno-perfúzne snímanie a CTPA ukázal, že metódy majú podobné výsledky, napriek faktu, že viac pozitívnych nálezov bolo preukázaných na CTPA (17,7 % pre CTPA a 11,7 % pre ventilačno-perfúznou scintigrafiu). (2007, s. 2749) Podobné výsledky opísal aj da Silva v jeho retrospektívnej štúdií. (2014, s. 374) Hlavné výhody a nevýhody tejto metódy sú uvedené v tabuľke č.2.

### **CTPA**

Pľúcna angiografia výpočtovou tomografiou (CTPA) je zobrazovacia modalita volená pri suspektnej akútnej PE a je rozhodujúcim komponentom bežne používaného klinického diagnostického algoritmu. Z historického hľadiska sa prvé pokusy o CT angiografiu všeobecne zapísali v 90. rokoch 20. storočia. Rok 1998 priniesol prvé viacradové CT so štyrmi prstencami detektorov. (Rubin et al. 2014, s. 635) V Českej republike sa do klinickej praxe CT angiografia zaviedla v roku 2002 v dvoch zariadeniach (v Prahe a v Plzni). V roku 2007 bola CT angiografia v ČR dostupná v desiatich zariadeniach, z ktorých jedno bolo v Brne. (Ferda et al. 2008b, s. 1462) Hlavné výhody a nevýhody tejto metódy sú uvedené v tabuľke č.2.

### **CT angiografia pľúcnych tepien**

Generácie viacradových detektorov výpočtovej tomografie sú v súčasnosti prvou voľbou pri diagnostickom zobrazení pri suspektnej PE. Umožňuje zobrazenie pľúcnych artérií až na subsegmentálnu úroveň podobne ako pri SPECT scintigrafii pľúc. Modalita so sebou prináša vysokú špecifickú a senzitivitu, ale aj zaťaženie pacienta ionizačným žiarením (efektívna dávka 3-10 mSv) a podaním jódovej kontrastnej látky. Ale s vývojom technológií sa neustále znižuje množstvo ionizačného žiarenia potrebného ku kvalitnému CT obrazu. Navyše v mnohých klinických prípadoch sa riziko preceňuje, počítajúc alergické reakcie, vzťahujúce sa k vnútro žilovej aplikácii jódovej kontrastnej látky pre moderné izoosmolárne kontrastné látky v rozsahu 0,2 % - 0,7 %. (Moore et al. 2018, s. 228)

Úroveň senzitivity a špecificity vyšetrenia je značne ovplyvnená klinickým hodnotením pravdepodobnosti výskytu PE. Senzitivita a špecificita sa pri embolizácii do segmentálnej úrovne pohybuje tesne pod 100 %, subsegmentálna embolizácia je tiež diagnostikovateľná, ale senzitivita je okolo 60-70 %. Pri nízkej a strednej pravdepodobnosti výskytu PE, negatívna CTPA má vysokú pozitívnu prediktívnu hodnotu (96 % a 89 %), ale nízku negatívnu prediktívnu hodnotu (60 %). Ak predchádzajúce klinické hodnotenie má vysokú pravdepodobnosť výskytu PE, v tom prípade je nutné pokračovať vo vyšetrení. (Konstantinides et al. 2020, s. 556)

Helikálna výpočtová tomografia je pohotovou a spoľahlivou metódou k diagnostikovaní pľúcnej embolizácie v perakútnom a akútnom štádiu a tiež je veľmi vhodnou metódou k monitorovaniu liečby. Vďaka svojej dostupnosti a rýchlosti nahrádza perfúzne scintigrafické vyšetrenie pľúcneho parenchýmu na nukleárnej medicíne, ktoré dobre zobrazuje defekty v perfúzii, ale pľúcna angiografia na CT je vyšetrenie rýchlejšie, s dobrou klinickou presnosťou pri detegovaní cievnej embólie a poskytuje tiež kardio-pulmonálne anatomicko-morfologické informácie. (Nance et al. 2012, s. 78) Rôznorodé CTPA protokoly používané pri diagnostických vyšetreniach CTPA do značnej miery závisia na dostupnom hardvéri, ale aj na skúsenostiach personálu, habite pacienta, spolupráce pacienta (nehybnosť, dychové povely) a hemodynamických pomeroch pacienta. (Moore et al. 2018, s. 228)

Pri zobrazení výpočtovou tomografiou sa vyšetrovaný objekt hodnotí na základe absorpcie röntgenového žiarenia v tkanivách. Hounsfieldovo číslo (Hounsfield unit, HU) slúži ku kvantifikácii absorpcie röntgenového žiarenia, zatiaľ čo pre grafické znázornenie sa používa stupnica šedej. Pre mäkké tkanivá je typická vysoká penetrácia röntgenového žiarenia (teda ich absorpcia je relatívne nízka), zatiaľ čo pri tkanivách, ktoré obsahujú prvky s vysokým atómovým číslom (ako napr. kosti obsahujúce vápnik, Ca 20) je penetrácia žiarenia nízka (majú vysokú schopnosť absorpcie žiarenia). (Ferda et al. 2008a, s. 12)

CT angiografia je vyšetrenie založené na zobrazení ciev naplnených kontrastnou látkou. Ide o neinvasívne vyšetrenie, kedy je kontrastná látka (k.l.) podávaná cez periférny žilný vstup do cievneho riečiska, pomocou injekčného dávkovača. Trombus sa zobrazuje ako hypodenzný defekt v náplni. Na subsegmentálnej úrovni je treba starostlivo diferencovať medzi pľúcnymi žilami a tepnami, pretože prúdenie k.l. môže v žilách vyvolať dojem pseudodefektu v náplni. Chronická embolizácia sa prejavuje asymetricky adherujúcimi defektmi v náplni artérie pulmonalis, mostíkmi, kalcifikáciami a zmenami v parenchýme. (Moore et al. 2018, s. 230)

S vývojom počítačovej techniky je možné zobraziť stále jemnejšie cievy. Malý obeh sa vyšetruje metódou CT angiografie v rozsahu hornej hrudnej apertúry po bránicu.

Z technického vybavenia sa pre CTA vyžaduje prístroj s viacerými radmi detektorov a to podľa Novotného et al. z roku 2010 minimálne 16 radov. V súčasnosti je 64 detektorových radov štandardom v zobrazovaní pomocou výpočtovej tomografie. S narastajúcim počtom radov detektorov sa skraca doba skenovania, rýchlosť zberu dát sa zväčšuje, avšak to smeruje k pribúdaniu šumu v obraze. Je tiež potreba rýchlej otáčky röntgenky pod 1 sekundu. Využíva sa rôznych techník automatického štartu skenovania, aby náplň ciev kontrastnou látkou bola pre vyšetrenie optimálna. Pre dosiahnutie optimálnej kontrastnej náplne pri CTA sa používa tlaková injektorová pumpa, ideálne špeciálne navrhovaná k CT vyšetreniam, dvojpiestová pre aplikáciu nielen kontrastnej látky, ale aj fyziologického roztoku. K vysokej kontrastnej náplni ciev pri CT angiografii sa používajú vysoko koncentrované jódové kontrastné látky (350-400 mgI/ml), ktoré sú aplikované do kvalitného žilového vstupu (podľa stavu a možností pacienta), ten musí uniesť rýchlosť aplikácie kontrastnej látky 3-5 ml/s. Pokročilé technológie výpočtovej tomografie umožňujúce rýchlejšiu akvizíciu skracujú dobu počas, ktorej musia byť pľúcne tepny optimálne opacifikované. Táto skutočnosť vytvára priestor pre redukciiu objemu kontrastnej látky, ktorá je nevyhnutná pri CTA. (Goble a Abdulkarim 2014, s. 37) Miera cievneho zvýraznenia počas CTPA závisí na množstve jódu doručeného do pľúcneho obehu za 1 sekundu. Dodané množstvo jódu za sekundu je dané rýchlosťou podania a koncentráciou kontrastnej látky.

Softvérové vybavenie prístrojov sa líši v závislosti od výrobcu, ktorí ponúkajú množstvo programov pre spracovanie nazbieraných dát. Je potreba z nich rozvážne vyberať programy, ktoré napomáhajú znižovaniu radiačnej záťaže pacienta pri zachovaní dostatočnej kvality výsledného obrazu, pre stanovenie správnej diagnózy. Pri drivej väčšine CT angiografií sa používa postprocesingových techník VRT (volume rendering technique) a MIP (maximum intensity projection). (Novotný et al. 2010, s. 146) Avšak podľa Národných rádiologických štandardov pre výpočtovú tomografiu z Věstníku Ministerstva Zdravotnictví ČR č.2 z roku 2016 MIP rekonštrukcie sú nevhodné pre posudzovanie pľúcnej embólie. (2016, s. 25) Softvérové vybavenia výpočtových tomografií poskytujú možnosť automatickej detekcie pľúcnych embolov, využitie tejto pomôcky je vhodné pre druhé čítanie nálezu, nie pri primárnom stanovení diagnózy.

Efektívnosť CT angiografie pľúc a čiastočne jej schopnosť detegovať menšie emboly je závislá na efektívnosti protokolu aplikácie kontrastnej látky. Voľba optimálneho množstva jódovej k.l. závisí od 4 kľúčových premenných: anatomický rozsah, čas získavania CT údajov, čas dosiahnutia maximálnej denzity v pľúcnom kmeni (kardiovaskulárny obeh) a prietok kontrastnej látky. (Saade et al. 2013, s. 3206)

Existujú 2 spôsoby ako dosiahnuť optimálnej kontrastnej náplne v pľúcnom krvnom riečisku, možnosť využitia techniky test bolus a bolus tracking. Pri test bolus sa používa menšie množstvo kontrastnej látky ako predvstrek, pomocou ktorého sa sériou dynamických snímok vytvorí krivka denzity v čase pri plnení v pľúcnej artérii. Z krivky potom môžeme vyčítať, za aký čas bola dosiahnutá maximálna denzita v tepne a podľa toho správne načasovať spustenie snímacej sekvencie s daným oneskorením. Pri bolus trackingu, ktorý bol využitý v tejto práci, sa lokalizačným skenom identifikuje u pacienta úroveň pľúcneho kmeňa a jeho bifurkácie, kedy sa do tohto úseku vloží k meraniu denzity slúžiaca oblasť záujmu (z anglického region of interest, ROI). Po umiestnení ROI si zvolíme prahovú hodnotu, pri ktorej presiahnutí sa spustí snímanie. Aplikuje sa dané množstvo kontrastnej látky, bez predvstrek a séria dynamických snímok začína s oneskorením 2s po spustení aplikácie kontrastnej látky. Niektorí autori porovnávali tieto dve monitorovacie techniky ako vplývajú na kvalitu kontrastnej náplne pri CTPA a prišli k záveru, že voľba monitorovacej techniky nemá vplyv na kontrastnú náplň. Ale ukázalo sa, že pri technike bolus trackingu vzniká viac artefaktov ako pri technike test bolus. (Moradi a Khalili 2016, s. 3)

V ideálnom prípade CTPA by dáta mali byť snímané, keď sú pľúcne tepny adekvátne naplnené, zatiaľ čo v pľúcnych žilách ešte nie je kontrastná náplň, ale čas tohto stavu je len veľmi krátky, približne 2-3 sekundy. K maximálnej náplni pľúcnych tepien dochádza po i.v. aplikácii k.l. približne po 5-8 s, náplň pľúcnych žíl sa objavuje s 2-3 s oneskorením. Z toho vychádza aj potreba rýchlej aplikácie k.l.. Najvhodnejšie pre hodnotenie sú vrstvy do 1 mm hrúbky a dve diagnostické okná pre pľúcne tkanivo so strednou hodnotou -600 HU a šírkou 1 600 HU, druhé okno pre mäkké tkanivá so stredom 60 HU a šírkou 300 HU. (Ferda et al. 2009, s. 126)

Niektorí odborníci odporúčajú varianty s kaudo-kraniálnym skenovaním či podaním k.l. do žily dolnej končatiny, obe tieto modifikácie majú slúžiť k obmedzeniu hviezdicových artefaktov pri preplnenej hornej dutej žile. (Kosmala et al. 2020, s. 2052; Palm et al. 2020, s. 39; Nance et al. 2012, s. 79)

Tabuľka 2 Výhody a nevýhody zobrazovacích modalít pri podozrení na PE

	Silné stránky metódy	Slabé stránky/ limitácie metódy	Problematika radiačného žiarenia
CTPA	vo väčšine zdravotníckych zariadení nepretržite k dispozícii	Radiačná záťaž	
	vynikajúca presnosť	Aplikácia jódovej kontrastnej látky:	limitované použitie pri alergických reakciách na jódom a hypertyreóze
	silné overenie výsledkov manažmentu v prospektívnych štúdiách		kontraindikácia pri ťažkom zlyhávaní obličiek
	nízka miera nepresvedčivých výsledkov (3-5 %)		riziká pri tehotenstve a kojení
	môže poskytnúť alternatívnu diagnózu, ak sa PE vylúči	sklon k nadužívaniu z dôvodu veľkej dostupnosti	
	krátky čas vyšetrenia	neznámy klinický význam CTPA diagnózy subsegmentálnej PE	
Planárna ventilačno-perfúzna scintigrafia pľúc	takmer žiadne kontraindikácie	nie je dostupná vo všetkých zdravotníckych zariadeniach	nižšia radiačná dávka ako pri CTPA
	relatívne lacná	variabilita interpretácie medzi hodnotiteľmi	efektívna dávka ~ 2 mSv
	silné overenie výsledkov manažmentu v prospektívnych štúdiách	výsledky uvádzané ako pomery pravdepodobnosti neukáže alternatívnu diagnózu, ak vylúči PE	
SPECT ventilačno-perfúzna scintigrafia pľúc	takmer žiadne kontraindikácie	variabilita techník	nižšia radiačná dávka ako pri CTPA,
	najnižší počet nediagnostických vyšetrení	variabilita diagnostických kritérií	efektívna dávka ~ 2 mSv
	vysoká presnosť podľa dostupných údajov	neukáže alternatívnu diagnózu, ak vylúči PE	
	binárna interpretácia (potvrdenie/ vylúčenie PE)	žiadna validácia vo výsledkoch prospektívnych štúdiách manažmentu	
Pľúcna angiografia	v minulosti zlatý štandard pri suspektnej PE	invazívna metóda	najvyššia radiačná záťaž
		nie je dostupná vo všetkých zdravotníckych zariadeniach	efektívna dávka 10-20 mSv

(Konstantinides et al. 2020, s. 556)

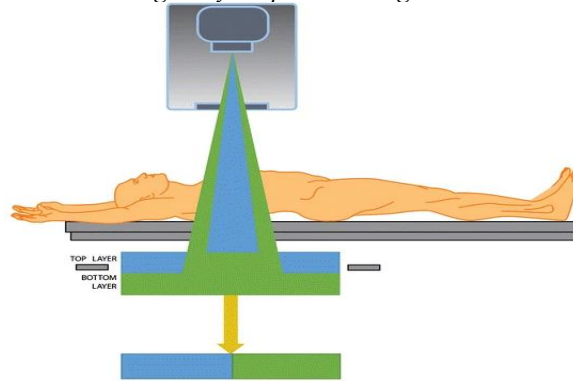
## Spektrálna výpočtová tomografia

Pri použití spektrálnej (dvojenergetickej) výpočtovej tomografie (DECT), sú získané dva súbory dát s rôznymi röntgenovými spektrami. Označenie Dual-Energy CT neznamená, že röntgenka produkuje fotóny dvoch energií ako napovedá názov, ale produkuje dve röntgenové spojité spektrá s rôznymi maximálnymi energiami, alebo je schopná detegovať rôzne energetické úrovne fotónov. Získanie súborov dát s 2 spektrami energií je možné viacerými technickými prístupmi, systémom s dvoma zdrojmi vysokého napätia a k nim dve sady detektorov (z anglického dual-source CT - DSCT), systémom s jedným zdrojom napätia a jednou sadou detektorov s rýchlym prepínaním medzi nízkym a vysokým napätím (z anglického rapid or fast kilovoltage switching), systémom s jedným zdrojom napätia a s jednou sadou viacvrstvových detektorov (z anglického layer detectors, dual-layer,/ two-layer/ “sandwich” detectors or detector-based CT, spectral CT), sekvenčným získavaním dvoch po sebe nasledujúcich helikálnych skenov (z anglického sequential acquisition) alebo detektory s rozlišovaním energií alebo kvantovým počítaním energie jednotlivých fotónov (z anglického energy-resolving/ photon counting/ quantum-counting detectors). (Johnson 2012, s. 4–6)

V tejto práci bola použitá výpočtová tomografia so systémom viacvrstvových detektorov a jedným zdrojom vysokého napätia, IQon Spectral CT, Philips Healthcare. Nízkoenergetické dáta sú zbierané prednou (vnútornou, hornou) vrstvou, zatiaľ čo vysokoenergetické žiarenie penetruje cez hornú vrstvu na spodnú (vonkajšiu, zadnú) vrstvu detektorov. Vnútorná vrstva je tvorená scintilátorom z granátu na báze yttria a vonkajšia vrstva vyrobená z gadolinium-sulfidu. (Rassouli et al. 2017, s. 592) Pre dosiahnutie rovnakej úrovne šumu obrazu pri dátach s nízkou a vysokou energiou majú vrstvy detektorov rôznu hrúbku (viď Obrázok 1) Zjednodušená schéma konštrukcie spektrálneho CT je zobrazená na Obrázok 2. Výhodou tohto systému je, že sa dáta zbierajú súčasne v rovnakom čase, prístroj je vždy v “dual-energy mode”. (McCollough et al. 2015, s. 640) Rôzne postprocesingové algoritmy poskytujú ľahko čitateľné klinicky relevantné spektrálne informácie. Schéma postprocesingového spracovania je zobrazená na Obrázok 3.

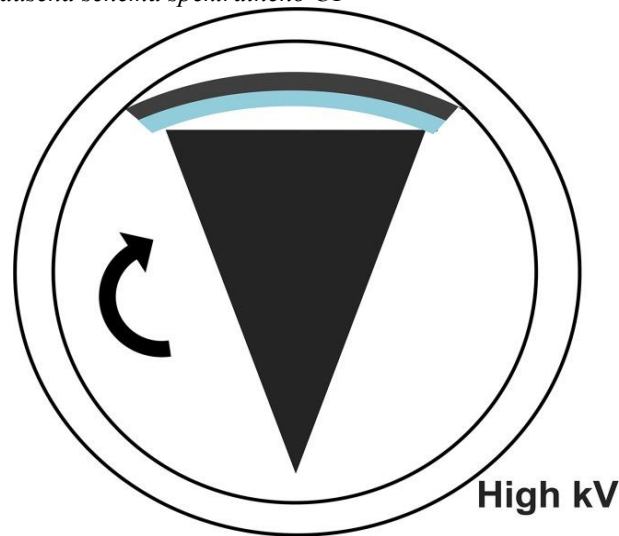
Pri konvenčnom zobrazovaní výpočtovou tomografiou je štandardným postupom, že ako prvé sa vykoná natívne snímanie a v ďalšom snímaní sa podáva kontrastná látka. Pri dvojenergetickej výpočtovej tomografii stačí snímanie jedno a následným postprocesingom denzity rozdeliť na hodnoty tkaniva a jódu, tým získať obraz po eliminácii jódu - tzv. virtuálne natívne zobrazenie (viď Obrázok 5b), obraz bez zvýraznenia kontrastnou náplňou (z anglického virtual non-contrast image, VNC). (Rassouli et al. 2017, s. 594; Ferda et al. 2008a, s. 11)

Obrázok 1 Schéma detekcie dvoch energetických spektier röntgenového žiarenia na spektrálnom CT



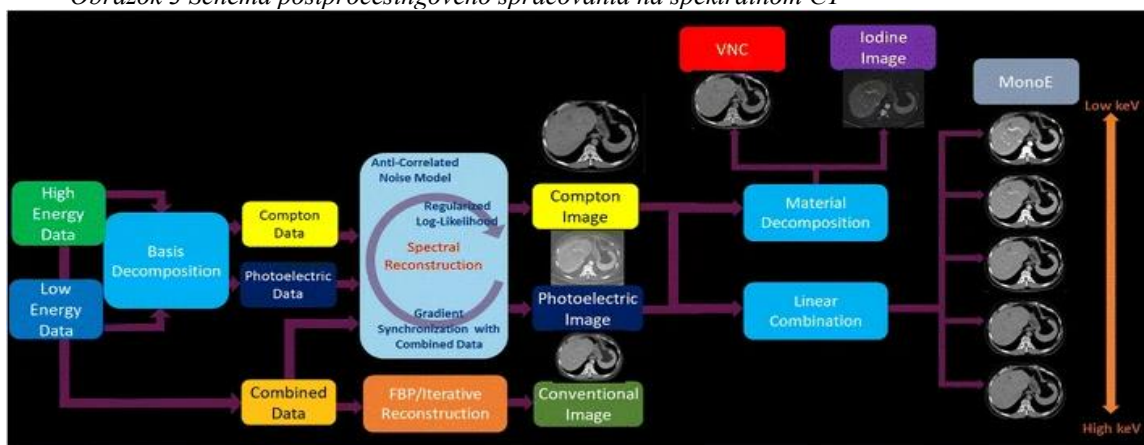
(Rassouli et al. 2017, s. 591)

Obrázok 2 Zjednodušená schéma spektrálneho CT



(McCollough et al. 2015, s. 641)

Obrázok 3 Schéma postprocesingového spracovania na spektrálnom CT



(Rassouli et al. 2017, s. 591)

Postprocesingovým spracovaním okrem materiállovej analýzy, možno vytvoriť virtuálne monoenergetické obrazy (virtual monoenergetic images, VMI). Virtuálne monoenergetické obrazy s rôznymi hladinami energií v rozsahu 40-200 keV (viď Obrázok 5d),

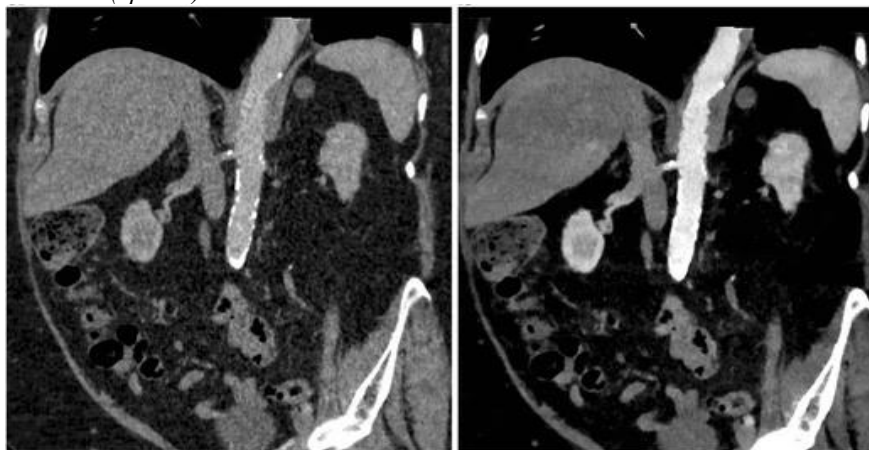
majú vyšší kontrast obrazu, čo môže byť záchranou pri suboptimálnej kontrastnej náplni, bez nutnosti opakovania vyšetrenia (Obrázok 4). Virtuálne zvýrazňovanie štruktúr obsahujúcich jód pri monoenergetických obrazoch perspektívne vytvára možnosť k zníženiu objemu alebo koncentrácie kontrastnej látky nevyhnutnej pri CTA. Optimálna energetická hladina sa líši v závislosti na použitej snímacej technológii. Virtuálne monoenergetické obrazy na najvyššej hladine (150-200 keV), môžu byť použité k potláčaniu artefaktov vytváraných tvrdnutím zväzku. (Moore et al. 2018, s. 233) S používaním virtuálnych monoenergetických máp je spojená nevýhoda horšieho rozlíšenia tkanív z dôvodu vyššieho šumu v porovnaní s konvenčným zobrazením, najväčší prejav má pri obéznych pacientoch a pri zobrazovaní v oblasti hlavy. (Ferda et al. 2008a, s. 21)

Pri diagnostickom zobrazení pre podozrenie pľúcnej embólie sa využíva kvantifikácia obsahu jódu v tkanive a tým určenie miery perfúzie pľúcneho tkaniva. Ide o rekonštrukcie založené na rozložení denzity každého voxelu, jednou zo zložiek je jód a ďalšie 2 zložky sú tkanivá charakteristické pre danú oblasť. V oblasti pľúc sú denzity rozložené na jód, vzduch a mäkké tkanivá. (Ferda et al. 2008a, s. 18) Po vnútro žilovej aplikácii jódovej kontrastnej látky umožňujú vizualizáciu distribúcie jódu. Rozloženie jódu v tkanive na základe jeho distribúcie v riečisku zobrazujú tzv. jódové alebo perfúzne mapy. Vďaka tomuto postprocesingovému spracovaniu je možné zobrazit' defekty perfúzie aj pri izolovanej segmentálnej embolizácii, ale aj napríklad pri infiltrácii hilu bronchogénnym karcinómom. (Ferda et al. 2008a, s. 21) Defekty na perfúzných mapách klinovitého tvaru sú viditeľné pri akútnej PE, čo sa ukázalo dobre korelujúce s pľúcnou perfúziou na scintigrafii. Pridaním perfúzných máp pri hodnotení PE, viedlo k zlepšeniu detekcie periférnych embolov. (Moore et al. 2018, s. 232)

Ďalšou možnosťou postprocesingu je vytvorenie obrazu založeného na efektívnom atómovom čísle, kde farba závisí od atómového čísla (Obrázok 5c). Materiály s vyššou molekulovou hmotnosťou a vyšším protónovým číslom (napr. jód) vykazujú väčší rozdiel v zoslabení röntgenového žiarenia v závislosti na jeho energii. V porovnaní s materiálmi s nižšou molekulovou hmotnosťou a nižším protónovým číslom v dôsledku vyššej pravdepodobnosti fotoelektrického efektu v materiáli s vysokou molekulovou hmotnosťou a vyšším protónovým číslom pri interakcii s röntgenovým žiarením s nižšou energiou. (Moore et al. 2018, s. 232)



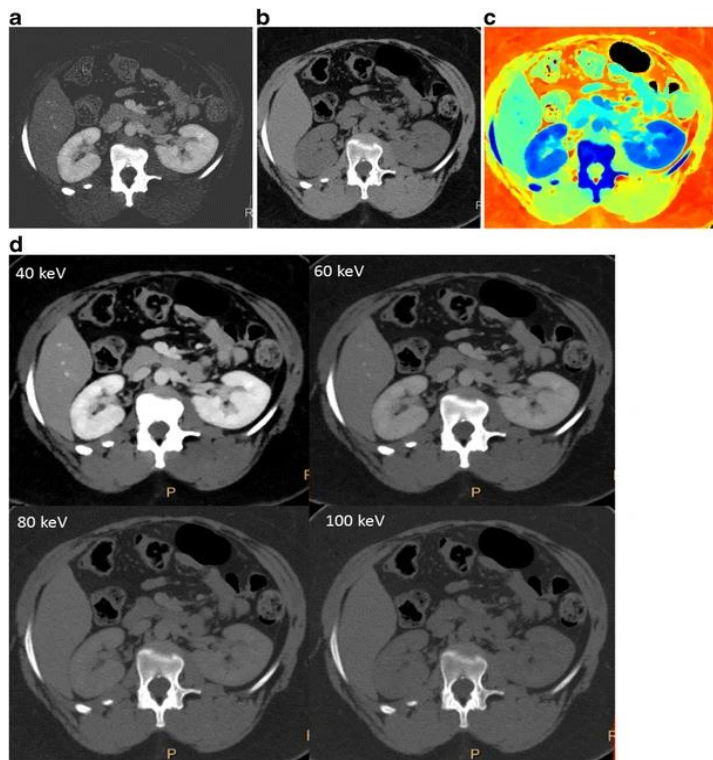
Obrázok 4 Porovnanie kontrastnej náplne v konvenčnom zobrazení (vľavo) a vo virtuálnom 40keV monoenergetickom zobrazení (vpravo)



(Rassouli et al. 2017, s. 594)

Na Obrázok 4 je zobrazená štúdia s malým objemom kontrastnej látky. Na ľavej strane zobrazuje koronárnu rovinu pri 120 kVp rutinného CTA vyšetrenia u pacienta, ktorému bolo aplikovaných 20 ml kontrastnej látky i.v., vidieť slabú kontrastnú opacifikáciu abdominálnej aorty rovnako ako parenchýmových orgánov. Na pravej strane je virtuálne monoenergetický obraz na hladine 40keV na rovnakej úrovni ako na ľavej strane, ukazuje sa výrazne lepšia kontrastná náplň v abdominálnej aorte.

Obrázok 5 Možnosti postprocessingového zobrazenia na spektrálnom CT a) jódový obraz, b) virtuálne natívny obraz, c) obraz založený na efektívnom atómovom čísle, d) virtuálne monoenergetické obrazy na 40keV, 60keV, 80keV a 100keV



(Rassouli et al. 2017, s. 594)

Na obrázku č.5 sú zobrazené viaceré možnosti postprocessingového spracovania. Na a) je jódový obraz, kedy sú zvýraznené tkanivá obsahujúce jód. Na b) je natívne virtuálny obraz, na základe odstránenia z pixelov obsahujúcich jód. Na c) je obraz založený na efektívnom atómovom čísle, kde farba závisí od atómového čísla. Na d) sú virtuálne monoenergetické obrazy na hladine 40 keV, 60 keV, 80 keV a 100 keV, pri ktorých najvyšší kontrastný signál možno vidieť pri 40 keV, pričom signál postupne klesá pri vyšších hladinách.

### **Postkontrastné akútne poškodenie obličiek**

Existuje viacero definícií pre akútne poškodenie obličiek po aplikácii kontrastnej látky (PC-AKI). Jedna z definícií akútneho poškodenia vyvolaného jódom kontrastnou látkou udáva stav, pri ktorom dochádza k oslabeniu funkcie obličiek, teda narastanie hladiny kreatinínu v sére viac ako o 25 % alebo 44  $\mu\text{mol/l}$  počas 3 dní po intravaskulárnej aplikácii kontrastnej látky, pri absencii inej možnej etiológie. Ďalšia definícia poukazuje na stav počas, ktorého dôjde k oslabeniu funkcie obličiek, nárastu hladiny kreatinínu v sére o viac ako 50 % alebo 90  $\mu\text{mol/l}$  v priebehu 3 dní po aplikácii kontrastnej látky, pri absencii inej možnej etiológie. Tieto definície sa objavujú už v odporúčaní od Európskej spoločnosti pre urogenitálnu rádiológiu z roku 1999, sú stále veľmi rozšírené, ale táto téma je veľmi náročná a jej adekvátne pochopenie sa neustále vyvíja. (ESUR 2018, s. 17; Morcos et al. 1999, s. 1607)

Odborníci sa zhodujú na nízkom percente výskytu PC-AKI u pacientov bez rizikových faktorov (< 5 %), pri pacientoch s výskytom nejakého rizikového faktoru približne 10-40 %. V 90. rokoch minulého storočia bolo podávanie kontrastných látok 3. hlavnou príčinou zlyhania obličiek získaného v nemocnici. Kontrastné látky sa v tele šíria extracelulárne, neprechádzajú hematoencefalickou bariérou mozgu a všetky sú vylučované glomerulárnou filtráciou v obličkách, ale nemajú dlhodobý účinok na funkciu obličiek vedúci k zlyhaniu obličiek. (Goble a Abdulkarim 2014, s. 38; Thomsen 2006, s. 309; Morcos et al. 1999, s. 1608)

Zásadná je identifikácia pacientov v ohrození poškodenia funkcie obličiek kontrastnou látkou pred samotným vyšetrením. Vek nad 70 rokov a hladina kreatinínu v sére 200  $\mu\text{mol/l}$  alebo viac patria medzi rizikové faktory pri rozvoji akútneho poškodenia obličiek. Výskum Morcosa et al. ukazuje pozitívnu koreláciu medzi rizikom vzniku PC-AKI a krvným tlakom, čím vyšší krvný tlak, tým vyššie riziko. Pri kombinácii abnormálnej funkcie obličiek a diabetes mellitus sa zvyšuje riziko získania PC-AKI, pričom diabetes mellitus bez oslabenej funkcie obličiek nebol braný ako rizikový faktor. Dehydratácia, zlyhanie srdca, užívanie nefrotoxických liekov, ako napr. nesteroidné protizápalové lieky zvyšujú riziko vzniku nefropatie spôsobenej kontrastnými látkami. Všeobecne platí, že najvýznamnejším rizikovým faktorom je chronické

ochorenie obličiek. Rovnako aj oslabená funkcia srdca predstavuje zvýšené riziko vzniku akútneho poškodenia obličiek. Posledné štúdie ukazujú, že hemodynamická nestabilita, obmedzené krvné zásobovanie obličiek počas cievnych výkonov alebo slabé okysličenie obličiek pri anémii sú rizikovými faktormi pre vznik PC-AKI, sú to faktory, ktoré boli pridané do odporúčania ESUR k postkontrastnému akútnemu poškodeniu obličiek. (Stacul et al. 2011, s. 2530) V najnovších odporúčaníach sú uvádzané rizikové faktory zo strany pacienta, a to známe alebo podozrenie na zlyhanie obličiek a odhadovaná rýchlosť glomerulárnej filtrácie (z anglického Estimated Glomerular Filtration Rate, eGFR)  $< 45 \text{ ml/min/1,73m}^2$  pred intraarteriálnym podaním kontrastnej látky alebo eGFR  $< 30 \text{ ml/min/1,73m}^2$  pred intravenóznym. Rizikové faktory zo strany postupu vyšetrenia sú intraarteriálna aplikácia kontrastnej látky s prvým prechodom obličkami, ďalej vysoká osmolarita podanej kontrastnej látky a podanie kontrastnej látky viackrát v priebehu 48-72 h. (ESUR 2018, s. 18)

Pred samotným podaním kontrastnej látky existujú postupy znižujúce riziko vzniku nežiaducich alergoidných reakcií aj akútneho poškodenia obličiek. V prvom rade zvážiť alternatívnu metódu diagnostického zobrazovania, bez použitia jódoých kontrastných látok. Pri vnútro žilovej aplikácii kontrastnej látky má podanie fyziologického roztoku alebo bikarbonátov podobnú funkciu ako preventívna hydratácia. Pri vnútro žilovej aplikácii sa bikarbonáty podávajú v koncentrácii 1,4 %, 3 ml na telesnú hmotnosť pacienta za hodinu (3 ml/kg/h), hodinu pred podaním kontrastnej látky alebo sa podáva fyziologický roztok 0,9 %, 1 ml na kilogram telesnej hmotnosti za hodinu (1 ml/kg/h) 3-4 h pred podaním kontrastnej látky a 4-6 h po aplikácii kontrastnej látky. Individuálna hydratácia je odporúčaná pri pacientoch so srdcovým alebo renálnym zlyhaním v terminálnom štádiu. Orálna hydratácia nie je odporúčaná ako preventívne opatrenie. (ESUR 2018, s. 19)

Riziko vzniku nefropatie vyvolanej kontrastnou látkou sa zvyšuje s narastajúcim objemom a koncentráciou kontrastnej látky, nezávisle od funkcie obličiek. PC-AKI sa môže objaviť aj po jednej dávke. Kontrastné látky jednoducho môžeme rozdeliť na vysokoosmolárne, ktoré majú 7-krát vyššiu osmolaritu ako krv, nízkoosmolárne s osmolaritou 2-krát vyššou ako krv a izoosmolárne. Vysoko osmolárna k.l. je považovaná za významný rizikový faktor. Incidencia nežiaducich účinkov po intravaskulárnej aplikácii kontrastnej látky na vysokoosmolárne jódové kontrastné látky je 6-8 %, na nízkoosmolárne kontrastné látky 0,2-0,7 % a izoosmolárne látky majú najnižšiu incidencia nežiaducich účinkov, preto je všeobecne odporúčané ich používanie, hlavne u pacientov s rizikovým stavom. (MZ ČR 2016, s. 52)

Existujú rôzne názory na množstvo, ktoré predstavuje riziko. Nie je možné stanoviť bezpečné množstvo kontrastnej látky, každá dávka kontrastnej látky môže vyvolať nefropatiu

u pacientov, ktorí sú vo vysokom ohrození. Preto je treba použiť čo najmenší objem kontrastnej látky pri zachovaní adekvátnej diagnostickej hodnoty. (ESUR 2018, s. 14, 20)

## 4. PRAKTICKÁ ČASŤ

### Ciele práce, výskumné otázky a hypotézy

#### Ciele výskumu

Hlavným cieľom práce je preskúmať či zníženie objemu kontrastnej látky na 30 ml, má vplyv na kvalitu vyšetrenia.

Vedľajšie ciele, identifikovať skupiny pacientov, u ktorých by pri CT angiografii pľúc bolo možné použiť ešte menej kontrastnej látky (25ml).

Práca by mala viesť k úprave vyšetrovacieho protokolu aplikácie kontrastnej látky počas CT vyšetrenia pľúcnych tepien, pre optimalizáciu vyšetrenia a zvýšenie ochrany pacienta pred záťažou spôsobenou podaním jódovej kontrastnej látky.

#### Výskumné otázky

Aký vplyv bude mať redukcia objemu kontrastnej látky na 30 ml na kvalitu vyšetrenia na škále 1-5?

Aký vplyv bude mať vek pacienta na kvalitu vyšetrenia na škále 1-5?

Aký vplyv bude mať kardiotorakálny index na kvalitu vyšetrenia na škále 1-5?

Aký vplyv bude mať hrúbka tuku nad sternom na kvalitu vyšetrenia na škále 1-5?

Aký bude mať vplyv BMI pacienta na kvalitu vyšetrenia na škále 1-5?

#### Hypotézy

H0<sub>1</sub>: Zníženie objemu kontrastnej látky na 30 ml má negatívny vplyv na kvalitu vyšetrenia.

HA<sub>1</sub>: Zníženie objemu kontrastnej látky na 30 ml nemá negatívny vplyv na kvalitu vyšetrenia.

H0<sub>2</sub>: Pri starších pacientoch bude kvalita vyšetrenia rovnaká ako pri mladších pacientoch.

HA<sub>2</sub>: Pri starších pacientoch bude kvalita vyšetrenia rozdielna ako pri mladších pacientoch.

H0<sub>3</sub>: Pri vyššom kardiotorakálnom indexe bude kvalita vyšetrenia rovnaká ako pri nižšom kardiotorakálnom indexe.

HA<sub>3</sub>: Pri vyššom kardiotorakálnom indexe bude kvalita vyšetrenia rozdielna ako pri nižšom kardiotorakálnom indexe.

H0<sub>4</sub>: Pri pacientoch s malou hrúbkou tuku nad sternom bude kvalita vyšetrenia rovnaká ako pri pacientoch s väčšou hrúbkou tuku nad sternom.

H4: Pri pacientoch s malou hrúbkou tuku nad sternom bude kvalita vyšetrenia rozdielna ako pri pacientoch s väčšou hrúbkou tuku nad sternom.

HO5: Hodnota BMI pacientov nemá vplyv na kvalitu vyšetrenia.

HA5: Hodnota BMI pacientov má vplyv na kvalitu vyšetrenia.

### **Súbor pacientov a metodika výskumu**

Pred začatím výskumnej časti práce, bolo získané súhlasné stanovisko Etickej komisie FZV UP (viď príloha 1). Súčasne bol získaný súhlas FN Brno s poskytnutím informácií pre študijné účely. (viď príloha 2)

#### **Súbor pacientov**

Pre výber subjektov výskumu bola použitá metóda zámerného výberu. Do výskumu boli zaradení pacienti podstupujúci CT angiografiu pľúcnych tepien vo Fakultnej nemocnici v Brne. Kritérium výberu bolo, aby pacienti boli vyšetrení pomocou prístroju IQon Spectral CT od spoločnosti Philips Healthcare. Ďalším kritériom výberu bolo časové vymedzenie, do výskumu boli zaradení pacienti, ktorí vyšetrenie podstúpili v čase od 1.10.2021 do zaplnenia výskumného súboru. Vyrazení boli pacienti s kombináciou vyšetrenia CTPA a CT angiografie zameranej na inú oblasť alebo iným kontrastným vyšetrením. Iný spôsob vyradovania pacientov nebol aplikovaný.

S vyššie spomenutým spôsobom výberu pacientov bol začatý zber dát v januári 2022 a do marca 2023 boli zozbierané dáta od 555 pacientov, s priemerným vekom  $65 \pm 16,9$  rokov, z toho 276 (49,7 %) žien s vekom  $68 \pm 17,6$  rokov a 279 (50,3 %) mužov s vekom  $62 \pm 15,9$  rokov, ktorí podstúpili CT angiografiu pľúcnych tepien vo FN Brno.

#### **Metodika výskumu**

Práca má kvantitatívny design s využitím štatistického spracovania retrospektívne nazbieraných dát.

Na základe informácií obsiahnutých v NIS FN Brno, bol vytvorený zoznam pacientov, ktorí absolvovali CT angiografiu pľúcnych tepien na pracovisku Kliniky radiologie a nukleární medicíny (KRNM) FN Brno, na prístroji IQon Spectral CT, Philips Healthcare. Dáta získané retrospektívne, a to nahliadnutím do archívu NIS (e-MED) alebo prevedením meraní dát z vyšetrení uschovaných v archívnom a komunikačnom systéme PACS. Pred začiatkom zberu dát (od 1.11.2021) bolo prospektívne zavedené, aby pracovníci CT oddelenia, pri vyšetreniach CTPA uvádzali do elektronického systému e-MED umiestnenie a veľkosť kanyly žilového vstupu. Z programu e-MED boli o pacientoch sledované údaje ako pohlavie, dátum vyšetrenia, rodné číslo, výška, váha, množstvo a koncentrácia jódovej kontrastnej látky, výskyt pľúcnej

embólie, veľkosť a umiestnenie žilového vstupu, prípadné opakovanie vyšetrenia. Identifikačné údaje slúžili iba ku kontrole pri vkladaní dát, pri spracovaní boli všetky údaje anonymizované. V systéme MARIE PACS bola retrospektívne vyhl'adaná obrazová dokumentácia z vyšetrenia CTPA, na ktorej boli vykonané merania parametrov slúžiacich k hodnoteniu kvality vyšetrenia, prípadného zdôvodnenia zlej kvality vyšetrenia.

Z nazbieraných dát o pacientovi boli vypočítané údaje vypovedajúceho o jeho charakteristike. Z rodného čísla a dátumu vyšetrenia bol určený vek pacienta v čase vyšetrenia. Z váhy a výšky pacienta bol vypočítaný index telesnej hmotnosti (z anglického Body Mass Index, BMI). Index telesnej hmotnosti sa vypočíta ako pomer hmotnosti v kilogramoch a druhej mocniny výšky v metroch.  $BMI = (\text{hmotnosť v kg}) / (\text{výška v m})^2$ .

#### Získavanie obrazu

Pre vyšetrenie CT pľúcnej angiografie bol použitý prístroj IQon Spectral CT od spoločnosti Philips so 64 radmi detektorov vo dvoch vrstvách. Pacienti boli uložený na vyšetrovací stôl v leže na chrbte s rukami natiahnutými za hlavou, ak to ich stav umožňoval. Predozadný topogram bol získaný pred nastavením vyšetrenia s anatomickým rozsahom hornej apertúry až bránice. Vyšetrenie sa vykonáva pri jemnom nádychu pacienta, aby sa zabránilo Valsalvovmu manévru pri zadržaní dychu po hlbokom nádychu. Pri skenovaní bola využitá technika bolus trackingu, umiestnením oblasti ROI do pľúcneho kmeňu pred jeho bifurkáciou. Nízkodávkové trackovacie skeny monitorovali obraz 2 sekundy po začiatku aplikácie kontrastnej látky s opakovaním každú 1,3 sekundu. Po dosiahnutí denzity prahovej hodnoty sa spustí skenovacia akvizícia s oneskorením 5-6 sekúnd v závislosti od umiestnenia meranej oblasti a umiestnenia začiatku skenovania hrudníka, počas ktorých sa posuvný stôl dostane do počiatočnej skenovacej polohy. Obrazy sa naberajú v kranio-kaudálnom smere s rezmi od pľúcnych vrcholov po bránicu. V tabuľke 3 je zobrazený vyšetrovací protokol FN Brno použitý pri vyšetreniach v tejto práci.

Tabuľka 3 Vyhľadovací protokol CTPA z KRNM FN Brno

<b>Základná stratégia</b>	helikálne s i.v. k.l.
<b>Príprava pacienta</b>	alergologická anamnéza, lačný
<b>Poloha</b>	V leže na chrbte
<b>Inštrukcie</b>	nehýbať, nadýchnuť a nedýchať
<b>Smer skenovania</b>	kranio-kaudálny
<b>Centrácia</b>	jugulum
<b>Rozsah vyšetrenia</b>	horná hrudná apertúra až bránica
<b>Hrúbka vrstvy/ inkrement</b>	0.9 mm/ 0.45 mm
<b>Kolimácia</b>	64 x 0.625
<b>Pitch faktor</b>	0.984
<b>kV</b>	120 kV (nad 120 kg - 140 kV)
<b>Rotácia</b>	0.33
<b>Spektrálna analýza obrazu</b>	áno
<b>iDose, IMR</b>	iDose 4, áno
<b>Rekonštrukčný algoritmus</b>	jódové mapy, HRCT - pľúcne okno (WC -600, WW 1 600), virtuálne monoenergetické mapy 55 keV
<b>Stred a šírka okna</b>	360/60 1 600/-600
<b>Množstvo kontrastnej látky (+ fyziologického roztoku)</b>	1.) Viacfázové podanie k.l. rôznych koncentrácií od 23.9.2021 10 ml 40 % k.l. 4 ml/s 8 ml 50 % k.l. 4 ml/s 22 ml k.l. 4,2 ml/s + 60 ml preplach 5,5 ml/s  2.) Jednofázové podanie k.l. (pri opakovaných vyšetreniach) 60 ml (alebo 50 ml) 100 % k.l. 4,5 ml/s + 40 ml preplach 4,5 ml/s , k.l. s minimálnou koncentráciou 350 mgI/ ml
<b>Oneskorenie</b>	bolus tracking
<b>Poznámka</b>	ROI - truncus pulmonalis Dif. 60-90 HU

(Fakultní nemocnice Brno - KRNM 2021, s. 33)

#### Podanie kontrastnej látky

Kontrastná náplň ciev bola meraná umiestnením kruhovej oblasti záujmu do pľúcneho kmeňa. Prahová hodnota bola nastavená v závislosti od nameranej pôvodnej denzity v oblasti ROI, tak že sa k pôvodnej denzite pripočíta 25-30 HU (celkovo 68-75 HU). Po dosiahnutí denzity prahovej hodnoty sa spustila skenovacia akvizícia s daným oneskorením, počas ktorých sa posuvný stôl dostal do počiatkovej skenovacej polohy. Počas skenovania bola kontrastná látka s fyziologickým roztokom aplikovaná pomocou dvojhlavého injektora Accutron CT-D MEDTRON. Kontrastná látka sa aplikovala viacfázovo, v prvej fáze bola aplikovaná nariedená



40 % kontrastná látka v objeme 10 ml, v druhej fáze nariedená 50 % kontrastná látka v objeme 8 ml a tretej fáze sa podala neriedená kontrastná látka (100 %) v objeme 22 ml, (tabuľka 4) Cieľom aplikácie kontrastnej látky s nižšou koncentráciou je snaha o zníženie objemu kontrastnej látky, ktorá nie je potrebná pri samotnej akvizícii hrudníka, ale je použitá len k spusteniu akvizície. Neslúži pre diagnostické účely zobrazenia pľúcnych tepien, pri akvizícii napĺňa žilové riečisko, srdce či aortu. Po aplikácii kontrastnej látky nasleduje podanie fyziologického roztoku v množstve 60 ml. V ideálnom prípade bola kontrastná látka podávaná prostredníctvom žilového katétra umiestneného v kubitálnej jamke s priemerom 18 G. V prípade horšieho stavu pacienta a jeho žíl sa umiestnenie a veľkosť priemeru kanyly mohla líšiť.

Tabuľka 4 Parametre viacfázovej aplikácie 30 ml k.l.

	Viacfázová aplikácia k.l.				1-fázová aplikácia k.l.	
	40	50	100		100	100
koncentrácia [%]	40	50	100		100	100
koncentrácia 100% k.l. [mgI/ml]	350				350	
koncentrácia zriedenej k.l. [mgI/ml]	140	175				
celkový aplikovaný objem [ml]	10	8	22	40	50	60
rýchlosť aplikácie k.l. [ml/s]	4	4	4,2		4,5	
podané množstvo k.l. vo fáze [ml]	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>22</b>	<b>30</b>	<b>50</b>	<b>60</b>
množstvo jódu vo fáze [gI]	1,4	1,4	7,7	10,5	17	21
dĺžka fázy (čas) [s]	2,5	2	5,2	9,7	11,1	13,3
iodine delivery rate [gI/s]	0,56	0,7	1,4	1,1	1,6	

V tejto práci bola použitá injektorová pumpa Accutron CT-D, ako všetky injektory kontrastnej látky spĺňa požiadavky na diagnostickú presnosť, šetrnosť k pacientovi ako aj ekonomickú efektívnosť. Je optimalizovaná pre klinickú diagnostiku s využitím CT, zabezpečuje presné dvojité vstrekovanie a stabilný prietok kontrastnej látky, tie parametre vytvárajú homogénne plnenie ciev kontrastnou látkou počas celého vyšetrenia. Dvojité 200 ml injekčná objemová kapacita môže byť prispôbená viacfázovým protokolom s vysokými prietokmi na dosiahnutie presných dávok kontrastnej látky a fyziologického roztoku s možnosťou zmeny koncentrácie vstrekovanej kontrastnej látky. Vďaka možnosti zmeny

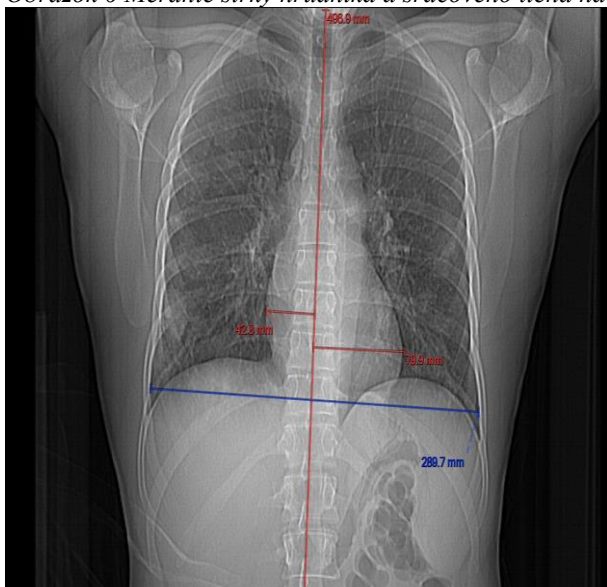
koncentrácie kontrastnej látky v rámci viacfázovej injekcie možno dosiahnuť zlepšenie diagnostiky. (Informa Markets 2023)

System optimalizovaného podávania kontrastnej látky a fyziologického roztoku skracuje čas vyšetrenia a tiež znižuje spotrebu kontrastnej látky pri CT vyšetreniach. Výhodou je monitorovanie tlaku v reálnom čase. (MEDTRON AG 2021) Injektorová pumpa disponuje 2 samostatne zapínateľnými ohrevmi pre fyziologický roztok a zvlášť pre kontrastnú látku. (LUMATEC, s.r.o. 2023)

V tejto práci bola použitá práve funkcia riadenia koncentrácie kontrastnej látky pre viacfázové vstrekovanie pri vyšetrení CT pľúcnej angiografii. V prílohe 3 sú uvedené niektoré technické parametre injektoru Accutron CT-D, METRON.

V systéme MARIE PACS prebehli merania na topogramoch a rezoch anatomicky axiálnej roviny. Na predozadnom topograme vyšetrenia boli merané šírky hrudníka a srdcového tieňa, k vypočítaniu kardiotorakálneho indexu,  $KTI = C/T$ . Kde KTI je kardiotorakálny index, C je najväčšia šírka srdcového tieňa a T je najväčšia vnútorná šírka hrudníka. Pričom najväčšia šírka srdcového tieňa ako pričného priemeru srdca, sa vypočíta súčtom najväčšej vzdialenosti pravého (a) a ľavého (b) okraja srdcového tieňa od stredovej čiary, ktorá vedie kolmo cez stred chrbtice.  $C = a + b$ . Ukážka z merania je zobrazená na obrázku 6

Obrázok 6 Meranie šírky hrudníka a srdcového tieňa na topograme



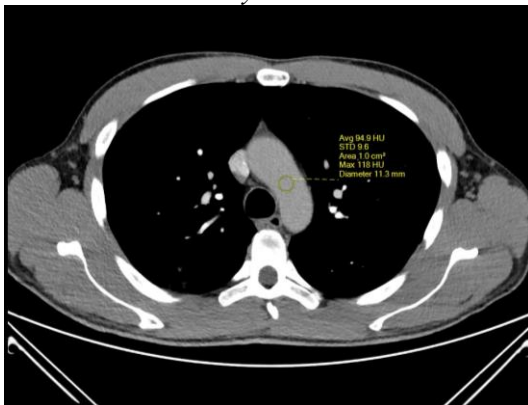
Archív MARIE PACS FN Brno

Zo série dynamických snímok bolus tracking techniky boli získané informácie o umiestnení meranej oblasti záujmu (ROI), hodnote nastavenej hraničnej hodnoty a sekvencii automatického spustenia vyšetrenia.

Kontrastná náplň ciev bola meraná vo všetkých prípadoch v rezoch anatomicky axiálnej roviny (tzn. rovina nebola sklopená kolmo na priebeh tepien) vo veľkých cievach s kruhovou ROI s areou v rozsahu 90 mm<sup>2</sup> až 120 mm<sup>2</sup>, pri menších cievach s maximálne veľkou ROI umiestnenou do lumenu cievy, tak aby nezasahovala do steny ciev. Umiestnenie ROI bolo prispôbené v prípade výskytu embolu, aby jej oblasť nezahrňovala densitu embolu. Merania denzít boli v prevedení 1 hodnotiteľa, ROI bola umiestnená trikrát po sebe v rovnakej anatomickej oblasti a z nameraných hodnôt bol vypočítaný priemer, pre zlepšenie výpovednej hodnoty nameraných údajov.

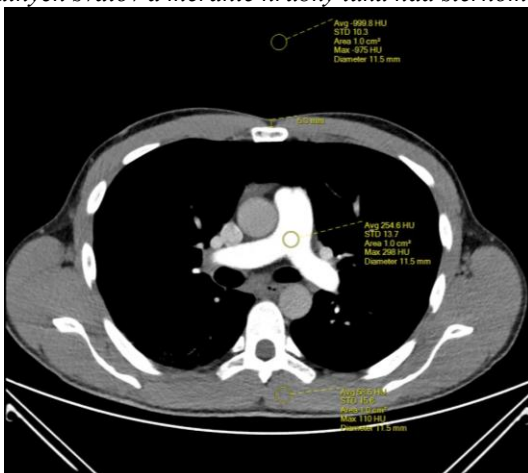
V rezoch v axiálnej rovine prebehli merania denzít vo viacerých lokalitách, a to v mieste aortálneho oblúku (obrázok 7), pred bifurkáciou hlavnej pľúcnej tepny (obrázok 8), jej pravej (obrázok 9) a ľavej vetvy (obrázok 10), v pravej lobárnej tepne (obrázok 11), ľavej (obrázok 12) a pravej pľúcnej žile (obrázok 13). V rezoch axiálnej roviny na úrovni bifurkácie artérie pulmonalis bola meraná aj densita paravertebrálnych svalov ako okolitého tkaniva, densita vzduchu ako pozadia (background) a v rovnakej úrovni bola meraná aj hrúbka tuku nad sternom (obrázok 8).

Obrázok 7 Meranie denzity v aortálnom oblúku



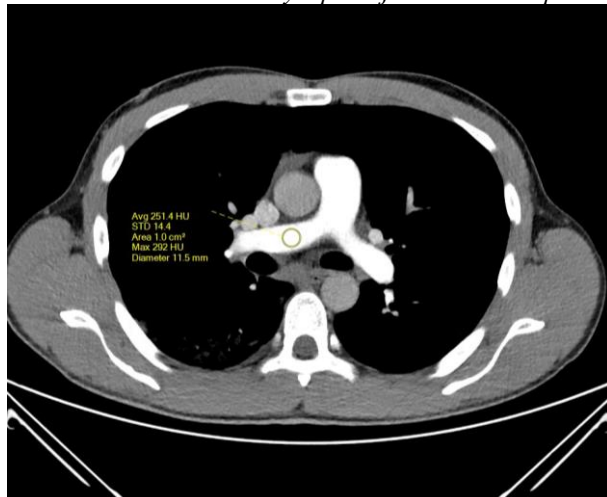
Archív MARIE PACS FN Brno

Obrázok 8 Meranie denzity pred bifurkáciou hlavnej pľ. tepny, denzity pozadia, denzity paravertebrálnych svalov a meranie hrúbky tuku nad sternom



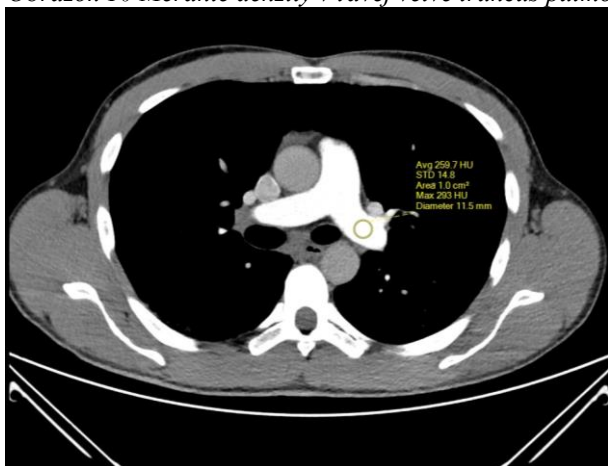
Archív MARIE PACS FN Brno

Obrázok 9 Meranie denzity v pravej vetve truncus pulmonalis



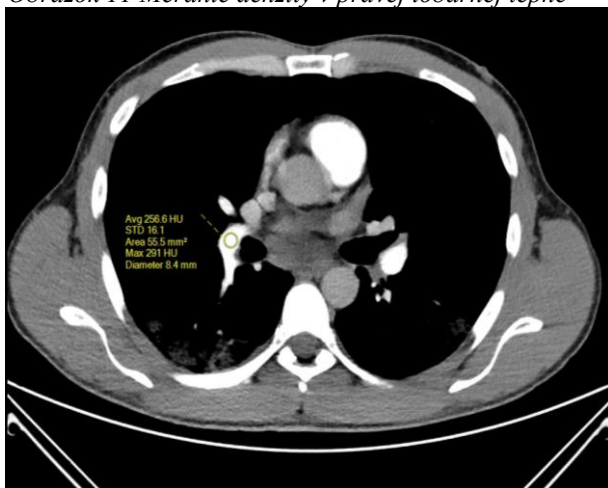
Archív MARIE PACS FN Brno

Obrázok 10 Meranie denzity v ľavej vetve truncus pulmonalis



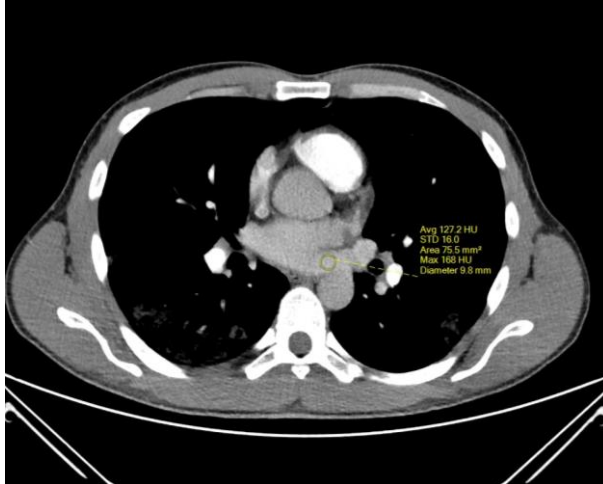
Archív MARIE PACS FN Brno

Obrázok 11 Meranie denzity v pravej lobárnej tepne



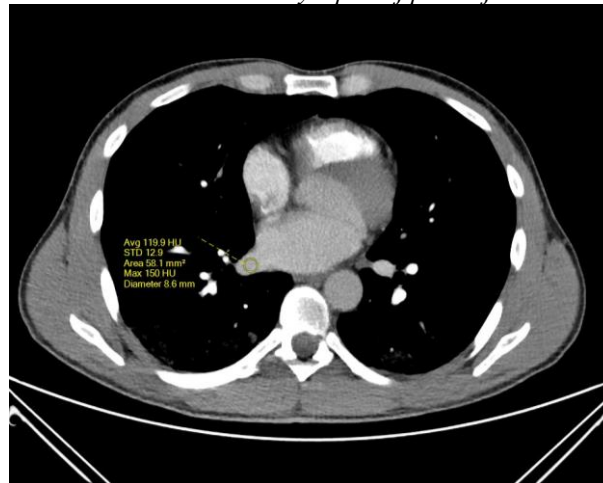
Archív MARIE PACS FN Brno

Obrázok 12 Meranie denzity v ľavej pľúcnej žile



Archív MARIE PACS FN Brno

Obrázok 13 Meranie denzity v pravej pľúcnej žile



Archív MARIE PACS FN Brno

Meranie denzít bolo kvantifikované do 5 stupňovej Likertovej škály kvality kontrastnej náplne ciev ako bolo použité už v predchádzajúcich štúdiách. (Kosmala et al. 2020, s. 2053) Hodnotiteľom bol rádiologický asistent s 2 ročnou praxou. Škála objektívnej kvality je radená od najlepšej kvality (1) po najhoršiu (5). Kvalita 1 znamená excelentnú kvalitu vyšetrenia, kedy denzita pľúcnych tepien je vyššia ako denzita pľúcnych žíl, zároveň denzita tepien presahuje hodnotu 250 HU. Kvalita 2 predstavuje dobrú kvalitu vyšetrenia, kedy denzita pľúcnych tepien je vyššia ako denzita pľúcnych žíl (minimálne o 20 HU), ale denzita v tepnách nepresahuje hodnotu 250 HU, ale zároveň dosahuje hodnôt nad 150 HU. Kvalita 3 zastupuje horšiu kvalitu vyšetrenia, kedy denzita v pľúcnych tepnách a žilách má približne rovnaké hodnoty ( $\pm 20$  HU), a zároveň je denzita v hlavnej pľ. tepne vyššie ako 150 HU. Kvalita 4 znamená zlú kvalitu vyšetrenia, kedy denzita v pľúcnych tepnách je nižšia ako denzita v pľúcnych žilách o viac ako 20 HU, a zároveň v pľúcnych tepnách je denzita minimálne 100 HU. V neposlednom rade najhoršia kvalita je značená hodnotou 5, kedy je vyšetrenie nehodnotiteľné (denzita v hlavnej pľ. tepne je menej ako 100 HU).

Z nameraných hodnôt denzít bol určený šum obrazu. Za šum obrazu boli stanovené smerodajné odchýlky z meraní denzít vzduchu ako pozadia (background). Šum obrazu (image noise) = STD pozadia (background).

Vypočítaný bol tiež pomer signál-šum (z anglického signal-to-noise ratio, SNR) bol vypočítaný z podielu priemeru denzít v pľúcnych tepnách a smerodajnej odchýlky (STD) vzduchu (pozadia) nameraných pomocou oblasti záujmu (ROI) s veľkosťou v rozsahu 90 mm<sup>2</sup> až 120 mm<sup>2</sup> v rezoch axiálnej roviny, v mieste bifurkácie hlavnej pľúcnej tepny.

$SNR = (\text{denzita pľ. tepien} / \text{STD vzduchu})$ . (Zeng et al. 2020, s. 923; Sabel et al. 2016, s. 3)

Ďalej bol vypočítaný pomer kontrast-šum (z anglického contrast-to-noise ratio, CNR) bol vypočítaný z rozdielu priemeru denzít v pľúcnych tepnách a paravertebrálnych svalov (okolitého tkaniva) v pomere so smerodajnou odchýlkou (STD) vzduchu (pozadia). Merania paravertebrálnych svalov a vzduchu boli realizované v rezoch axiálnej roviny v úrovni bifurkácie hlavnej pľúcnej tepny s veľkosťou ROI v rozsahu 90 mm<sup>2</sup> až 120 mm<sup>2</sup>.  $CNR = (\text{denzita pľ. tepien} - \text{denzita paraverteb. svalov}) / \text{STD vzduchu}$ . (Zeng et al. 2020, s. 923; Sabel et al. 2016, s. 3) Hodnoty denzít tepien a žíl boli spriemerované a dané do pomeru (arteriálna / venózna denzita) a vyjadrené ako arteriálno-venózne kontrastný pomer (anglického Arteriovenous Contrast Ratio AVCR).  $AVCR = \text{denzita pľúcnych tepien} / \text{denzita pľúcnych žíl}$ . (Saade et al. 2013, s. 3207)

Pre zhodnotenie výskytu pľúcnej embólie bol použitý popis vyšetrenia skúsených rádiológov so špeciálnou odbornou spôsobilosťou. Obrazová dokumentácia bola prehliadaná pomocou informačného systému MARIE PACS. Po zozbieraní údajov z 555 po sebe nasledujúcich vyšetrení, boli dáta štatisticky spracované a vyhodnotené.

#### Štatistická analýza

Dáta boli spracované pomocou programu Microsoft Excel 2016 a programu TIBCO Statistica verzia 14.0.0.15. Všetky štatistické testy boli prevedené na hladine významnosti  $\alpha = 0,05$ . Nulovú hypotézu bolo možné zamietnuť, ak bola p-hodnota nižšia ako 0,05, lebo taká hodnota je štatisticky významná.

V oddieloch obsahujúcich spracované výsledky výskumnej časti sú významné p-hodnoty označené tučne. Z deskriptívnej štatistiky boli využité medián, smerodajná odchýlka, minimálna a maximálna hodnota, aritmetický priemer, percentuálne zastúpenia.

Merané kvantitatívne dáta boli testované pre normalitu distribúcie pomocou Jarque-Bera testu. Pre overenie hypotéz, pri potvrdenej normalite distribúcie hodnôt, bol použitý One-Way ANOVA test. Pre overenie hypotéz, kedy sa nepotvrdila normalita distribúcie hodnôt, bola využitá Kruskal-Wallisova modifikácia One-way ANOVA testu.

Pre vyjadrenie vzájomných vzťahov medzi dátami a kvalitou bol použitý Pearsonov korelačný test pre dáta s normálnou distribúciou. Pri dátach, ktorých normalita rozloženia nebola potvrdená, bol použitý Spearmanov korelačný test.

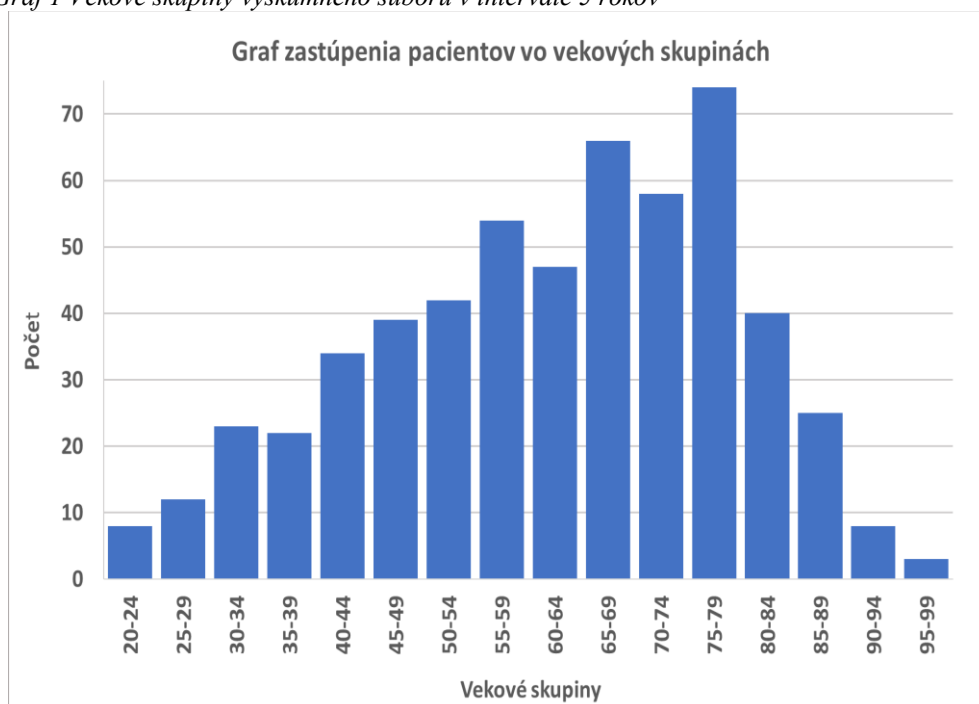
Pre zhodnotenie špecificity a senzitivity sledovaných parametrov pri CT angiografii pľúcnych tepien bola použitá analýza pomocou ROC (Receiver Operating Characteristic) krivky.

## 5. VÝSLEDKY PRÁCE

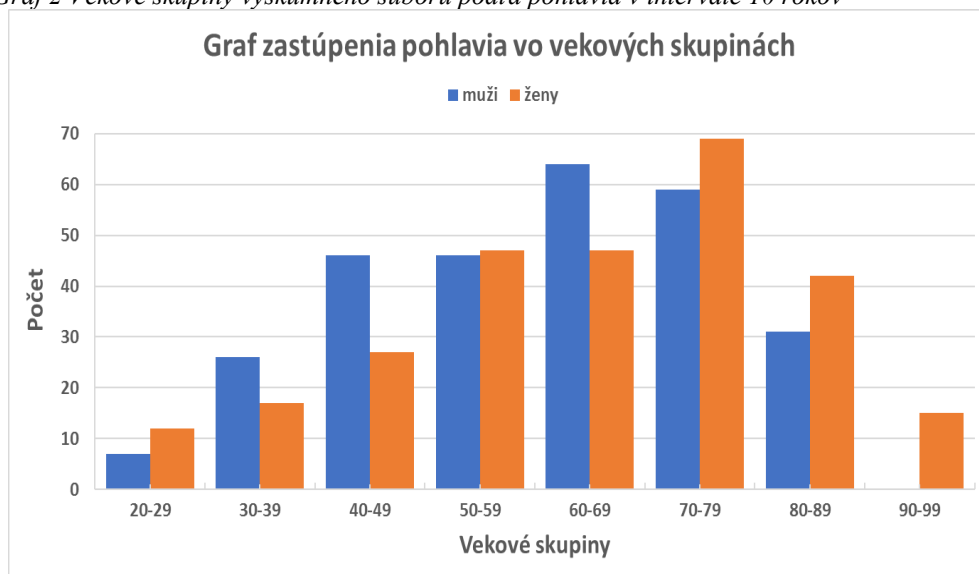
### Popis súboru

Z celkového súboru 555 pacientov bolo 276 (49,7 %) žien a 279 (50,3 %) mužov. Priemerný vek celého výskumného súboru bol  $65 \pm 16,9$  rokov. U žien bol priemerný vek  $67,8 \pm 17,6$  rokov a u mužov  $61,6 \pm 15,9$  rokov. V grafe 1 môžeme vidieť počty pacientov v jednotlivých vekových skupinách s intervalom 5 rokov. Graf 2 znázorňuje zastúpenie pohlaví v jednotlivých vekových skupinách s intervalom 10 rokov.

Graf 1 Vekové skupiny výskumného súboru v intervale 5 rokov



Graf 2 Vekové skupiny výskumného súboru podľa pohlavia v intervale 10 rokov



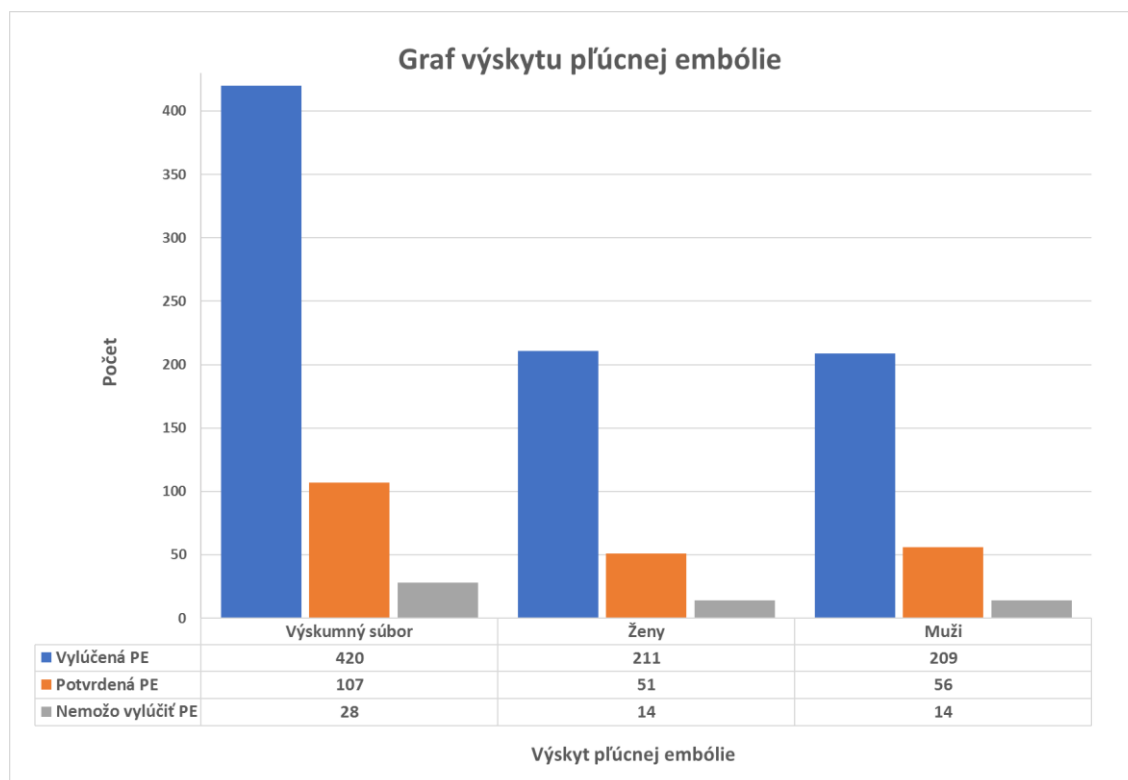


Priemerná telesná hmotnosť pacientov vo výskumnom súbore bola  $80 \pm 18,6$  kg a priemerná výška  $179 \pm 7,2$  cm. V skupinách pohlaví hodnoty výšky a váhy kopírovali populačné trendy. V skupine mužov bola hodnota priemernej výšky väčšia ako u žien. Rovnako tak aj v porovnaní hmotností medzi pohlaviami, v skupine žien hodnota priemernej váhy bola menšia ako u mužov.

Príloha 4 zobrazuje grafy zastúpenia počtov pacientov vo výškových skupinách v intervaloch 5 cm a tiež zastúpenie pohlaví v jednotlivých výškových skupinách s intervalom 5 cm. Príloha 5 zobrazuje grafy zastúpenia počtov pacientov vo váhových skupinách v intervaloch 10 kg a tiež zastúpenie pohlaví v jednotlivých váhových skupinách s intervalom 10 kg.

Diagnóza pľúcnej embólie bola potvrdená vo výskumnom súbore v 107 (19,27 %) prípadoch, vylúčená v 420 (75,68 %) prípadoch a v 28 (5,05 %) nebolo možné vylúčiť pľúcnu embóliu. V skupine žien bola pľúcna embólia diagnostikovaná v 51 (18,48 %) prípadoch, vylúčená v 211 (76,45 %) prípadoch a v 14 (5,07 %) prípadoch nebolo možné vylúčiť embóliu. V súbore mužov bola PE celkovo potvrdená u 56 (20,07 %) pacientov, vylúčená v 209 (74,91 %) prípadoch a v 14 (5,02 %) prípadoch nebolo možné vylúčiť PE. Graf 3 znázorňuje výskyt pľúcnej embólie.

Graf 3 Výskyt PE vo výskumnom súbore, v skupine žien a v skupine mužov



Pri rozdelení podľa kvality vyšetrenia bola diagnóza pľúcnej embólie potvrdená v skupine kvality 1 u 54 (9,7 %) pacientov z toho 31 (5,59 %, resp. 11,23 % zo žien) žien a 23 (4,14 %, resp. 8,24 % z mužov) mužov. Pri kvalite 5 išlo o nehodnotiteľné vyšetrenie a tak diagnózu nebolo možné stanoviť a vyšetrenie muselo byť opakované. Jednotlivé počty aj v percentuálnom vyjadrení pozitívnej diagnózy pľúcnej embólie sú sumárne zaznamenané v tabuľke č.5

Tabuľka 5 Počty a percentuálne vyjadrenie pozitívnej diagnózy PE

	Kvalita 1		Kvalita 2		Kvalita 3		Kvalita 4		Kvalita 5
	Počet	Počet v %	Počet	Počet v %	Počet	Počet v %	Počet	Počet v %	
<b>Potvrdená PE celý výskumný súbor</b>	54	9,7	38	6,9	9	1,6	6	1,1	0
<b>Potvrdená PE ženy</b>	31	11,3	15	5,4	3	1,1	1	0,4	0
<b>Potvrdená PE muži</b>	23	8,4	23	8,4	6	2,2	5	1,8	0

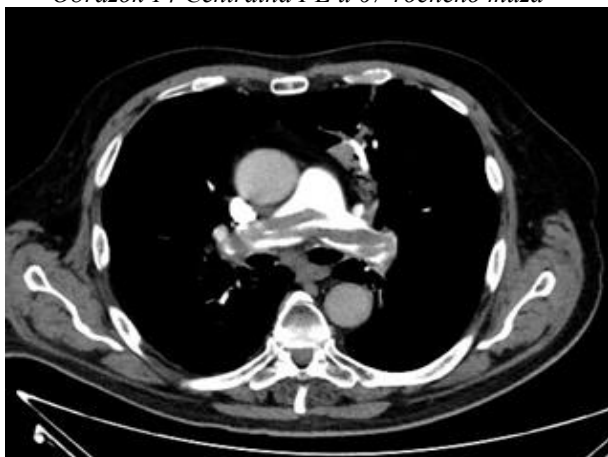
Z celého výskumného súboru 555 vyšetrení malo 302 vyšetrení kvalitu 1. V skupine vyšetrení kvality 1 nebolo možné vylúčiť pľúcnu embóliu celkovo v 14 (4,64 %) vyšetreniach. V skupine žien s kvalitou vyšetrenia 1 nebolo možné pľúcnu embóliu vylúčiť v 8 (2,64 %, resp. 4,4 % zo skupiny žien) prípadoch. V skupine mužov s kvalitou vyšetrenia 1 nebolo možné pľúcnu embóliu vylúčiť v 6 (1,99 %, resp. 5,17 % zo skupiny mužov) prípadoch.

Obrázok 14 zobrazuje prípad centrálnej pľúcnej embólie obojstranne u 67-ročného muža, kvalita vyšetrenia 1. Obrázok 15 zobrazuje prípad sedlovitého defektu kontrastnej náplne v ľavej vetve pľúcnej tepny, v prípade 57-ročnej ženy, kvalita vyšetrenia 1

Do kvality 2 bolo zaradených 153 vyšetrení z výskumného súboru. V skupine vyšetrení kvality 2 nebolo možné vylúčiť pľúcnu embóliu v 3 (1,96 %) prípadoch, z toho 2 (1,31 %, resp. 3,33 % zo žien) prípady boli u žien a 1 (0,65 %, resp. 1,08 % z mužov) prípad u mužov.

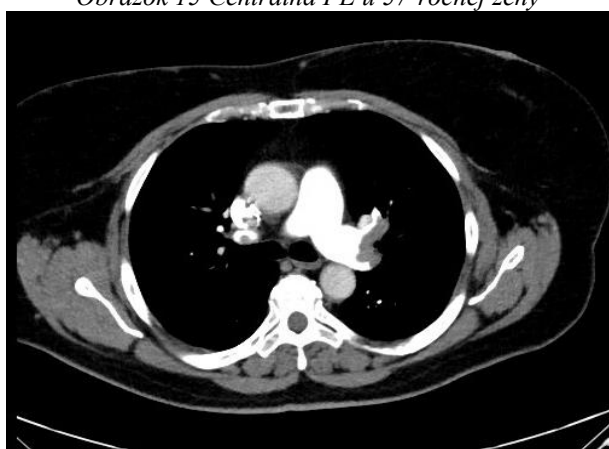
Do kvality 3 bolo zaradených 63 vyšetrení z výskumného súboru. V skupine vyšetrení kvality 3 nebolo možné vylúčiť pľúcnu embóliu v 4 (6,35 %) prípadoch, všetky prípady nastali v skupine mužov (10,26 %).

Obrázok 14 Centrálna PE u 67-ročného muža



Archív Philips IntelliSpace Portal FN Brno

Obrázok 15 Centrálna PE u 57-ročnej ženy



Archív Philips IntelliSpace Portal FN Brno

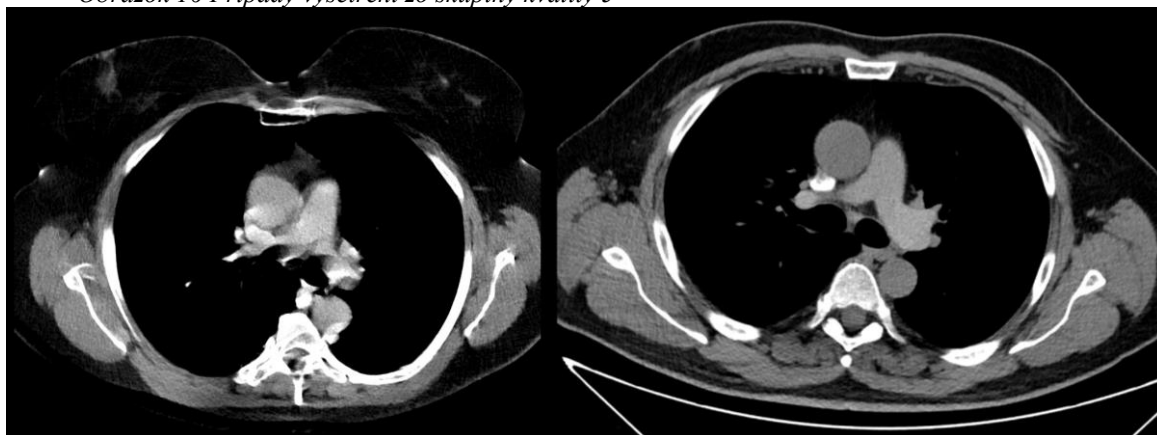
Do kvality 4 bolo zaradených 35 vyšetrení z výskumného súboru. V skupine vyšetrení kvality 4 nebolo možné vylúčiť pľúcnu embóliu v 6 (17,14 %) prípadoch, z toho 2 (5,71 %, resp. 22,22 % zo žien) prípady boli u žien a 4 (11,43 %, resp. 15,39 % z mužov) prípady u mužov.

Do kvality 5 boli zaradené 2 vyšetrenia z výskumného súboru, z toho u 1 ženy (50 %, resp. 100% zo žien) nebolo možné vylúčiť pľúcnu embóliu.

Vo vyššie spomenutých prípadoch vyšetrení, kedy nebolo možné vylúčiť diagnózu pľúcnej embólie, boli prípady, v ktorých bola zle hodnotiteľná segmentálnej a subsegmentálnej úrovne pľúcnych tepien. Tieto prípady vyšetrení boli zaťažené viacerými faktormi. Išlo o prípady pohybových artefaktov, či už fyziologických (neschopnosť udržať dych) alebo pohybmi pacienta. Ďalším fyziologickým faktorom sú hemodynamické pomery plnenia ciev.

Obrázok 16 zobrazuje prípady zo skupiny vyšetrení kvality 5, v konvenčnom zobrazení, vľavo vyšetrenie ženy zaťažené pohybovými artefaktmi a vpravo vyšetrenie muža

Obrázok 16 Prípady vyšetrení zo skupiny kvality 5



Archív Philips IntelliSpace Portal FN Brno

Dôležité je si uvedomiť fakt, že výsledný popis vyšetrenia môže byť ovplyvnený viacerými faktormi, ako sú napríklad vyššie spomenuté pohybové artefakty, hemodynamické pomery pacienta, schopnosť pacienta spolupracovať pri dodržiavaní dychových povelov, stav periférneho riečiska a v neposlednom rade ľudským faktorom (personál).

Tabuľka 6 sumárne zobrazuje jednotlivé počty prípadov, kedy nebolo možné vylúčiť diagnózu pľúcnej embólie.

Tabuľka 6 Počet a percentuálne vyjadrenie diagnózy, kedy nebolo možné jednoznačne vylúčiť PE

	Kvalita 1		Kvalita 2		Kvalita 3		Kvalita 4		Kvalita 5	
	Počet	Počet v %	Počet	Počet v %	Počet	Počet v %	Počet	Počet v %	Počet	Počet v %
<b>Nemožno vylúčiť PE</b>	14	4,64	3	1,96	4	6,35	6	17,14	1	50
<b>Nemožno vylúčiť PE - ženy</b>	8	4,4	2	3,33	0		2	22,22	1	100
<b>Nemožno vylúčiť PE - muži</b>	6	5,17	1	1,08	4	10,26	4	15,39	0	

### Výsledky výpočtov

V práci boli jedny zo sledovaných parametrov denzita pľúcnych tepien a pľúcnych žíl, ktoré slúžili nielen k hodnoteniu kvality vyšetrenia na škále 1-5, ale aj k výpočtom viacerých údajov., ako napríklad kontrastný pomer medzi pľ. tepnami a pľ. žilami.

V celom výskumnom súbore bola priemerná denzita pľúcnych tepien  $254,4 \pm 93,3$  HU. Po spracovaní do virtuálnych monoenergetických (55 keV) obrazov bola zvýšená denzita v priemere na hodnoty  $354,9 \pm 153,7$  HU. V priemere bola denzita tepien zväčšená o 154 HU,

v priemere 1,8-násobne zvýšenie kontrastného zvýraznenia. Pri priemernej denzite pľúcnych žíl  $141,4 \pm 51,5$  HU, bol kontrastný rozdiel medzi pľúcnyimi tepnami a žilami 1,8-násobný.

V tabuľke 7 sú zaznamenané všetky vypočítané hodnoty pre priemernú hodnotu denzít pľúcnych tepien, denzít tepien pri 55 keV monoenergetických obrazoch, denzity pľúcnych žíl, kontrastný pomer medzi pľúcnyimi tepnami a žilami (AVCR), šum obrazu, SNR a CNR zobrazené ako v celom súbore tak pre jednotlivé skupiny kvalít.

Z vypočítaných dát možno vidieť pri skupine vyšetrení kvality 1 bol najväčší kontrastný pomer medzi pľúcnyimi tepnami a žilami, a to viac ako dvojnásobne (2,16). Zároveň aj hodnoty pomerov signálu a kontrastu vzhľadom k šumu obrazu sú najväčšie, a to s hodnotami pre SNR = 18,8 a pre CNR = 15,92. Výsledky len potvrdzujú lepšiu kvalitu obrazu oproti ostatným skupinám kvalít.

Pri skupine vyšetrení kvality 5 výsledky ukazujú vyšší pomer denzít pľúcnych tepien a žíl v porovnaní so skupinami vyšetrení kvality 3 a 4, výsledok je daný nepomerom počtu pacientov v skupinách. Zatiaľ čo v skupine vyšetrení kvality 3 bolo 63 pacientov, v skupine kvality 4 bolo 35 pacientov a v prípade skupiny kvality 5 boli len 2 pacienti (1 muž, 1 žena).

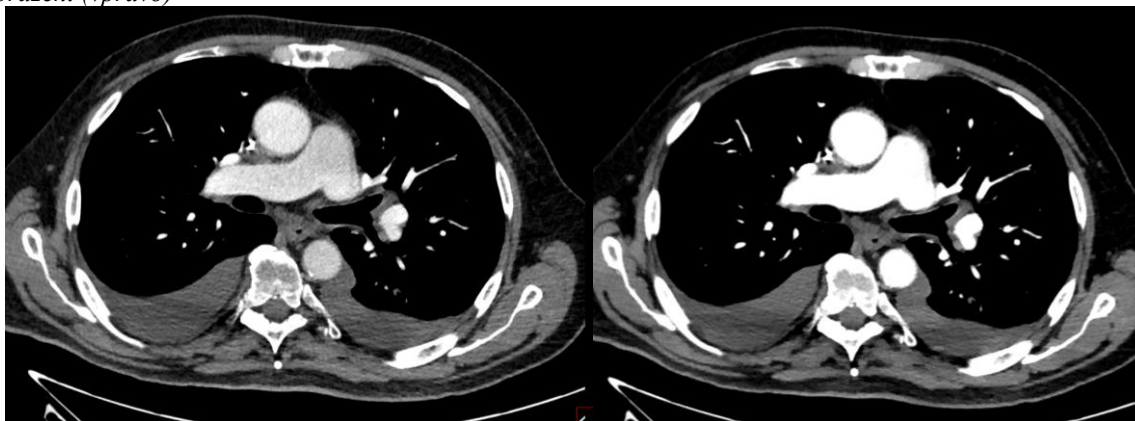
Tabuľka 7 Vypočítané parametre z denzít pre celý výskumný súbor

	Denzita pľ. tepien [HU]	Denzita pľ. tepien monoE 55 keV [HU]	Denzita pľ. žíl [HU]	AVCR	Šum	SNR	CNR
Celkovo	$254,4 \pm 93,3$	$354,9 \pm 153,7$	$141,4 \pm 51,5$	1,80	14,43	18,80	15,92
Kvalita 1	$319,5 \pm 76,8$	$608,8 \pm 76,1$	$144,7 \pm 53,1$	2,16	15,70	21,20	18,65
Kvalita 2	$215,9 \pm 28,9$	$402,6 \pm 68,7$	$123 \pm 31,5$	1,70	13,75	15,43	12,39
Kvalita 3	$179 \pm 58,7$	$379,3 \pm 148,6$	$163,4 \pm 52,1$	1,11	10,15	18,90	14,57
Kvalita 4	$147,3 \pm 47,9$	$228,3 \pm 89,5$	$197,6 \pm 51,3$	0,78	16,85	8,91	6,21
Kvalita 5	$130,5 \pm 48,6$	$132,7 \pm 43,8$	$84,3 \pm 35,2$	1,55	12,30	10,61	6,67

Výsledky po rozdelení podľa pohlavia nevykazovali výrazné odlišnosti vzhľadom k celému výskumnému súboru, ani navzájom medzi pohlaviami. Príloha 6 obsahuje tabuľky daných parametrov vypočítaných pre skupinu žien a skupinu mužov.

Obrázok 17 zobrazuje vyšetrenie kvality 4, pri ktorom denzita pľ. tepien v konvenčnom zobrazení (vľavo) dosahuje hodnotu 165 HU (pľ. žily 270 HU) a v 55 keV monoenergetickom zobrazení (vpravo) denzita pľ. tepien dosahuje hodnotu 330 HU.

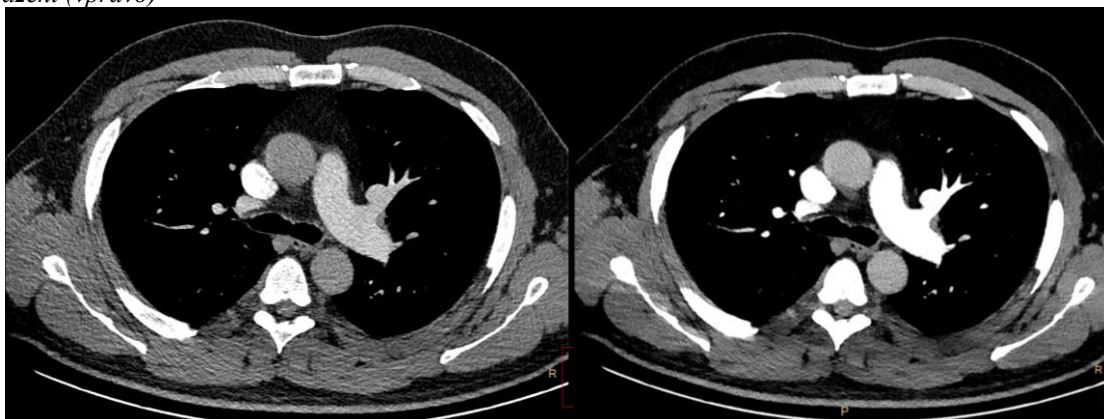
Obrázok 17 Prípád vyšetrenia s kvalitou 4 v konvenčnom zobrazení (vľavo) a v 55 keV monoenergetickom zobrazení (vpravo)



Archív Philips IntelliSpace Portal FN Brno

Obrázok 18 zobrazuje vyšetrenie kvality 3, pri ktorom denzita pľ. tepien v konvenčnom zobrazení (vľavo) dosahuje hodnotu 160 HU (pľ. žily 141 HU) a v 55 keV monoenergetickom zobrazení (vpravo) denzita pľ. tepien dosahuje hodnotu 335 HU.

Obrázok 18 Prípád vyšetrenia s kvalitou 3 v konvenčnom zobrazení (vľavo) a v 55 keV monoenergetickom zobrazení (vpravo)



Archív Philips IntelliSpace Portal FN Brno

## Testovanie hypotéz

### Hypotéza 1

H0<sub>1</sub>: Zníženie objemu kontrastnej látky na 30 ml má negatívny vplyv na kvalitu vyšetrenia.

HA<sub>1</sub>: Zníženie objemu kontrastnej látky na 30 ml nemá negatívny vplyv na kvalitu vyšetrenia.

Test hypotézy 1 bol realizovaný pomocou Kruskal-Wallisovej modifikácie One-way ANOVA testu (parametre testu vid' tabuľka 8). Výsledky sa ukázali ako štatisticky veľmi

vysoko signifikantné, hodnota  $p \leq 0,001$ . Testovaním hypotézy 1 sa zamieta nulová hypotéza a prijíma sa alternatívna hypotéza.

Pre hodnoty objemu kontrastnej látky sa pomocou Spearmanovho korelačného koeficientu preukázal veľmi vysoko signifikantný vzťah, hodnota  $p \leq 0,001$ , s kladnou hodnotou  $r = 0,161$  (parametre testu vid' tabuľka 9), teda čím väčší objem kontrastnej látky je aplikovaný, tým horšia kvalita obrazu (kvalita 1 = najlepšia, kvalita 5 = nehodnotiteľná). Korelačný vzťah je znázornený v grafe 4.

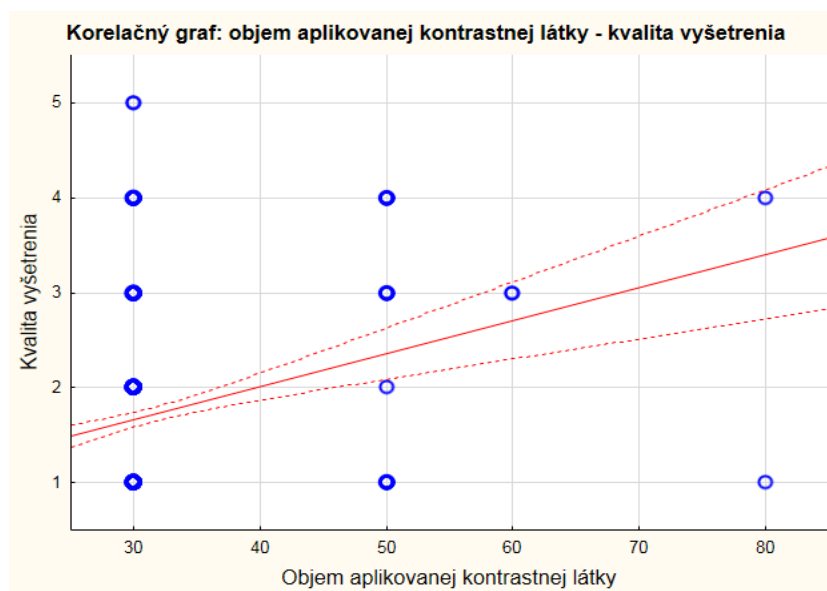
Tabuľka 8 Parametre Kruskal-Wallisovho One-way ANOVA testu pre objem aplikovanej k.l. a kvalitu vyšetrenia

N	k (stupeň voľnosti)	H (testovacie kritérium)	Hodnota p
555	4	46,65	<b>0,0000</b>

Tabuľka 9 Parametre Spearmanovho korelačného koeficientu pre objem aplikovanej k.l. a kvality vyšetrenia

	Počet	Spearman	Hodnota p
Objem k.l. a Kvalita	555	<b>0,161</b>	<b>0,0001</b>

Graf 4 Spearmanov korelačný vzťah medzi objemom aplikovanej k.l. a kvalitou vyšetrenia

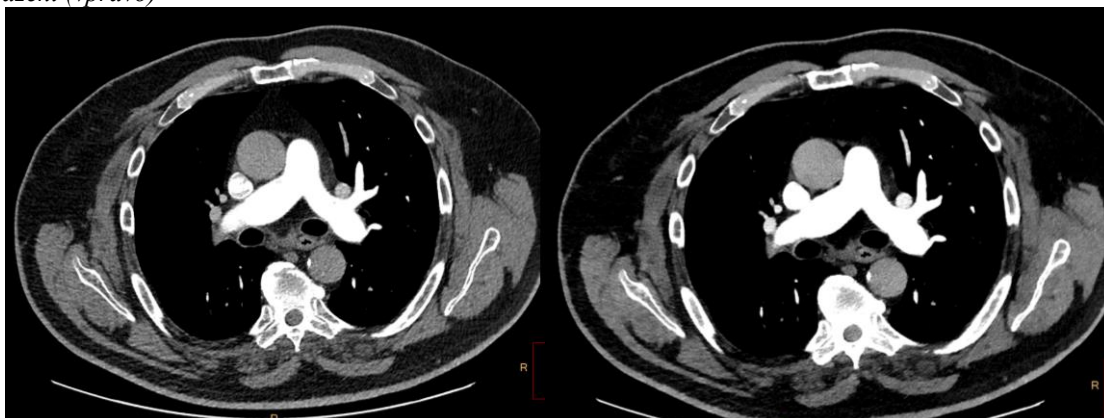


Pri celkovom počte 555 pacientov bol objem 30 ml kontrastnej látky použitý pri 94,5 % vyšetrení. Pri zvyšných vyšetreniach bol použitý objem 50 ml (4,69 %), 60 ml (0,36 %) a 80 ml (0,36%). Tieto vyššie objemy boli použité v 17 prípadoch (3,06 %) opakovania vyšetrenia pre suboptimálnu opacifikáciu pľúcnych tepien pri prvom vyšetrení

a v 13 prípadoch (2,34 %) z dôvodu umiestnenia žilového vstupu na periférnej časti hornej končatiny alebo umiestnenia vo femorálnej žile

Z 525 (94,6 %) vyšetrení s 30 ml objemu kontrastnej látky 291 (55,4 %) spadalo do kvality 1 a 152 (29 %) do kvality 2. Tieto vyšetrenia spolu v počte 443 (84,4 %) sú diagnosticky veľmi dobre hodnotiteľné, a to aj na konvenčnom CT. Spektrálnou analýzou sa dosiahne väčšie zvýraznenie kontrastnej náplne, ale prináša aj možnosti zobrazenia perfúzných obrazov, ktoré zlepšujú diagnostickú výpovednú hodnotu.

*Obrázok 19 Prípád vyšetrenia s kvalitou 1 v konvenčnom zobrazení (vľavo) a v 55 keV monoenergetickom zobrazení (vpravo)*



Archív Philips IntelliSpace Portal FN Brno

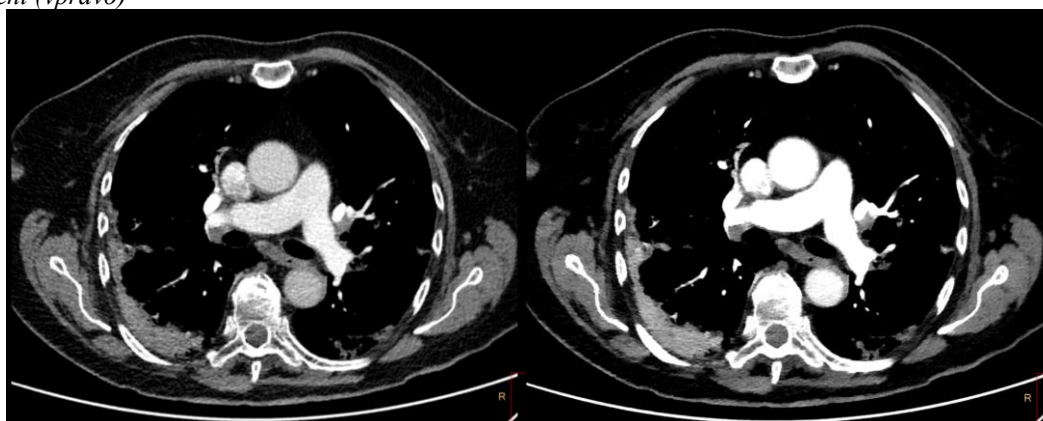
Do kvality 3 bolo zaradených 54 (10,2 %) vyšetrení s objemom 30 ml kontrastnej látky, vyšetrenia sú ťažšie hodnotené. Pri hodnotení vyšetrenia v kvalite 3 je potrebné starostlivo rozlišovať medzi pľúcnyimi tepnami a pľúcnyimi žilami, keďže je v nich už prítomná kontrastná látka a ich denzita je podobná denzite pľúcnych tepien ( $\pm 20$  HU). Táto situácia nastáva pri konvenčnom vyšetrení CTPA s aplikáciou 60 ml kontrastnej látky bežne. Pomocou spektrálnej analýzy (virtuálne monoenergetické obrazy, perfúzne mapy) v týchto prípadoch je možné dosiahnuť lepšieho kontrastného zobrazenia pľúcnych tepien.

Do kvality 4 bolo zaradených 26 (5 %) vyšetrení po podaní objemu 30 ml kontrastnej látky. Do kvality 5 boli zaradené iba 2 vyšetrenia (0,4 %), ktoré po podaní 30 ml kontrastnej látky neboli hodnotiteľné. Je potrebné uviesť, že vyšetrenia boli zaťažené pohybovými artefaktmi. V jednom prípade došlo počas vyšetrenia k poškodeniu integrity žilovej steny počas aplikácie kontrastnej látky. Došlo k paravenóznemu podaniu kontrastnej látky a celý objem sa nedostal do pľúcneho tepenného riečiska.

Obrázok 20 zobrazuje vyšetrenie kvality 4 v konvenčnom zobrazení (vľavo) a v 55 keV monoenergetickom zobrazení (vpravo)



Obrázok 20 Prípád vyšetrenia kvality 4 v konvenčnom zobrazení (vľavo) a v 55 keV monoenergetickom zobrazení (vpravo)



Archív Philips IntelliSpace Portal FN Brno

Tabuľka 10 zobrazuje jednotlivé počty a percentuálne zastúpenie z celkového počtu výskumného súboru pacientov v jednotlivých skupinách kvalít podľa objemu aplikovanej kontrastnej látky.

Tabuľka 10 Počty a percentuálne vyjadrenie objemu aplikovanej k.l. pre celý výskumný súbor

Objem kontrastnej látky								
	30 ml - počet	30 ml - počet v %	50 ml - počet	50 ml - počet v %	60 ml - počet	60 ml - počet v %	80 ml - počet	80 ml - počet v %
Celkovo	525	94,6	26	4,7	2	0,4	2	0,4
Kvalita 1	291	55,4	10	38,4			1	50
Kvalita 2	152	29	1	3,9				
Kvalita 3	54	10,2	7	27	2	100		
Kvalita 4	26	5	8	30,7			1	50
Kvalita 5	2	0,4						

V súbore žien bola kontrastná látka v objeme 30 ml aplikovaná v 265 (47,75 %, resp. 96,01 % zo žien) prípadoch. Z 265 pacientiek bolo 176 (31,7 %, resp. 63,77 % zo žien) prípadov zaradených do skupiny kvality 1 a 60 (10,8 %, resp. 21,74 % zo žien) prípadov do skupiny kvality 2. Tieto vyšetrenia spolu v počte 236 (42,52 %, resp. 85,51 % zo žien) sú diagnosticky veľmi dobre hodnotiteľné.

V súbore mužov bola kontrastná látka v objeme 30 ml aplikovaná v 260 (46,85 %, resp. 93,19 % z mužov) prípadoch. Z 260 pacientov bolo 115 (20,72 %, resp. 41,22 % z mužov) prípadov zaradených do skupiny kvality 1 a 92 (16,58 %, resp. 32,98 % z mužov) prípadov

do skupiny kvality 2. Tieto vyšetrenia spolu v počte 207 (37,3 %, resp. 74,19 % z mužov) sú diagnosticky veľmi dobre hodnotiteľné.

Vyšetrenia s objem 30 ml kontrastnej látky po rozdelení podľa pohlaví, vo väčšom počte prípadov vykazujú lepšiu kvalitu u žien ako u mužov. Príloha 7 obsahuje tabuľky zastúpenia pohlaví v jednotlivých skupinách kvalít vyšetrenia podľa objemu aplikovanej kontrastnej látky.

Výsledky štatistického spracovania a analyzovania dát o objeme aplikovanej kontrastnej látky vedú k záveru, že objem kontrastnej látky nemá negatívny vplyv na kvalitu. Z testov korelačných vzťahov vychádza veľmi slabý pozitívny vzťah, ktorý je štatisticky veľmi vysoko signifikantný. Z praktického hľadiska rozdiely medzi jednotlivými skupinami kvalít vyšetrenia neboli významné. Z výsledkov možno tvrdiť, že zníženie objemu kontrastnej látky nemá vplyv na kvalitu vyšetrenia, ani v jednom smere.

### Hypotéza 2

H0<sub>2</sub>: Pri starších pacientoch bude kvalita vyšetrenia rovnaká ako pri mladších pacientoch.

HA<sub>2</sub>: Pri starších pacientoch bude kvalita vyšetrenia rozdielna ako pri mladších pacientoch.

Test hypotézy 2 bol realizovaný pomocou Kruskal-Wallisovej modifikácie One-Way ANOVA testu (parametre testu vid' tabuľka 11). Výsledky sa ukázali ako veľmi vysoko signifikantné, hodnota  $p \leq 0,001$ . Testovanie hypotézy 2 sa zamieta nulová hypotéza a prijíma sa alternatívna hypotéza.

Pre hodnoty veku sa pomocou Spearmanovho korelačného koeficientu preukázal veľmi vysoko signifikantný vzťah, hodnota  $p \leq 0,001$ , so zápornou hodnotou  $r = -0,292$ , (parametre testu vid' tabuľka 12) teda čím vyšší vek, tým kvalitnejší obraz (kvalita 1 = najlepšia, kvalita 5 = nehodnotiteľné). So stúpajúcim vekom pacientov sa zlepšuje kvalita vyšetrenia. Korelačný vzťah zobrazuje graf 5.

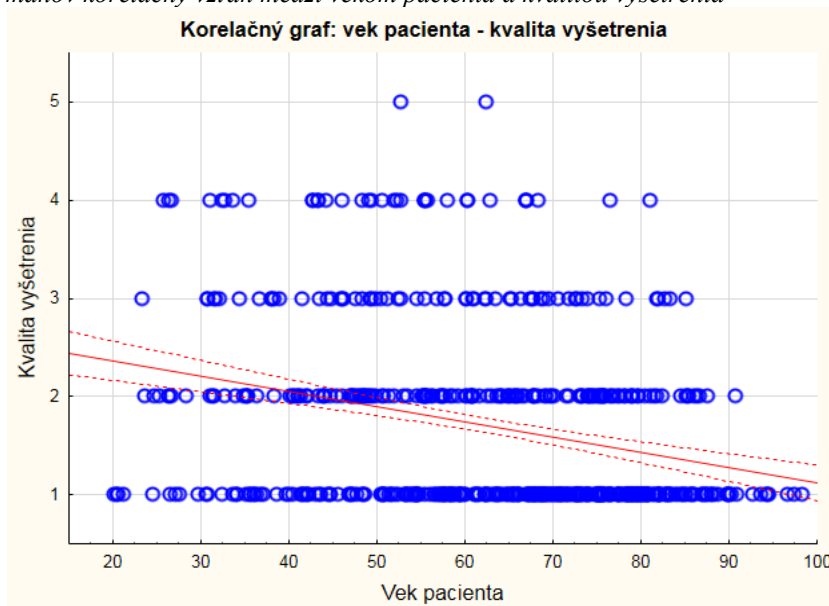
Tabuľka 11 Parametre Kruskal-Wallisovho One-way ANOVA testu pre vek pacienta a kvalitu vyšetrenia

N	k (stupeň voľnosti)	H (testovacie kritérium)	Hodnota p
555	4	49,52	<b>0,0000</b>

Tabuľka 12 Parametre Spearmanovho korelačného koeficientu pre vek pacienta a kvalitu vyšetrenia

	Počet	Spearman	Hodnota p
Vek & Kvalita	555	<b>-0,292</b>	<b>0,0000</b>

Graf 5 Spearmanov korelačný vzťah medzi vekom pacienta a kvalitou vyšetrenia



V celom výskumnom súbore bola stredná hodnota veku  $65 \pm 16,88$  rokov. Rozsah veku vo výskumnom súbore bol 20-98 rokov. V skupine vyšetrení s kvalitou 1 stredná hodnota veku pacientov bola  $69,3 \pm 16,4$  rokov. Stredná hodnota a priemer veku v kvalite 1 má najvyššiu hodnotu v porovnaní s ostatnými skupinami kvalít. Tabuľka 13 zobrazuje aritmetický priemer, strednú hodnotu (medián), smerodajnú odchýlku veku, najčastejšiu hodnotu v skupine (modus), počet a percentuálne zastúpenie pacientov v skupine.

Tabuľka 13 Deskriptívna štatistika veku pre celý výskumný súbor

VEK							
	Aritmetický priemer	Medián	Smerodajná odchýlka	Modus	Rozsah	Počet	Počet v %
Celkovo	62,33	65	16,88	55,5	20,1-98,3	555	100
Kvalita 1	66,32	69,3	16,4	72,8	20,1-98,3	302	54,4
Kvalita 2	59,68	60,7	16,4	67,9	23,6-90,7	153	27,6
Kvalita 3	56,63	57,7	15,8	30,7	23,3-85,1	63	11,4
Kvalita 4	50,05	50,6	14,2	67	25,8-81,1	35	6,3
Kvalita 5	57,6	57,6	6,8		52,8-62,4	2	0,4

V súbore žien bola stredná hodnota veku  $67,8 \pm 17,6$  rokov. Najvyššia stredná hodnota veku medzi ženami bola v skupine kvality 1 a to  $70,5 \pm 17,2$  rokov. V súbore mužov bola stredná hodnota veku  $61,6 \pm 16$  rokov. Najvyššia stredná hodnota veku medzi mužmi bola v

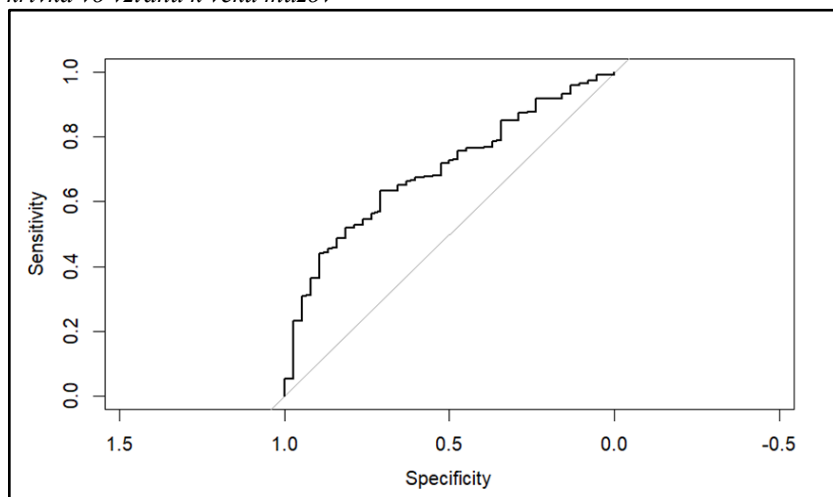
skupine kvality 1 a to  $68,5 \pm 15,3$  rokov. Výsledky po rozdelení podľa pohlavia nevykazovali výrazné odlišnosti vzhľadom k celému výskumnému súboru, ani navzájom medzi pohlaviami. Príloha 8 obsahuje tabuľky daných parametrov vypočítaných pre skupinu žien a skupinu mužov.

V rozdelení vyšetrení podľa kvality či už v celom súbore alebo v skupine pohlavia možno pozorovať klesajúcu tendenciu priemernej hodnoty a strednej hodnoty veku so zhoršujúcou sa kvalitou vyšetrenia.

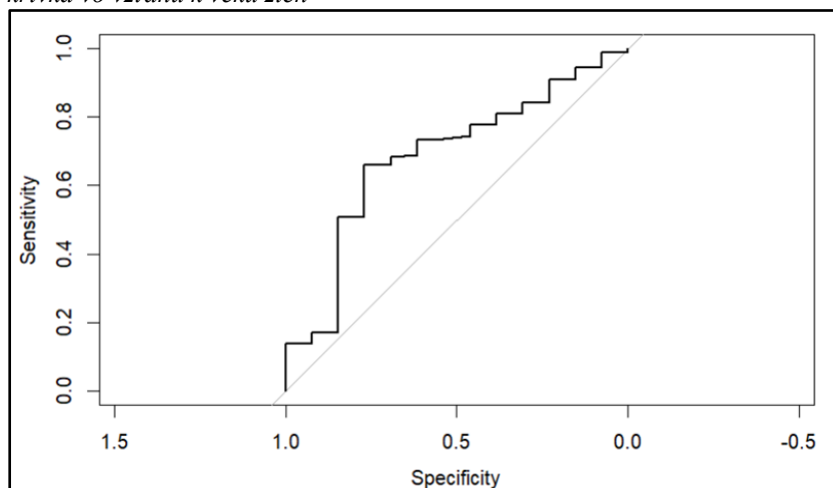
Štatistickým spracovaním a analyzovaním dát o veku pacientov sa ukazuje, že vek pacienta má vplyv na kvalitu vyšetrenia. Z korelačných testov tento vzťah nadobúda negatívny vzťah, so zvyšujúcim sa vekom je vyšetrenie kvalitnejšie.

Bola vykonaná ROC analýza pre zhodnotenie špecificity a senzitivity vyšetrenia kvality 1 a 2 (veľmi dobrá kvalita aj pre konvenčné zobrazenie) vo vzťahu k veku pacienta z celého výskumného súboru po aplikácii 30 ml k.l. Z výsledných dát vyplýva, že cut-off hodnota (hraničná hodnota) pre špecificitu 95 % a vyššiu (viac ako 95 % vyšetrení nad danú hodnotu má kvalitu 1 alebo 2) je pre mužov vek nad 76 rokov a pre ženy vek nad 83 rokov. Pri danej hodnote je senzitivita v úrovni 14-23%. Zobrazenie ROC kriviek pre pohlavia sú znázornené v grafe 6 pre mužov a 7 pre ženy.

Graf 6 ROC krivka vo vzťahu k veku mužov



Graf 7 ROC krivka vo vzťahu k veku žien



### Hypotéza 3

H0<sub>3</sub>: Pri vyššom kardiotorakálnom indexe bude kvalita vyšetrenia rovnaká ako pri nižšom kardiotorakálnom indexe.

HA<sub>3</sub>: Pri vyššom kardiotorakálnom indexe bude kvalita vyšetrenia rozdielna ako pri nižšom kardiotorakálnom indexe.

Test hypotézy 3 bol realizovaný pomocou One-way ANOVA testu, (parametre testu vid' tabuľka 14) Výsledky sa ukázali ako veľmi vysoko signifikantné, hodnota  $p \leq 0,001$ . Testovaním hypotézy 3 sa zamietá nulová hypotéza a prijíma sa alternatívna hypotéza.

Pre hodnoty kardiotorakálneho indexu (KTI) sa pomocou Pearsnovho korelačného koeficientu preukázal vysoko signifikantný vzťah, hodnota  $p \leq 0,01$ , so zápornou hodnotou  $r = -0,126$ , (parametre testu vid' tabuľka 15), teda čím vyšší KTI, tým kvalitnejší obraz (kvalita 1 = najlepšia, kvalita 5 = nehodnotiteľné). So zväčšujúcim sa KTI, teda čím väčší je pomer medzi šírkou srdcového tieňa a vnútornej šírky hrudníka, tým sa zlepšuje kvalita vyšetrenia. Korelačný vzťah je zobrazený v grafe 8.

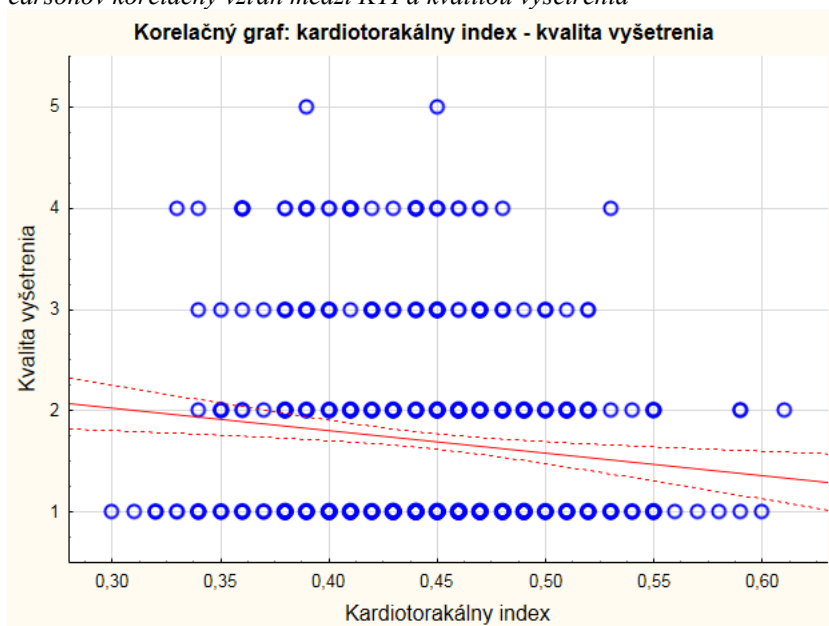
Tabuľka 14 Parametre One-way ANOVA testu pre KTI a kvalitu vyšetrenia

N	k (stupeň voľnosti)	F (testovacie kritérium)	Hodnota p
555	4	4,69	<b>0,0010</b>

Tabuľka 15 Parametre Pearsonovho korelačného koeficientu pre KTI a kvalitu vyšetrenia

	Pearson	Hodnota p	Počet
KTI & Kvalita	<b>-0,126</b>	<b>0,0029</b>	555

Graf 8 Pearsonov korelačný vzťah medzi KTI a kvalitou vyšetrenia



V celom výskumnom súbore bola stredná hodnota KTI  $0,45 \pm 0,05$ . Rozsah KTI vo výskumnom súbore bol 0,3-0,61. V tabuľke 16 sú zobrazené hodnoty pre kardiotorakálny index.

Tabuľka 16 Deskriptívna štatistika kardiotorakálneho indexu pre celý výskumný súbor

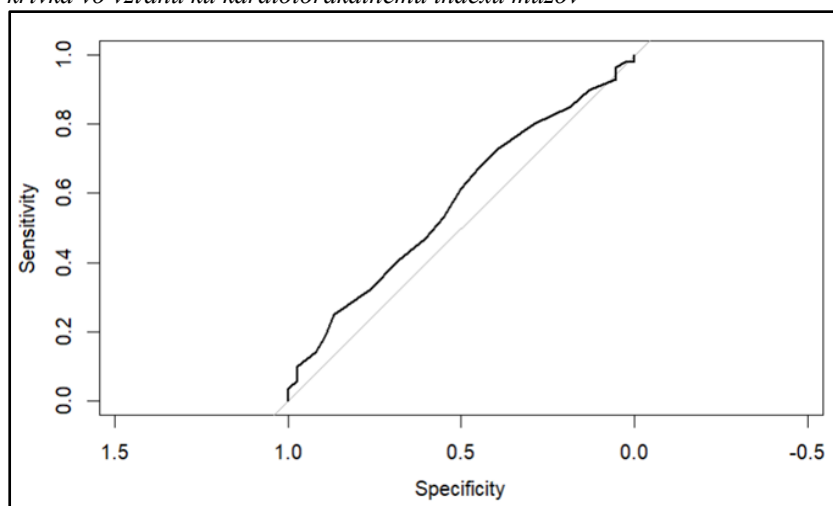
Kardiotorakálny index							
	Aritmetický priemer	Medián	Smerodajná odchýlka	Modus	Rozsah	Počet	Počet v %
Celkovo	0,45	0,45	0,05	0,46	0,3-0,61	555	100
Kvalita 1	0,45	0,45	0,06	0,46	0,3-0,6	302	54,4
Kvalita 2	0,45	0,46	0,05	0,46	0,34-0,61	153	27,6
Kvalita 3	0,43	0,44	0,04	0,47	0,34-0,52	63	11,3
Kvalita 4	0,41	0,41	0,04	0,44	0,33-0,53	35	6,3
Kvalita 5	0,42	0,42	0,04	0,41	0,39-0,45	2	0,4

V skupine žien bola priemerná hodnota KTI  $0,45 \pm 0,05$ . V skupine mužov bola priemerná hodnota KTI  $0,44 \pm 0,05$ . Výsledky kardiotorakálneho indexu po rozdelení podľa pohlavia nevykazovali výrazné odlišnosti vzhľadom k celému výskumnému súboru, ani navzájom medzi pohlaviami. Príloha 9 obsahuje tabuľky daných parametrov vypočítaných pre skupinu žien a skupinu mužov.

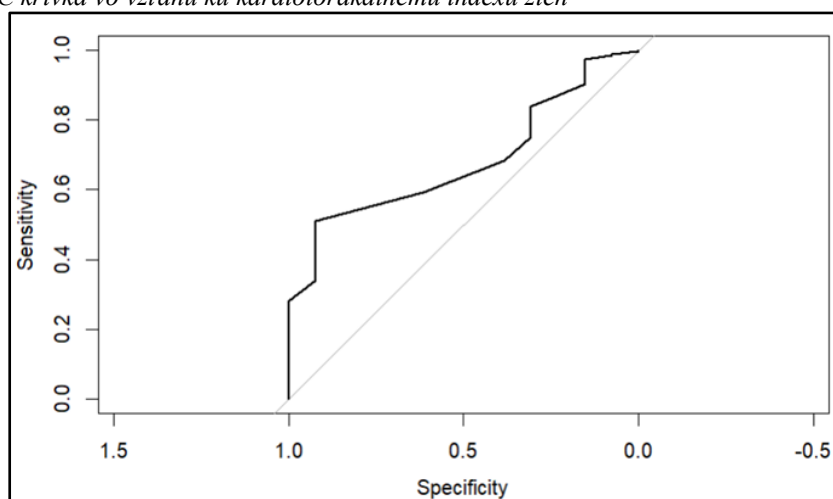
Štatistickým spracovaním a analyzovaním dát o kardiorakálnom indexe pacientov sa ukazuje, že hodnota KTI má vplyv na kvalitu vyšetrenia. Z korelačných testov tento vzťah nadobúda negatívny vzťah, so zväčšujúcim sa KTI je vyšetrenie kvalitnejšie.

Bola vykonaná ROC analýza pre zhodnotenie špecificity a senzitivity vyšetrenia kvality 1 a 2 (veľmi dobrá kvalita aj pre konvenčné zobrazenie) vo vzťahu ku kardiorakálnemu indexu pacienta z celého výskumného súboru pacientov po aplikácii 30 ml k.l.. Z výsledných dát vyplýva, že cut-off hodnota (hraničná hodnota) pre špecificitu 95% a vyššiu (viac ako 95 % vyšetrení nad danú hodnotu má kvalitu 1 alebo 2) je pre KTI mužov nad 0,5 a pre KTI ženy nad 0,48. Pri danej hodnote je senzitivita v úrovni 10-28 %. Zobrazenie ROC kriviek pre pohlavia sú znázornené v grafe 9 pre mužov a 10 pre ženy.

*Graf 9 ROC krivka vo vzťahu ku kardiorakálnemu indexu mužov*



*Graf 10 ROC krivka vo vzťahu ku kardiorakálnemu indexu žien*



#### **Hypotéza 4**

H0<sub>4</sub>: Pri pacientoch s malou hrúbkou tuku nad sternom bude kvalita vyšetrenia rovnaká ako pri pacientov s väčšou hrúbkou tuku nad sternom.

H4: Pri pacientoch s malou hrúbkou tuku nad sternom bude kvalita vyšetrenia rozdielna ako u pacientov s väčšou hrúbkou tuku nad sternom.

Test hypotézy 4 realizovaný pomocou Kruskal-Wallisovej modifikácie One-way ANOVA testu, (parametre testu vid' tabuľka 17). Výsledky sa ukázali ako štatisticky nesignifikantné, hodnota  $p = 0,141$ . Testovaním hypotézy 4 sa prijíma nulová hypotéza a alternatívna hypotéza sa zamietá.

Tabuľka 17 Parametre Kruskal-Wallisovho One-way ANOVA testu pre hrúbku tuku nad sternom a kvalitou vyšetrenia

N	k (stupeň voľnosti)	H (testovacie kritérium)	Hodnota p
555	4	6,89	0,1419

V celom výskumnom súbore bola priemerná hodnota tuku nad sternom na úrovni bifurkácie hlavnej pľúcnej tepny 1,62 cm. Pri rozdelení vyšetrení podľa kvalít sa priemerné hodnoty medzi sebou výrazne nelíšili. V tabuľke 18 sú zobrazené hodnoty pre hrúbku tuku nad sternom.

Tabuľka 18 Deskriptívna štatistika hrúbky tuku nad sternom pre celý výskumný súbor

<b>Hrúbka tuku nad sternom</b>							
	Aritmetický priemer	Medián	Smerodajná odchýlka	Modus	Rozsah	Počet	Počet v %
Celkovo	1,62	1,4	0,88	1,3	0,1-5,5	555	100
Kvalita 1	1,56	1,4	0,9	1,2	0,1-5,5	302	54,4
Kvalita 2	1,75	1,7	0,85	1,4	0,3-4	153	27,6
Kvalita 3	1,6	1,4	0,86	1,3	0,4-4,4	63	11,3
Kvalita 4	1,55	1,5	0,78	1,6	0,2-3,2	35	6,3
Kvalita 5	1,4	1,4		1,4		2	0,4

Výsledky hrúbky tuku nad sternom po rozdelení podľa pohlavia nevykazovali výrazné odlišnosti vzhľadom k celému výskumnému súbore, ani navzájom medzi pohlaviami. Príloha 10 obsahuje tabuľky daných parametrov hrúbky tuku nad sternom vypočítaných pre skupinu žien a skupinu mužov. Príloha 10 obsahuje tabuľky daných parametrov vypočítaných pre skupinu žien a skupinu mužov.

Štatistickým spracovaním dát o hrúbke tuku nad sternom sa potvrdila nulová hypotéza, teda hrúbka tuku nemá vplyv na kvalitu vyšetrenia.



Prevedením ROC analýzy pre hodnotenie špecificity a senzitivity vyšetrenia pre kvality 1 a 2 vo vzťahu k hrúbke tuku nad sternom, výsledky neprinesli významnú stratifikáciu medzi veľmi kvalitnými vyšetreniami a nekvalitnými vyšetreniami.

### Hypotéza 5

HO<sub>5</sub>: Hodnota BMI pacientov nemá vplyv na kvalitu vyšetrenia.

HA<sub>5</sub>: Hodnota BMI pacientov má vplyv na kvalitu vyšetrenia.

Test hypotézy 5 realizovaný pomocou Kruskal-Wallisovej modifikácie One-way ANOVA testu (parametre testu vid' tabuľka 19). Výsledky sa ukázali ako veľmi vysoko signifikantné, hodnota  $p \leq 0,001$ . Testovaním hypotézy 5 sa zamietá nulové hypotéza a prijíma sa alternatívna hypotéza.

Pre hodnoty indexu telesnej hmotnosti (BMI) sa pomocou Spearmanovho korelačného koeficientu preukázal veľmi vysoko signifikantný vzťah, hodnota  $p \leq 0,001$ , s kladnou hodnotou  $r = 0,192$ , (parametre testu vid' tabuľka 20), teda čím vyššia hodnota BMI, tým menej kvalitný obraz (kvalita 1 = najlepšia, kvalita 5 = nehodnotiteľné). So zvyšujúcim sa stupňom obezity sa zhoršuje kvalita obrazu. Korelačný vzťah je zobrazený v grafe 11.

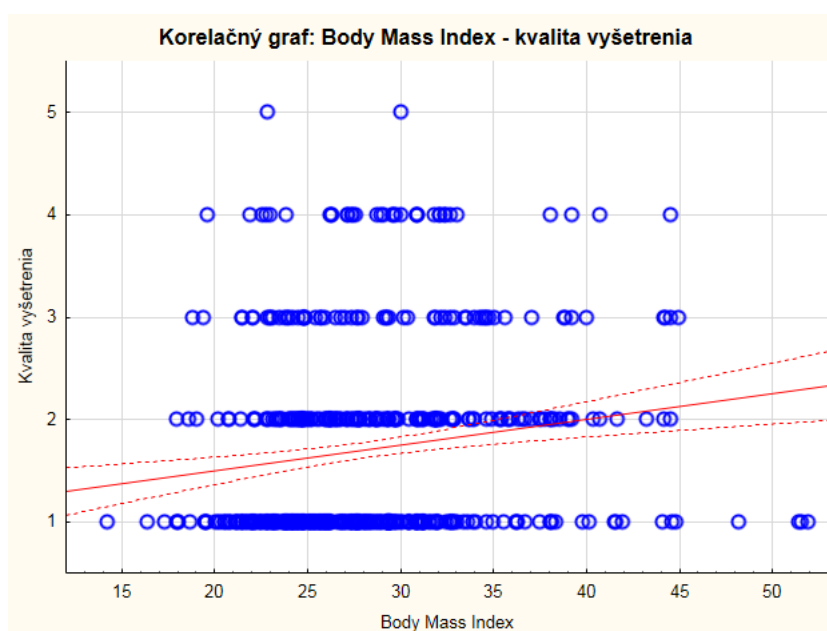
Tabuľka 19 Parametre Kruskal-Wallisovho One-way ANOVA testu pre BMI pacienta a kvalitu vyšetrenia

N	k (stupeň voľnosti)	H (testovacie kritérium)	Hodnota p
555	4	23,11	<b>0,0001</b>

Tabuľka 20 Parametre Spearmanovho korelačného koeficientu pre BMI pacienta a kvalitu vyšetrenia

	Počet	Spearman	Hodnota p
BMI-Kvalita	555	<b>0,192</b>	<b>0,0000</b>

Graf 11 Spearmanov korelačný vzťah medzi BMI a kvalitou vyšetrenia



V celom výskumnom súbore bola priemerná hodnota BMI 28,3. Po rozdelení vyšetrení podľa kvalít sa priemerné hodnoty v skupinách významne nelíšili. V skupine kvality 5 je priemerná hodnota nižšia v porovnaní inými skupinami, ale v tejto skupine bola malá vzorka pacientov. Tabuľka 21 zobrazuje parametre pre index telesnej hmotnosti.

Tabuľka 21 Deskriptívna štatistika BMI pre celý výskumný súbor

BMI							
	Aritmetický priemer	Medián	Smerodajná odchýlka	Modus	Rozsah	Počet	Počet v %
Celkovo	28,3	27,4	5,7	24,2	14,2-51,9	555	100
Kvalita 1	27,3	26,2	5,5	23,9	14,2-51,9	302	54,4
Kvalita 2	29,3	28,3	5,5	24,7	17,9-44,5	153	27,6
Kvalita 3	29,6	27,9	6,5	22	18,8-44,9	63	11,3
Kvalita 4	29,6	29,6	5,3	30,9	19,6-44,5	35	6,3
Kvalita 5	26,5	26,5	5,1		22,9-30	2	0,4

Výsledky BMI po rozdelení podľa pohlavia nevykazovali výrazné odlišnosti vzhľadom k celému výskumnému súboru, ani navzájom medzi pohlaviami. Príloha 11 obsahuje tabuľky daných parametrov BMI vypočítaných pre skupinu žien a skupinu mužov.

Výsledky štatistického spracovania a analyzovania dát o indexe telesnej hmotnosti pacienta vedú k záveru, že hodnota BMI má vplyv na kvalitu. Z korelačných testov vychádza

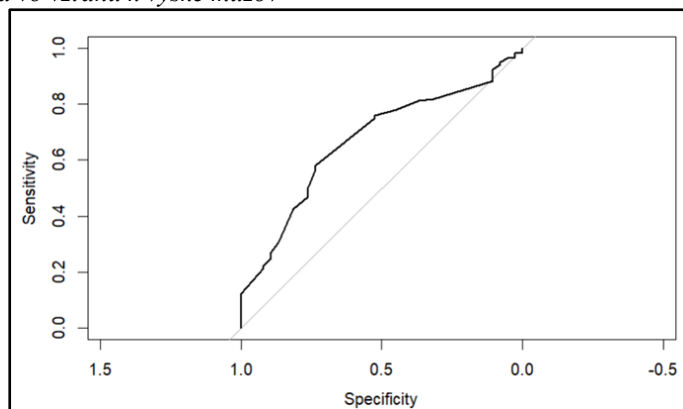
veľmi slabý pozitívny vzťah. Z praktického hľadiska rozdiely medzi jednotlivými skupinami kvalít vyšetrenia neboli významné.

Prevedením ROC analýzy pre hodnotenie špecificity a senzitivity vyšetrenia pre kvality 1 a 2 vo vzťahu k indexu telesnej hmotnosti (BMI), výsledky nepriniesli významnú stratifikáciu medzi veľmi kvalitnými vyšetreniami a nekvalitnými vyšetreniami.

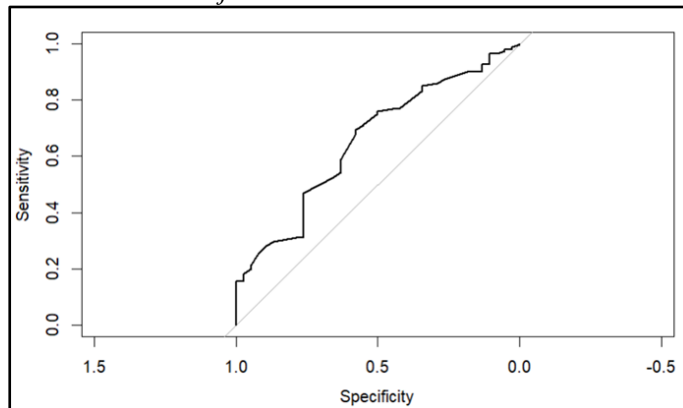
Bola vykonaná ROC analýza pre zhodnotenie špecificity a senzitivity vyšetrenia kvality 1 a 2 vo vzťahu k výške a váhe pacienta z celého súboru pacientov po aplikácii 30 ml k.l.. Z výsledných dát vyplýva, že cut-off hodnota, pre špecificitu 95% a vyššiu, je pre mužov výška pod 171 cm a váha pod 73 kg. Pri danej hodnote je senzitivita v úrovni 12-20 %. Zobrazenie ROC kriviek pre výšku mužov znázorňuje graf 12, pre váhu mužov graf 13.

Hraničná hodnota, pre špecificitu 95 % a vyššiu, je pre ženy váha pod 70 kg. Pri danej hodnote je senzitivita v úrovni 32 %. V prípade ROC analýzy pre hodnotenie špecificity a senzitivity vo vzťahu k výške žien, výsledky nepriniesli významnú stratifikáciu medzi veľmi kvalitnými vyšetreniami a nekvalitnými vyšetreniami. Zobrazenie ROC kriviek pre váhu žien znázorňuje graf 14.

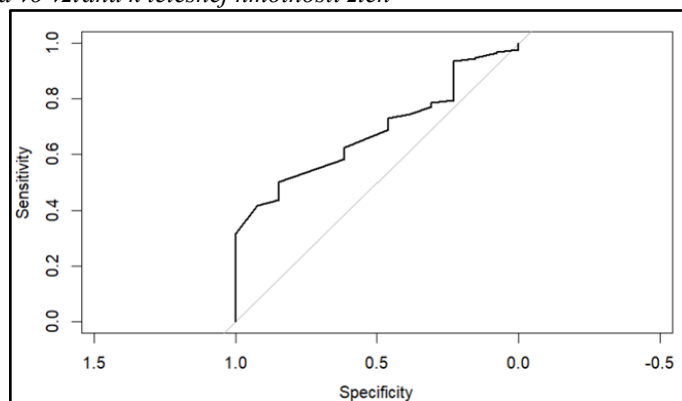
*Graf 12 ROC krivka vo vzťahu k výške mužov*



*Graf 13 ROC krivka vo vzťahu k telesnej hmotnosti mužov*



Graf 14 ROC krivka vo vzťahu k telesnej hmotnosti žien



## Doplnkové výsledky

Vzhľadom na výsledky spracovania dát o objeme kontrastnej látky, ktoré ukazovali vyššiu incidenciu kvalitnejšieho vyšetrenia u žien ako u mužov. Rozhodla som sa do práce vložiť spracovanie dát vplyvu pohlavia na kvalitu vyšetrenia. Pri stanovení hypotéz,  $H_0$ : pohlavie nemá vplyv na kvalitu vyšetrenia a  $H_A$ : pohlavie má vplyv na kvalitu vyšetrenia. Jarque-Berovým testom nebola potvrdená normalita distribúcie dát. Testovanie hypotézy bolo realizované pomocou Kruskal-Wallisovej modifikácie One-Way ANOVA testu, (parametre testu vid' tabuľka 22). Výsledky sa ukázali ako veľmi vysoko signifikantné, hodnota  $p \leq 0,001$ .

Pre dáta o pohlaví sa pomocou Spearmanovho korelačného koeficientu preukázal veľmi vysoko signifikantný vzťah, hodnota  $p \leq 0,001$ , so zápornou hodnotou  $r = -0,233$ , (parametre testu vid' tabuľka 23). Pri vyšetreniach žien je kvalitnejší obraz ako pri vyšetrení mužov. Korelačný vzťah zobrazuje graf 15.

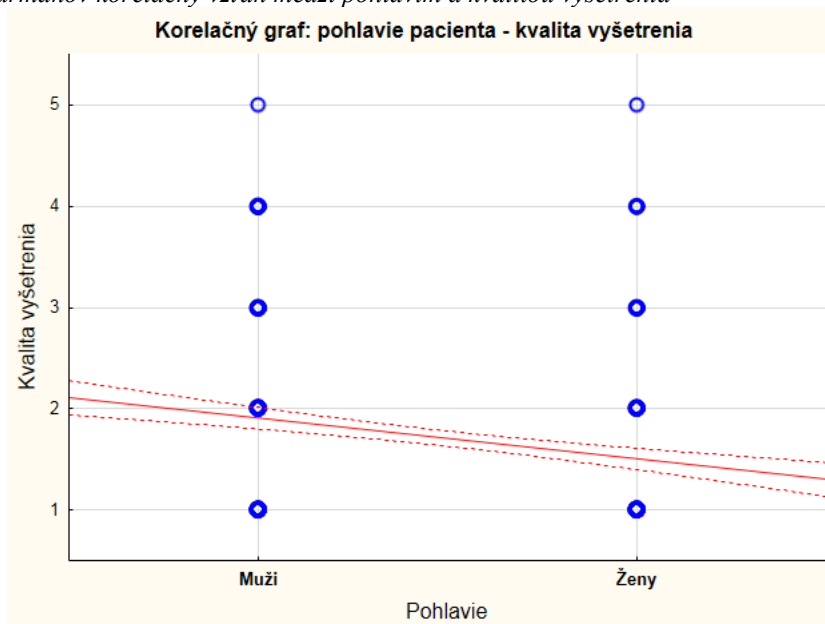
Tabuľka 22 Parametre Kruskal-Wallisovho One-way ANOVA testu pre pohlavie a kvalitu vyšetrenia

N	k (stupeň voľnosti)	H (testovacie kritérium)	Hodnota p
555	4	31,60	<b>0,0000</b>

Tabuľka 23 Parametre Spearmanovho korelačného koeficientu pre pohlavie a kvalitu vyšetrenia

	Počet	Spearman	Hodnota p
Pohlavie-Kvalita	555	<b>-0,233</b>	<b>0,0000</b>

Graf 15 Spearmanov korelačný vzťah medzi pohlavím a kvalitou vyšetrenia



Zo štatistického spracovania údajov výsledky ukazujú, že u žien je kvalita vyšetrení lepšia ako u mužov, čo nasvedčuje aj porovnanie hodnôt v tabuľkách 26 a 27, kde pri najlepšej kvalite vyšetrenia (kvalita 1) prevažuje počet žien (60,3 %) nad počtom mužov (39,7 %) a pri ďalších kvalitách vyšetrenia, ktoré sú horšie prevažuje počet mužov nad počtom žien.

## 6. DISKUSIA

Klinické hodnotenie a laboratórne testy sú nevyhnutné pri vyšetrowaní pacienta s podozrením pľúcnej embólie a pri stratifikácii jeho rizika. Avšak presná diagnóza pľúcnej embólie sa opiera o rádiologické zobrazenie embolu ako mechanickej prekážky prietoku kontrastnej náplne pri vyšetrení na CT angiografii alebo detekcii perfúzných zmien na scintigrafii pľúc.

Ako je uvedené v teoretickej časti, CT angiografia pľúcnych tepien je diagnostická metóda pre odhalenie pľúcnej embólie, ktorá ohrozuje životy ľudí. Ide o neinvazívne vyšetrenie, pri ktorom je cez katéter žilového vstupu do tela pacienta aplikovaná jódová kontrastná látka pomocou automatického injekčného dávkovača. Pre túto štúdiu sme sa viac zaoberali špecifickým typom výpočtovej tomografie a špecifickým vyšetrovacím protokolom.

Štúdií týkajúcich sa CT angiografie pľúcnych tepien zameranej na detekciu pľúcnej embólie je publikovaných pomerne veľké množstvo. Avšak každá je niečím iná. Každá inštitúcia, nemocnica či už v Českej republike alebo aj v nemocniciach vo svete používa špecifický vyšetrovací protokol, v závislosti od výrobcu a typu prístroja, od množstva jódovej kontrastnej látky, v neposlednom rade v závislosti od koncentrovanosti kontrastnej látky. Protokoly sa líšia hlavne čo sa týka množstva použitej kontrastnej látky, koncentrácie použitej kontrastnej látky, metódu automatického začiatku akvizície (techniky test bolus a bolus tracking), metód získavania monoenergetického obrazu pri dual-energy CT a zvýraznenia kontrastnej náplne pre diagnostiku pľúcnej embólie.

Vyšetrenia z tejto práce boli vykonané na spektrálnom CT, konkrétne na prístroji IQon Spectral CT od spoločnosti Philips Healthcare. Prístroj má jeden zdroj vysokého napätia a detektory vo dvoch vrstvách, ktoré zachytávajú 2 súbory dát, obsahujúce 2 energetické spektrá s rozdielnou maximálnou energiou. Tieto dáta sú ďalej spracované postprocesingovými algoritmami, ktorými sú vytvárané diagnostické rezy, poskytujúce ľahko čitateľné klinicky relevantné informácie. Z postprocesingového spracovania sú najčastejšie využívané funkcie virtuálnych monoenergetických máp, mapy jódovej distribúcie pre zobrazenie rozloženia perfúzie a prepočty pre zobrazenie pľúcneho parenchýmu vo vysokom rozlíšení (HRCT). Najväčšou výhodou spektrálneho typu dual-energy CT je, že spektrálne dáta sú dostupné pri každom vyšetrení. Pred zahájením vyšetrenia nie je potrebné rozhodnutie či použiť alebo nepoužiť dual-energy mód.

Pred začiatkom zberu dát (od 1.11.2021) bolo prospektívne zavedenie zaznamenávanie umiestnenia a veľkosti kanyly žilového vstupu. Snaha bola získať dáta k hodnoteniu vplyvu

umiestnenia kanyly a veľkosti jej priemeru na kvalitu vyšetrenia. Lokalizácia a veľkosť kanyly majú priamy vplyv na spôsob aplikácie kontrastnej látky, pri menších žilách (voľba menšieho priemeru kanyly) na periférii musí byť prispôbená rýchlosť aplikácie kontrastnej látky, aby nedošlo k poškodeniu integrity cievnej steny. Avšak pri veľkej variácii pracovníkov a vyťaženej prevádzke pracoviska nebol zaznamenaný dostatočný počet dát k ich relevantnému spracovaniu.

Hlavným cieľom bolo zhodnotenie kvality CTPA vyšetrení na spektrálnom CT, pri ktorých bol aplikovaný objem 30 ml kontrastnej látky. Pre hodnotenie bola zvolená 5-stupňová škála, ktorá bola použitá v predchádzajúcich odborných štúdiách zameraných na rovnakú problematiku. (Kosmala et al. 2020, s. 2053) Kvalita bola hodnotená na základe denzity pľúcnych tepien a pľúcnych žíl a rozdielu medzi nimi. Neexistuje všeobecná zhoda v stanovení minimálnej hodnoty denzity pre optimálne kontrastné zvýraznenie ciev. Autori v predchádzajúcich štúdiách uvádzali hodnoty napr. 180 HU, 200 HU, ale aj 300 HU. (Meyer et al. 2018, s. 7; Saade et al. 2013, s. 3206; Roggenland et al. 2008, s. 354; Schoellanst et al. 2006, s. 1077)

V tejto práci bola zvolená hranica pre optimálnu opacifikáciu pľúcnych tepien na 250 HU, v odborných štúdiách bola táto hodnota stanovená pre excelentnú kvalitu. (Kim et al. 2017, s. 1; Goble a Abdulkarim 2014, s. 37) Druhá prahová hodnota bola stanovená na 150 HU pre stále dobre hodnotiteľné vyšetrenia, a to aj na konvenčnom CT. Spektrálnou analýzou sa pomocou virtuálnych monoenergetických obrazov (40-200 keV), dá dosiahnuť potrebný väčší kontrastný rozdiel, ktorý zvýrazní jódomé naplnenie pľúcnych tepien. Kvalita 3 bola definovaná tak, že denzity pľúcnych tepien a žíl dosahovali hodnôt s malým rozdielom ( $\pm 30$  HU). Pri tejto skupine vyšetrení je potrebné starostlivo rozlišovať, hlavne na segmentálnej a subsegmentálnej úrovni, medzi pľúcnyimi tepnami a žilami. K takémuto stavu naplnenia ciev dochádza pri vyšetreniach na konvenčnom CT s aplikáciou väčšieho množstva kontrastnej látky (60-100 ml) bežne. Pri tejto skupine vyšetrení pomáha zlepšovať diagnostiku spektrálna analýza napr. s využitím perfúzných máp distribúcie jódu v tkanive.

V práci boli do spracovania dát zahrnuté vyšetrenia s horšou kvalitou obrazu aj nehodnotiteľné vyšetrenia. K týmto prípadom často dochádzalo pre pohybové artefakty počas akvizície hrudníka, veľké pohyby srdca pri dynamickom lokalizačnom snímaní, nesprávne umiestnenie ROI, predčasné manuálne spustenie akvizície na podnet personálu či zhoršené hemodynamické pomery plnenia ciev pacienta. Tieto faktory sú do značnej miery neovplyviteľné a v klinickej praxi ich nemožno úplne eliminovať. Dáta boli v práci ponechané, aby výsledky zodpovedali reálnemu rutinnému využitiu v klinickej praxi.

Práca je špecifická nielen použitím malého objemu (30 ml) kontrastnej látky pri vyšetrení CTPA, ale aj spôsobom aplikácie. Takéto vyšetrenie nepodstupujú len rizikový pacienti, pacienti s narušenou funkciou obličiek, ale aj pacienti bez poškodenia funkcie obličiek. Kontrastná látka bola aplikovaná vo viacerých fázach s rozdielnou koncentráciou kontrastnej látky pomocou dvojpiestoveho automatického dávkovača. Prvá fáza zahŕňa aplikáciu 10 ml 40 % roztoku kontrastnej látky a fyziologického roztoku, rýchlosťou 4 ml/s. V ďalšej fáze nasleduje aplikácia 8 ml 50 % roztoku kontrastnej látky rýchlosťou 4 ml/s. V nasledujúcej fáze je aplikovaných 22 ml 100 % kontrastnej látky rýchlosťou 4,2 ml/s, po aplikácii kontrastnej látky nasleduje preplach 60 ml fyziologického roztoku rýchlosťou 5,5 ml/s.

Význam použitia riedenej kontrastnej látky, je snaha o zníženie potrebnej aplikovanej kontrastnej látky. Počiatočné množstvo aplikovanej kontrastnej látky neslúži k diagnostickému zobrazeniu, ale k automatickému spusteniu akvizície pri využití bolus tracking techniky. Zároveň menej koncentrovaná kontrastná látka nezaťažuje diagnostické hodnotenie, výraznou kontrastnou náplňou pľúcnych žíl a oddielov srdca. Zároveň znižuje frekvenciu predčasného spustenia akvizície, z dôvodu redukcie hviezdicového artefaktu pri lokalizačnom dynamickom snímaní, ak je ROI umiestnená v časti pľúcneho kmeňa v blízkosti hornej dutej žily. Pri samotnej akvizícii nariadená kontrastná látka naplňuje aortu a využitím spektrálnej analýzy je možné dosiahnuť dostatočné zvýraznenie kontrastnej náplne v monoenergetických obrazoch, k hodnoteniu prípadného poškodenia aorty.

Saade vo svojej štúdií ukazuje, že pri prispôbení podávania kontrastnej látky podľa pacienta, dochádza k redukcii artefaktov spôsobených prítokom vysoko koncentrovanej kontrastnej látky do brachiocefalickej žily a hornej dutej žily a to pri znížení opacifikácie v srdci, pľúcnych žilách a hornej dutej žily až o 91 % v porovnaní so štandardným protokolom. (2013, s. 3209)

Testovaním hypotézy 1 sa potvrdilo, že zníženie objemu kontrastnej látky nemá negatívny vplyv na kvalitu vyšetrenia. Pri redukcii množstva kontrastnej látky na 30 ml vyšetrenia dosahujú v takmer 80 % prípadov veľmi dobre hodnotiteľnú kvalitu obrazu. Iba necelých 5 % vyšetrení bolo ťažko hodnotiteľných a iba v 0,5 % prípadov bolo vyšetrenie nehodnotiteľné. Korelačný vzťah ukazuje len veľmi slabú závislosť medzi veľkosťou objemu kontrastnej látky a kvalitou vyšetrenia, v praxi nemožno túto koreláciu považovať za významnú.

Zo štatistického spracovania údajov o objeme kontrastnej látky a kvality vyšetrenia výsledky ukazujú, že u žien je kvalita vyšetrení lepšia ako u mužov, čo nasvedčuje



aj porovnanie medzi tabuľkami 26 a 27, kde pri najlepšej kvalite vyšetrenia (kvalita 1) prevažuje počet žien (60,3 %) nad počtom mužov (39,7 %) a pri ďalších kvalitách vyšetrenia, ktoré sú horšie prevažuje počet mužov nad počtom žien. Tento vzťah nebol v tejto práci podrobnejšie skúmaný, čo otvára možnosti k ďalšiemu výskumu.

V porovnaní s konvenčným CTPA je zníženie objemu kontrastnej látky o 50 %. V práci nie je zahrnuté porovnávanie s kontrolnou skupinou. Vyšetrenie na pracovisku KRNM vo FN Brno je rutinne vykonávané na jednom danom prístroji, a len zriedka na konvenčnom CT. Pri zbere dát v danom období bola len malá skupina pacientov podstupujúcich CTPA vyšetrená na konvenčnom CT. Porovnanie týchto skupín by nebolo adekvátne. Zároveň aplikovať väčšie množstvo kontrastnej látky, pri využití spektrálneho CT, z výskumných dôvodov, by bolo neetické.

V práci boli sledované vplyvy charakteristiky pacienta na kvalitu CTPA vyšetrení s objemom 30 ml v snahe o identifikáciu hraničných parametrov pacientov, pri ktorých by bolo možné objem kontrastnej látky znížiť ešte o 5 ml (25 ml).

S vplyvom veku pacienta na kontrastnú náplň to nie je úplne jednoznačné, niektoré štúdie ukazujú, že kontrastná náplň ciev s vekom pacienta nemajú žiadny spoločný vzťah. Zatiaľ čo iné štúdie ukazujú pozitívnu vzájomnú koreláciu veku pacienta a kontrastnej náplne. (Goble a Abdulkarim 2014, s. 39; Itoh et al. 2006, s. 508) Testy hypotézy 2 ukázali, že kvalita vyšetrenia je ovplyvnená vekom pacienta. Závislosť medzi vekom pacienta a kvalitou vyšetrenia zobrazujú korelačné krivky, kedy u starších pacientov sa ukazujú kvalitnejšie výsledné obrazy. Pomocou ROC analýzy pre špecificitu 95 % a vyššiu bola stanovená cut-off hodnota pre vek mužov nad 76 rokov a pre vek žien nad 83 rokov so senzitivitou 14-23 %. Korelácia veku a kontrastnej náplne je predpokladaná na základe nižšieho výdaja srdca a objemu krvi, ktorý sa môže u starších pacientov vyskytovať. Vyšetrenia môžu dosahovať lepšej kvality aj z dôvodu menších či pomalých pohybov srdca, tým vzniku menšieho množstva pohybových artefaktov. S vekom sa tiež znižuje funkcia obličiek, títo pacienti sú vo vyššom riziku vzniku postkontrastného akútneho poškodenia obličiek. Starší pacienti tvoria skupinu adeptov, pri ktorých je do budúcnosti zvažované použitie objemu 25 ml kontrastnej látky.

Ďalšou charakteristikou sledovanou u pacientov bola veľkosť kardiotorakálneho indexu. Voľba tohto parametru bola na základe praktickej využiteľnosti. Kedy by personál z topogramu vyšetrenia bol schopný rýchlo odhadnúť, prípadne vypočítať tento parameter, odmeraním šírky hrudníka a srdcového tieňa. Testy hypotézy 3 ukazujú veľmi významné výsledky. Korelačným koeficientom sa potvrdila závislosť medzi KTI a kvalitou vyšetrenia, u pacientov s vyšším KTI sú výsledné obrazy kvalitnejšie. Pomocou ROC analýzy

pre špecificitu 95 % a vyššiu bola stanovená cut-off hodnota pre KTI mužov nad hodnotu 0,5 a pre KTI žien nad hodnotu 0,48, so senzitivitou 10-28 %

Ďalším parametrom sledovaným u pacientov bola hrúbka tuku nad sternom a to v úrovni bifurkácie truncus pulmonalis. Voľba tohto parametru bola na základe praktickej využiteľnosti. Kedy by personál na lokalizačnom skene, pri umiestnení ROI do oblasti bifurkácie hlavnej pľúcnej tepny, bol schopný rýchlo zmerať hrúbku tuku nad sternom v tejto úrovni. Avšak štatistickým testovaním tejto hypotézy (hypotéza 4) a analyzovaním dát sa nepreukázali signifikantné výsledky. Ani vykonaním ROC analýzy sa nepreukázali významné výsledky pre stratifikáciu medzi veľmi kvalitnými vyšetreniami a nekvalitnými vyšetreniami.

Predchádzajúce štúdie tiež ukazujú, protokoly podávania kontrastnej látky upravené podľa indexu telesnej hmotnosti (BMI), ktoré poskytujú lepšie kontrastné zvýraznenie ako protokoly prispôbené iba hmotnosti pacienta. (Meier et al. 2016, s. 9) Hodnotenie výsledkov BMI, hodnota pod 18,5 znamená podvýživu, hodnoty 18,5-25 značia ideálnu, zdravú váhu, hodnoty 25-30 značia miernu nadváhu a hodnoty nad 30 sú pri obezite. V doterajších štúdiách sa ukázalo, že telesná hmotnosť pacienta má nepriaznivý vplyv na kontrastnú náplň ciev pri vyšetrení. (Goble a Abdulkarim 2014, s. 39) Štatistické testy hypotézy 5 preukazujú signifikantné výsledky pre vzťah indexu telesnej hmotnosti a kvality vyšetrenia. S pozitívnym korelačným vzťahom, kedy pri vyšších hodnotách BMI pacienta je kvalita vyšetrenia horšia. Z praktického hľadiska rozdiely medzi jednotlivými skupinami kvalít vyšetrenia neboli významné. Ani vykonanie ROC analýzy pre špecificitu 95 % vo vzťahu k BMI, výsledky nepriniesli významnú stratifikáciu medzi veľmi kvalitnými vyšetreniami a nekvalitnými vyšetreniami. BMI je počítaný z parametrov výšky a váhy pacienta. Vykonaním ROC analýzy pre výšku a váhu celého súboru pacientov po aplikácii 30 ml k.l. sa ukázali významné výsledky pre oba parametre u mužov, u žien iba v prípade váhy. Pomocou ROC analýzy pre špecificitu 95 % a vyššiu bola stanovená cut-off hodnota pre výšku mužov pod 171 cm (senzitivita 12-20 %), pre váhu mužov pod 73 kg (senzitivita 15-20 %) a pre váhu žien pod 70 kg (senzitivita 32 %).

Postkontrastné poškodenie po podaní kontrastnej látky (z anglického post contrast acute kidney injury, PC-AKI) získava čoraz viac pozornosti zo strany rádiológov a Európskej spoločnosti pre urogenitálnu rádiológiu (z anglického European Society of Urogenital Radiology, ESUR). Výskyt akútneho poškodenia a jeho závažnosť priamo súvisí nielen s množstvom aplikovanej kontrastnej látky, ale aj s jej koncentráciou. Aj keď je podanie jódovej kontrastnej látky pri CT angiografii nevyhnutné, stále je odporúčané aplikovať minimálne

množstvo kontrastnej látky, mohol by sa uplatniť podobný princíp ako pri obmedzení radiačnej záťaže ALARA (z angl. “as low as reasonably achievable”). (ESUR 2018, s. 20)

Vývojom technológií prináša nové postprocesingové algoritmy, ktoré vytvárajú príležitosti pre znižovanie množstva a koncentrácie kontrastnej látky.

Postupným znižovaním rýchlosti aplikácie kontrastnej látky sa výskumom ukázal stabilnejší stav v cievach a tým dosiahnutie rovnomerného zvýraznenia ciev pri CT angiografii. (Goble a Abdulkarim 2014, s. 39) Tento postup je kontrastom k tejto štúdii, kedy pri viacfázovom podaní kontrastnej látky sa rýchlosť podávania zvyšovala, to dáva priestor k ďalšiemu skúmaniu tohto nízкодávkového protokolu aplikácie kontrastnej látky pri využití spektrálneho CT.

Za posledné desaťročie, nastavenie nízkeho napätia na röntgenke medzi 70-80 kVp spolu s vysokým pitch faktorom (pomerom medzi posunom stolu za 1 otáčku a celkovej kolimácie) umožňuje výrazné zníženie objemu aplikovanej kontrastnej látky pre CT pľúcne angiografie, so znížením dávky jódu na 9-21 g. (Lu et al. 2014, s. 3265) V tejto práci aj napriek tomu, že nebolo využité zníženie napätia na röntgenke, pri vyšetreniach s viacfázovým podaním 30 ml kontrastnej látky bola celkové množstvo aplikovaného jódu 10,5 g. (vid' tabuľka 4)

Využitie nízkeho napätia je limitované u všetkých výrobcov CT prístrojov, z dôvodu nízkej účinnosti röntgenky a tak nedostatočnou fotónovou emisiou, čo by viedlo k zvyšovaniu šumu v obraze. Navyše znižovaním napätia na röntgenke dochádza aj k nižšej radiačnej záťaži pacienta, ale limitáciou znižovania napätia je habitus pacienta. (Zhang et al. 2021, s. 1038; Sabel et al. 2016, s. 8) Výhodou spektrálneho CT je postprocesingová spektrálna analýza. Virtuálne monoenergetické obrazy s možnosťou voľbou kiloelektronvoltov (keV) v rozmedzí 40-200 keV majú podobný efekt na znižovanie množstva kontrastnej látky ako zníženie napätia na röntgenke.

Výsledky práce sa ukazujú sľubne a podporujú ďalšie skúmanie spôsobu aplikácie jódovej kontrastnej látky pri CTPA v ďalších klinických podmienkach. Znižovanie objemu aplikácie jódovej kontrastnej látky má šetrné účinky na zdravie pre pacienta a stavu jeho obličiek. Rozhodne zaujímavé by bolo preskúmať aj vplyv z ekonomického hľadiska, keďže takáto optimalizácia protokolu vedie k menšej spotrebe kontrastnej látky.

Na základe výsledkov tejto práce, kde sa stanovili parametre charakteristiky pacientov, pri ktorých vysoká pravdepodobnosť veľmi dobrej kvality vyšetrenia, sa do klinickej praxe aplikuje optimalizovaný vyšetrovací protokol. Od 23.3.2023 sa u vybranej skupiny pacientov používa protokol s viacfázovou aplikáciou len 25 ml jódovej kontrastnej látky. Kedy v prvej fáze je aplikovaných 10 ml 40 % roztoku kontrastnej látky, v druhej fáze 8 ml 50 % roztoku

kontrastnej látky a v tretej fáze sa aplikuje 19 ml 90 % roztoku kontrastnej látky, za ktorou nasleduje aplikácia 60 ml fyziologického roztoku. Parametre viacfázovej aplikácie sú zobrazené v tabuľke 24.

Tabuľka 24 Parametre viacfázovej aplikácie 25 ml k.l.

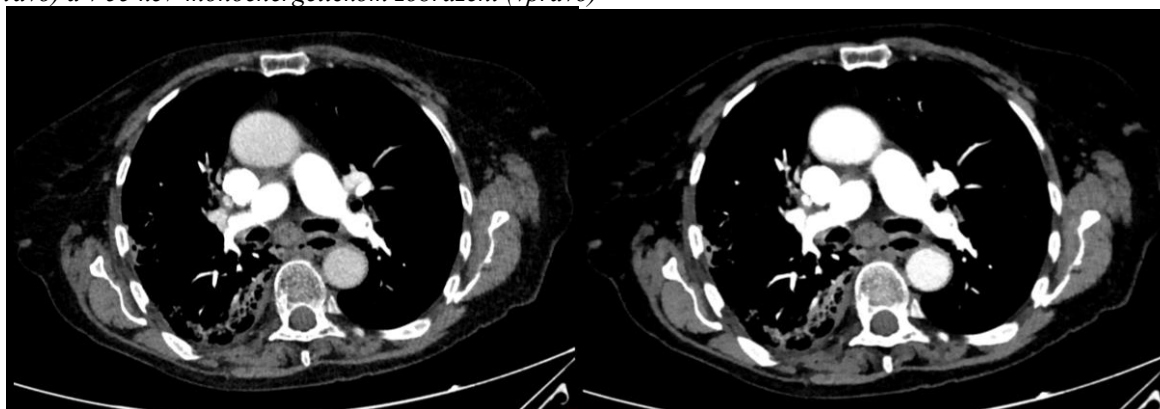
	Viacfázová aplikácia k.l.			
koncentrácia [%]	40	50	90	
koncentrácia 100% k.l. [mgI/ml]	350			
koncentrácia zriedenej k.l. [mgI/ml]	140	175	315	
celkový aplikovaný objem [ml]	10	8	19	37
rýchlosť aplikácie k.l. [ml/s]	4	4	4,2	
podané množstvo k.l. vo fáze [ml]	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>17</b>	<b>25</b>
množstvo jódu vo fáze [gI]	1,4	1,4	5,95	8,75
dĺžka fázy (čas) [s]	2,5	2	4,5	9
iodine delivery rate [gI/s]	0,56	0,7	1,3	0,97

V období od 23.3. - 4.4.2023 podstúpilo CTPA vyšetrenie s aplikáciou 25 ml kontrastnej látky 7 pacientov. Išlo o 5 žien a 2 mužov. Kvalita výsledného obrazu v 6 prípadoch nadobudla kvalitu 1 a v jednom prípade kvalitu 2. Denzita pľúcnych tepien v priemere dosahovala hodnotu 310 HU a denzita pľúcnych žíl hodnotu 145 HU. Takéto výsledky by mali dobrú kvalitu hodnotenia aj na konvenčnom CT.

Vytvorenie nového 25 ml protokolu posunulo prácu do ďalšej fázy výskumu, v ktorej bude pokračovať v nasledujúcom období.

Obrázok 21 zobrazuje prípad 87-ročnej ženy, s výškou 160 cm a váhou 55 kg, ktorá podstúpila CTPA vyšetrenie s aplikáciou 25 ml. Vyšetrenie dosiahlo kvality 1, v konvenčnom zobrazení (vľavo) hodnota denzity pľ. tepien dosahuje v priemere 430 HU a denzita pľ. tepien v priemere 200 HU a v 55 keV monoenergetickom zobrazení (vpravo) je vidieť zvýraznenie kontrastnej náplne ciev a to hlavne na príklade zvýraznení kontrastnej náplne aorty.

Obrázok 21 Prípád vyšetrenia CTPA 87-ročnej ženy po aplikácii 25 ml k.l. v konvenčnom zobrazení (vľavo) a v 55 keV monoenergetickom zobrazení (vpravo)



Archív Philips IntelliSpace Portal FN Brno

### Limitácie práce

Hlavnou limitáciou je absencia väčšej kontrolnej skupiny v porovnaní s aplikáciou štandardného vysokého objemu kontrastnej látky na danom prístroji alebo v porovnaní s vyšetreniami na konvenčnom CT. Ako bolo už spomenuté v diskusii, vyšetrenia na pracovisku KRNM vo FN Brno sú rutinne vykonávané na jednom danom prístroji, a len zriedka na konvenčnom CT. Pri zbere dát v danom období bola len malá skupina pacientov podstupujúcich CTPA vyšetrená na konvenčnom CT. Porovnanie týchto skupín by nebolo adekvátne. Zároveň aplikovať väčšie množstvo kontrastnej látky, pri využití spektrálneho CT, z výskumných dôvodov, by bolo neetické.

Vo výskume bola použitá iba jednofaktorová analýza. Presnejšie výsledky by mohla priniesť viacfaktorová analýza (MANOVA). Avšak použitie a interpretácia viacfaktorovej analýzy je nad štatistické schopnosti autora práce.

Limitáciou práce je, že neskúmala priamo rozdiel veľkosti radiačnej dávky vyšetrenia na spektrálnom CT v porovnaní pri aplikácii 30 ml kontrastnej látky a väčšieho objemu a ani v porovnaní s konvenčným CT. V každom prípade, to vytvára priestor na ďalšie skúmanie.

Dáta boli zbierané retrospektívne a nie všetky dáta boli spätne dostupné, ako napríklad presné umiestnenie žilového vstupu a veľkosť použitej kanyly.

Pacienti boli vyšetrení nízko dávkovým protokolom podania kontrastnej látky, ale nebolo vykonané ich následné monitorovanie funkcie obličiek.

Meranie denzity pomocou ROI bolo realizované 1 hodnotiteľom, ktorého merania neboli naslepo vzhľadom k množstvu podanej kontrastnej látky, ale keďže hodnotenie bolo postavené na objektívnom meraní a nie udávaní subjektívnej kvality vyšetrenia, je to pri danej štúdií prijateľné.

V neposlednom rade, kvantitatívne meranie pomocou oblasti záujmu bolo obmedzené iba na centrálnu oblasť pľúcnych tepien, k čomu by mohli byť vedené námietky, že hodnotenie je viac kritické v periférnej oblasti k stanoveniu diagnózy či vylúčeniu menších, periférnych krvných zrazenín. Avšak uskutočnenie merania na malých periférnych pľúcnych tepnách by bolo technicky náročné, nepresné a jeho reprodukcia by bola náročná, ako bol už zmienený tento problém v predchádzajúcich štúdiách. (Bae et al. 2007)

## 7. ZÁVER

Práca prezentuje aplikáciu malého objemu kontrastnej látky na spektrálnej výpočtovej tomografii u pacientov s podozrením na pľúcnu embóliu. V rutinnej klinickej praxi univerzálny protokol viacfázovej aplikácie 30 ml kontrastnej látky s využitím spektrálneho CT dosahuje vysokej kvality s výborným zvýraznením pľúcnych tepien pri konvenčnom zobrazení. Mnohé výhody pre presnejšie stanovenie diagnózy prináša postprocessingové spracovanie technológiou Dual-Energy CT. Najčastejšie používané sú virtuálne monoenergetické obrazy, perfúzne mapy distribúcie jódu a prepočty s vysokým rozlíšením pre hodnotenie pľúcneho parenchýmu.

Výsledky práce sa ukazujú sľubne a podporujú ďalšie skúmanie spôsobu aplikácie jódovej kontrastnej látky pri CTPA v ďalších klinických podmienkach. Svojim konceptom tento protokol prispieva k prevencii a znižovaniu rizika vzniku akútneho postkontrastného poškodenia obličiek. Znižovanie objemu aplikovanej jódovej kontrastnej látky tak môže nielen spôsobiť menej nežiaducich účinkov pre skupinu rizikových pacientov, ale môže mať i významné ekonomické výhody pre prevádzku zdravotníckeho zariadenia.

Rádiologický asistent v procese tvorby kvalitného výsledného obrazu pri CTPA zohráva dôležitú úlohu. Adekvátne komunikácia s pacientom a jeho informovanosť môže vplyvať na mieru jeho spolupráce pri vyšetrení, kedy rádiologický asistent sprevádza pacienta vyšetrením od vstupu do kabínky až do opustenia vyšetrovacej miestnosti. Zručnosti rádiologického asistenta pri správnom zavedení kanyly žilového vstupu a zapojení automatického dávkovača kontrastnej látky, priamo ovplyvňujú spôsob podania kontrastnej látky. Ďalej teoretické znalosti a praktické skúsenosti rádiologického asistenta s vyšetrením výrazne ovplyvňujú kvalitu vyšetrenia. V počiatočnej fáze vyšetrenia s menším množstvom kontrastnej látky je kľúčová správna voľba umiestnenia ROI do oblasti truncus pulmonalis, toto umiestnenie je v rukách rádiologického asistenta. V neposlednom rade je nevyhnutná zainteresovanosť pracovníka pri vyšetrení, kedy v prípadných neštandardných, nie častých situáciách vie rýchlo a pohotovo reagovať, tak aby vyšetrenie prebehlo správne.

## 8. REFERENČNÝ ZOZNAM

ANDERSON, D. R., S. R. KAHN, M. A. RODGER, M. J. KOVACS, T. MORRIS, A. HIRSCH, E. LANG, I. STIELL, G. KOVACS, J. DREYER, C. DENNIE, Y. CARTIER, D. BARNES, E. BURTON, S. PLEASANCE, Ch. SKEDGEL, K. O'ROUKE a P. S. WELLS, 2007. Computed tomographic pulmonary angiography vs ventilation-perfusion lung scanning in patients with suspected pulmonary embolism: a randomized controlled trial. *Journal of the American Medical Association* [online]. **298**(23), 2743–2753. Dostupné z: doi:10.1001/jama.298.23.2743

BAE, K. T., Ch. TAO, S. GUREL, Ch. HONG, F. ZHU, T. A. GEBKE, M. MILITE a Ch. F. HILDEBOLT, 2007. Effect of patient weight and scanning duration on contrast enhancement during pulmonary multidetector CT angiography. *Radiology* [online]. **242**(2), 582–589. Dostupné z: doi:10.1148/radiol.2422052132

BRENDLIN, A. S., M. T. WINKELMANN, F. PEISEB, Ch. P. ARTZNER a K. NIKOLAOU, 2021. Diagnostic Performance of a Contrast-Enhanced Ultra-Low-Dose High-Pitch CT Protocol with Reduced Scan Range for Detection of Pulmonary Embolism. *Diagnostics* [online]. **11**(7), 1–15 [vid. 2023-01-14]. Dostupné z: doi:10.3390/diagnostics11071251

DA SILVA, R., M. SHAH a L. M. FREEMAN, 2014. Ventilation-perfusion (V/Q) lung scintigraphy: a long journey to a renewed position of prominence in diagnosing pulmonary embolism. *Clinical and Translational Imaging* [online]. **2**, 369–378. Dostupné z: doi:10.1007/s40336-014-0077-8

ESUR, H. S. THOMSEN, F. STACUL, M. F. BELLIN, M. BERTOLOTTO, G. BONGARTZ, T. BRISMAR, O. CLEMENT, J. M. CORREAS, R. W. F. GEENEN, G. HEINZ-PEER, A. H. MAHNKEN, A. RADBRUCH, P. REIMER, G. RODITI, L. ROMANINI, A. J. VAN DER MOLEN a J. A. W. WEBB, 2018. *ESUR Guidelines on Contrast Agents European Society of Urogenital Radiology version 10.0* [online]. 2018. Dostupné z: [https://www.esur.org/wp-content/uploads/2022/03/ESUR-Guidelines-10\\_0-Final-Version.pdf](https://www.esur.org/wp-content/uploads/2022/03/ESUR-Guidelines-10_0-Final-Version.pdf)

FAKULTNÍ NEMOCNICE BRNO - KRNM, 2021. *IQon Spectral CT v.č. 860070 protokoly. zmena 2023 2021.*

FAKULTNÍ NEMOCNICE BRNO - KRNM, [b.r.]. *Archív MARIE PACS FN Brno.*

FAKULTNÍ NEMOCNICE BRNO - KRNM, [b.r.]. *Archív Philips IntelliSpace Portal FN Brno.*

FERDA, J., T. FLOHR a B. KREUZBERG, 2008a. ZOBRAZENÍ TKÁNÍ VÝPOČETNÍ TOMOGRAFIÍ S DUÁLNÍ ENERGIÍ ZÁŘENÍ – PRVNÍ ZKUŠENOSTI Z KLINICKÉHO VYUŽITÍ. *Česká Radiologie*. **62**(1), 11–22. ISSN 1210-7883.

FERDA, J., A. HLAVA, M. MECHL, V. VÁLEK, P. ELIAS a B. KREUZBERG, 2008b. 111 Years of Radiology in the Heart of Europe: Czech Radiology 1896–2007. *American Journal of Roentgenology* [online]. **190**(6), 1427–1430. Dostupné z: doi:10.2214/AJR.07.3563



FERDA, J., H. MÍRKA a J. BAXA, 2009. *MULTIDETEKTOŘOVÁ VÝPOČETNÍ TOMOGRAFIE - Technika vyšetření*. 1. Praha: Galén. ISBN 978-80-7262-608-3.

GOBLE, E.W. a J. A. ABDULKARIM, 2014. CT pulmonary angiography using a reduced volume of high-concentration iodinated contrast medium and multiphasic injection to achieve dose reduction. *Clinical Radiology* [online]. (69), 36–40. Dostupné z: doi:10.1016/j.crad.2013.07.023

HAN, D., S. WEIHUA, Ch. XIAOXIA, Y. YONG, T. XIN, Z. JIELI, Ch. JING, L. MENGTING a H. TAIPING, 2020. Optimal Monochromatic Energy Levels in Dual-Energy Spectral CT Pulmonary Angiography with Low Contrast Medium Dosage. *Iranian Journal of Radiology* [online]. 17(2), 1–10. Dostupné z: doi:10.5812/iranradiol.83479

HENDRIKS, B. M. F., M. KOK, C. MIHL, S. C. A. M. BEKKERS, J. E. WILDBERGER a M. DAS, 2016. Individually tailored contrast enhancement in CT pulmonary angiography. *The British Journal of Radiology* [online]. 89(1061). Dostupné z: doi:10.1259/bjr.20150850

INFORMA MARKETS, 2023. ACCUTRON CT-D | MEDTRON AG. *Omnia-health.com* [online] [vid. 2023-02-08]. Dostupné z: <https://www.omnia-health.com/product/accutron-ct-d>

ITOH, S., M. IKEDA, H. SATAKE, T. OTA a T. ISHIGAKI, 2006. The effect of patient age on contrast enhancement during CT of the pancreatobiliary region. *American Journal of Roentgenology* [online]. 187(2), 505–510. Dostupné z: doi:10.2214/AJR.05.0541

JOHNSON, Thorsten R. C., 2012. Dual-Energy CT: General Principles. *American Journal of Roentgenology* [online]. 199(5), S3–S8. Dostupné z: doi:10.2214/AJR.12.9116

KIM, Ch., Ch. W. LEE, G. S. HONG, G. KIM, K. Y. LEE a S. S. KIM, 2017. Assessment of pulmonary arterial enhancement on CT pulmonary angiography using a leg vein for contrast media administration. *Medicine* [online]. 96(49), 90–99. Dostupné z: doi:10.1097/MD.00000000000009099

KIRSCH, J., R. K. J BROWN, T. S. HENRY, C. JAVIDAN-NEJAD, C. JOKERST, P. R. JULSRUD, J. P. KANNE, Ch. M. KRAMER, J. A. LEIPSIC, K. K. PANCHAL, J. G. RAVENEL, A. B. SHAH, T. L. H. MOHAMMED, P. K. WOODARD a S. ABBARA, 2017. ACR Appropriateness Criteria Acute Chest Pain—Suspected Pulmonary Embolism. *Journal of the American College of Radiology* [online]. 14, 2–12. Dostupné z: doi:10.1016/j.jacr.2017.02.027

KONSTANTINIDES, S. V., G. MEYER, C. BECATTINI, H. BUENO, G. J. GEERSING, V. P. HARJOLA, M. V. HUISMAN, M. HUMBERT, C. S. JENNINGS, D. JIMÉNEZ, N. KUCHER, I. M. LANG, M. LANKEIT, R. LORUSSO, L. MAZZOLAI, N. MENEVEAU, F. NÍ ÁINLE, P. PRANDONI, P. PRUSZCZYK, M. RIGHINI, A. TORBICKI, E. VAN BELLE a J. L. ZAMORANO, 2020. 2019 ESC Guidelines for the diagnosis and management of acute pulmonary embolism developed in collaboration with the European Respiratory Society (ERS). *European Heart Journal* [online]. 41, 543–603. Dostupné z: doi:10.1093/eurheartj/ehz405

KONSTANTINIDES, S. V., A. TORBICKI, G. AGNELLI, N. DANCHIN a D. FITZMAURICE, 2014. 2014 ESC guidelines on the diagnosis and management of acute pulmonary embolism. *European Heart Journal* [online]. **35**(43), 3033–3080. Dostupné z: doi:10.1093/eurheartj/ehu283

KOSMALA, Aleksander, Philipp GRUSCHWITZ, Simon VELDHON, Andreas Max WENG, Bernhard KRAUSS, Thorsten Alexander BLEY a Bernhard PETRITSCH, 2020. Dual-energy CT angiography in suspected pulmonary embolism: influence of injection protocols on image quality and perfused blood volume. *The International Journal of Cardiovascular Imaging* [online]. (36), 2051–2059. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s10554-020-01911-8>

LAQMANI, A., M. KURFURST, S. BSCHEIDT, S. SEHNER a J. SCHMIDT-HOLTZ, 2016. CT Pulmonary Angiography at Reduced Radiation Exposure and Contrast Material Volume Using Iterative Model Reconstruction and iDose4 Technique in Comparison to FBP. *PLOS ONE* [online]. **11**(9). Dostupné z: doi:10.1371/journal.pone.0162429

LU, G. M., S. LUO, F. G. MEINEL, A. D. MCQUISTON a Ch. S. ZHOU, 2014. High-pitch computed tomography pulmonary angiography with iterative reconstruction at 80 kVp and 20 mL contrast agent volume. *European Radiology* [online]. **24**, 3260–3268. Dostupné z: doi:10.1007/s00330-014-3365-9

LUMATEC, S.R.O., 2023. Injektor Accutron CT-D - dvojhlavový injektor. *Lumatec.sk* [online]. Dostupné z: <https://lumatec.sk/index.php/produkty/injektor-accutron-ct-d>

LUMATEC, S.R.O., [b.r.]. TECHNICAL DATA Accutron CT-D. *Lumatec.sk* [online]. Dostupné z: [https://lumatec.sk/\\_files/CTD/datasheet\\_Accutron\\_CT-D\\_EN.pdf](https://lumatec.sk/_files/CTD/datasheet_Accutron_CT-D_EN.pdf)

MCCOLLOUGH, Cynthia H., Shuai LENG, Lifeg YU a Joel G. FLETCHER, 2015. Dual- and Multi-Energy CT: Principles, Technical Approaches, and Clinical Applications. *Radiology* [online]. **276**(3), 637–653. Dostupné z: doi:10.1148/radiol.2015142631

MEDTRON AG, 2021. Accutron CT-D. *Medtron.com* [online] [vid. 2022-03-16]. Dostupné z: <https://www.medtron.com/en/computed-tomography/accutron-ct-d-vision/>

MEIER, A., K. HIGASHIGAITO, K. MARTINI, M. WURNIG, B. SEIFERT, D. KELLER, T. FRAUENFELDER a H. ALKADHI, 2016. Dual Energy CT Pulmonary Angiography with 6g Iodine - A Propensity Score-Matched Study. *PLOS ONE* [online]. **11**(12), 1–16. Dostupné z: doi:10.1371/journal.pone.0167214

MEYER, M., H. HAUBENREISSER, Ch. SCHABEL, Ch. LEIDECKER, B. SCHMIDT, S. O. SCHOENBERG a T. HENZLER, 2018. CT pulmonary angiography in patients with acute or chronic renal insufficiency: Evaluation of a low dose contrast material protocol. *Scientific Reports* [online]. **31**(8). Dostupné z: doi:10.1038/s41598-018-20254-y

MOORE, A. J. E., J. WACHSMANN, M. R. CHAMARTHY, L. PANJIKARAN, Y. TANABE a P. RAJIAH, 2018. Imaging of acute pulmonary embolism: an update. *Cardiovascular Diagnosis and Therapy* [online]. **8**(3), 225–243. Dostupné z: doi:10.21037/cdt.2017.12.01

MORADI, M. a B. KHALILI, 2016. Qualitative indices and enhancement rate of CT pulmonary angiography in patients with suspected pulmonary embolism: Comparison between

test bolus and bolus-tracking methods. *Advanced Biomedical Research* [online]. **113**(5). Dostupné z: doi:10.4103/2277-9175.184309

MORCOS, S. K., H. S. THOMSEN a J. A. W. WEBB, 1999. Contrast-media-induced nephrotoxicity: a consensus report. *European Radiology* [online]. **9**(8), 1602–1613. Dostupné z: doi:10.1007/s003300050894

MZ ČR, 2016. *Věstník MINISTERSTVA ZDRAVOTNICTVÍ ČESKÉ REPUBLIKY* [online]. 2016. B.m.: MZ ČR. Dostupné z: <https://www.mzcr.cz/wp-content/uploads/wepub/11347/36103/V%C4%9Bstn%C3%ADk%20MZ%20%C4%8CR%202-2016.pdf>

NANCE, J. W., T. HENZLER, M. MEYER, P. APFALTRER, M. BRAUNAGEL a R. KRISSAK, 2012. Optimization of Contrast Material Delivery for Dual-Energy Computed Tomography Pulmonary Angiography in Patients With Suspected Pulmonary Embolism. *Investigative Radiology* [online]. **47**(1), 78–84. Dostupné z: doi:10.1097/RLI.0b013e31821a2142

NOVOTNÝ, J., J. H. PEREGRIN a D. KAUTZNEROVÁ, 2010. CT ANGIOGRAFIE - PODMÍNKY PRO KVALITNÍ VYŠETŘENÍ. *Česká Radiologie*. **64**(2), 145–157. ISSN 1210-7883.

PALM, V., F. RENGIER, P. RAJIAH, C. P. HEUSSEL a S. PARTOVI, 2020. Acute Pulmonary Embolism: Imaging Technique, Findings, Endovascular Treatment and Differential Diagnoses. *Fortschr Rontgenstr* [online]. **192**(1), 38–49. Dostupné z: doi:10.1055/a-0900-4200

RASSOULI, N., M. ETESAMI, A. DHANANTWARI a P. RAJIAH, 2017. Detector-based spectral CT with a novel dual-layer technology: principles and application. *Insights into Imaging* [online]. (8), 589–598. Dostupné z: doi: 10.1007/s13244-017-0571-4

ROGGENLAND, D., S. PETERS, S. P. LEMBURG, T. HOLLAND-LETZ, V. NICOLAS a Ch. M. HEYER, 2008. CT angiography in suspected pulmonary embolism: impact of patient characteristics and different venous lines on vessel enhancement and image quality. *American Journal of Roentgenology* [online]. **190**(6), 351–359. Dostupné z: doi:10.2214/AJR.07.3402

ROKYTA, R., M. HUTYRA a P. JANSKA, 2020. Doporučené postupy Evropské kardiologické společnosti (ESC) pro diagnostiku a léčbu akutní plicní embolie, verze 2019. Stručný přehled vypracovaný Českou kardiologickou společností. *Cor et Vasa* [online]. **62**(2), 154–182. Dostupné z: doi:10.33678/cor.2020.016

RUBIN, G. D., J. A. LEIPSIC, J. U. SCHOEPF, D. FLEISCHMANN a S. NAPEL, 2014. CT Angiography after 20 Years: A Transformation in Cardiovascular Disease Characterization Continues to Advance. *Radiology* [online]. **271**(3), 633–652. Dostupné z: doi:10.1148/radiol.14132232

SAADE, Ch., R. BOURNE, F. EL-MERHI, A. SOMANATHAN, D. CHAKRABORTY a P. BRENNAN, 2013. An optimized patient-specific approach to administration of contrast agent for CT pulmonary angiography. *European Society of Radiology* [online]. (23), 3205–3212. Dostupné z: doi:10.1007/s00330-013-2919-6

SABEL, B. O., K. BURIC, N. KARARA, J. DINKEL a W. H. SOMMER, 2016. High-Pitch CT Pulmonary Angiography in Third Generation Dual-Source CT: Image Quality in an Unselected Patient Population. *PLOS ONE* [online]. **11**(2). Dostupné z: doi:10.1371/journal.pone.0146949

SCHOELLANST, H., H. A. DEUTSCHMANN, A. BERGHOLD, G. A. FRITZ, G. J. SCHAFFLE a M. TILLICH, 2006. MDCT angiography of the pulmonary arteries: influence of body weight, body mass index, and scan length on arterial enhancement at different iodine flow rates. *American Journal of Roentgenology* [online]. **187**(4), 1074–1078. Dostupné z: doi:10.2214/AJR.05.0714

STACUL, F., A. J. VAN DER MOLEN, P. REIMER, J. A. W. WEBB, H. S. THOMSEN, S. K. MORCOS, T. ALMÉN, P. ASPELIN, M. F. BELLIN, O. CLEMENT, G. HEINZ-PEER a ESUR, 2011. Contrast induced nephropathy: updated ESUR Contrast Media Safety Committee guidelines. *European Radiology* [online]. **21**(12), 2527–2541. Dostupné z: doi:10.1007/s00330-011-2225-0

SUNTHARALINGAM, S., Ch. MIKAT, E. STENZEL, Y. ERFANIAN, A. WETTER, T. SCHLOSSER, M. FORSTING a K. NASSENSTEIN, 2017. Submillisievert standard-pitch CT pulmonary angiography with ultra-low dose contrast media administration: A comparison to standard CT imaging. *PLOS ONE* [online]. **12**(10), 1–11. Dostupné z: doi:10.1371/journal.pone.0186694

THOMSEN, H. S., 2006. European Society of Urogenital Radiology (ESUR) guidelines on the safe use of iodinated contrast media. *European Journal of Radiology* [online]. **60**, 307–313. Dostupné z: doi:10.1016/j.ejrad.2006.06.020

VAN DER HULLE, T., C. E. A. DRONKERS, F. A. KLOK a M. V. HUISMAN, 2015. Recent developments in the diagnosis and treatment of pulmonary embolism. *Journal of Internal Medicine* [online]. **279**, 16–29. Dostupné z: doi:10.1111/joim.12404

WAXMAN, A. D.; M. BAJC, M. BROWN, F. H. FAHEY, L. M. FREEMAN, L. B. HARAMATI, P. JULIEN, G. LE GAL, B. NEILLY, J. RABIN, G. SOUDRY, V. TAPSON, S. TORBATI, J. KAUFFMAN, S. AHUJA a K. DONOHOE, 2017. Appropriate Use Criteria for Ventilation-Perfusion Imaging in Pulmonary Embolism: Summary and Excerpts. *Journal of Nuclear Medicine* [online]. **58**(5), 13–15. Dostupné z: doi:PMID: 28461589

ZENG, X., X. WANG, H. CHEN, D. LIU, J. SHI, J. ZHANG, X. LI, L. ZHANG, Y. YI a J. ZHANG, 2020. Evaluating the Image Quality of Monoenergetic Images From Dual-Energy Computed Tomography With Low-Concentration and Low-Flow-Rate Contrast Media for the Arterials Supply to the Nipple-Areola Complex in Breast Cancer Compared With Conventional Computed Tomography Angiography. *Journal of Computer Assisted Tomography* [online]. **44**(6), 921–927. Dostupné z: doi:10.1097/RCT.0000000000001063

ZHANG, Wei-Guo, Jia-Ping LIU, Xiu-Qin JIA, Ji-Yang ZHANG, Xiang-Nan LI a Qi YANG, 2021. Effects of the Sn100 kVp Tube Voltage Mode on the Radiation Dose and Image Quality of Dual-Source Computed Tomography Pulmonary Angiography. *International Journal of General Medicine* [online]. (14), 1033–1039. Dostupné z: <https://doi.org/10.2147/IJGM.S293173>

## 9. ZOZNAM SKRATIEK A ZNAČIEK

FZV UP - Fakulta zdravotníckych vied Univerzity Palackého v Olomouci

FN Brno - Fakultní nemocnice Brno

KRNM - Klinika radiologie a nukleární medicíny

CT – Výpočtová tomografia

CTPA - CT angiografia pľúcnych tepien (Computed tomography pulmonary angiography)

ml - mililiter

PACS - Systém archivácie a komunikácie obrázkov (Picture archiving and communication system)

BMI - index telesnej hmotnosti (Body Mass Index)

ROC - Receiver Operating Characteristic

PE - pľúcna embólia

CI-AKI - akútne poškodenie obličiek indukované kontrastnou látkou (Contrast-induced Acute Kidney Injury)

CIN - nefropatia indukovaná kontrastnou látkou (Contrast-induced nephropathy)

PC-AKI - postkontrastné akútne poškodenie obličiek (Post Contrast Acute Kidney Injury)

ESUR - Európska spoločnosť pre urogenitálnu rádiológiu (European Society of Urogenital Radiology)

ALARA - “as low as reasonably achievable”, “tak nízke, ako sa dá rozumne dosiahnuť”

DECT - dvojenergetické CT (Dual-Energy CT)

SPECT - jednofotónová emisná výpočtová tomografia (Single Photon Emission Computed Tomography)

HŽT - hlboká žilová trombóza

CDR - pravidlo klinického rozhodovania (Clinical Decision Rule)

PERC - kritérium pre vylúčenie pľúcnej embólie (Pulmonary Embolism Rule Out Criteria)

TTE - transthorakálna echokardiografia

mmHg - milimetrov ortuťového stĺpca

ms - milisekunda

ml/ s - mililiter za sekundu

CUS - kompresívna ultrasonografia

<sup>99m</sup>Tc - 99 metastabilné technécium

SPECT/CT - hybridná metóda, spojenie jednofotónovej emisnej výpočtovej tomografie a výpočtovej tomografie

mSv - miliSievert  
HU - Hounsfieldova jednotka alebo Hounsfieldovo číslo (Hounsfield unit)  
k.l. - kontrastná látka  
CTA - CT angiografia (Computed Tomography Angiography)  
mgI/ ml - miligramov jódu na mililiter  
VRT - Volume Rendering Technique  
MIP - Maximum Intensity Projection  
MZ ČR- Ministerstvo zdravotníctva Českej republiky  
ROI - oblasť záujmu (Region of Interest)  
i.v. - intravenózne, vnútro žilovo  
DSCT - dvojzdrojová výpočtová tomografia (Dual-Source CT)  
VNC - virtuálne natívny obraz (virtual non-contrast image)  
VMI - virtuálne monoenergetický obraz (virtual monoenergetic image)  
keV - kiloelektrónvolt  
 $\mu\text{mol/ l}$  - mikromol na liter  
eGFR - odhadovaná rýchlosť glomerulárnej filtrácie (Estimated Glomerular Filtration Rate)  
H<sub>0</sub> - nulová hypotéza  
H<sub>A</sub> - alternatívna hypotéza  
KTI - kardiotorakálny index (cardiothoracic index)  
STD - smerodajná odchýlka (Standard Deviation)  
SNR - pomer signál-šum (signal-to-noise ratio)  
CNT - pomer kontrast-šum (contrast-to-noise ratio)  
pľ. - pľúcny/ -a/ -e  
AVCR - kontrastný pomer medzi tepnami a žilami (Arteriovenous Contrast Ratio)  
H - testovacie kritérium pre Kruskal-Wallisovu modifikáciu One-way ANOVA testu  
F - testovacie kritérium pre One-way ANOVA test  
k - stupeň voľnosti  
N - celkový počet súboru  
HRCT - CT s vysokým rozlíšením (High-resolution CT)  
kVp - kilovoltážny vrchol (kilovoltage peak)  
FN Brno - Fakultní nemocnice Brno

## 10. ZOZNAM TABULIEK

<i>Tabuľka 1</i> Prejavy pri podozrení pľúcnej embólie.....	11
<i>Tabuľka 2</i> Výhody a nevýhody zobrazovacích modalít pri podozrení na PE.....	20
<i>Tabuľka 3</i> Vyšetrovací protokol CTPA z KRNM FN Brno.....	31
<i>Tabuľka 4</i> Parametre viacfázovej aplikácie 30 ml k.l. ....	32
<i>Tabuľka 5</i> Počty a percentuálne vyjadrenie pozitívnej diagnózy PE.....	41
<i>Tabuľka 6</i> Počet a percentuálne vyjadrenie diagnózy, kedy nebolo možné jednoznačne vylúčiť PE ...	43
<i>Tabuľka 7</i> Vypočítané parametre z denzít pre celý výskumný súbor.....	44
<i>Tabuľka 8</i> Parametre Kruskal-Wallisovho One-way ANOVA testu pre objem aplikovanej k.l. a kvalitu vyšetrenia.....	46
<i>Tabuľka 9</i> Parametre Spearmanovho korelačného koeficientu pre objem aplikovanej k.l. a kvality vyšetrenia.....	46
<i>Tabuľka 10</i> Počty a percentuálne vyjadrenie objemu aplikovanej k.l. pre celý výskumný súbor .....	48
<i>Tabuľka 11</i> Parametre Kruskal-Wallisovho One-way ANOVA testu pre vek pacienta a kvalitu vyšetrenia .....	49
<i>Tabuľka 12</i> Parametre Spearmanovho korelačného koeficientu pre vek pacienta a kvalitu vyšetrenia	49
<i>Tabuľka 13</i> Deskriptívna štatistika veku pre celý výskumný súbor .....	50
<i>Tabuľka 14</i> Parametre One-way ANOVA testu pre KTI a kvalitu vyšetrenia .....	52
<i>Tabuľka 15</i> Parametre Pearsonovho korelačného koeficientu pre KTI a kvalitu vyšetrenia.....	52
<i>Tabuľka 16</i> Deskriptívna štatistika kardiotorakálneho indexu pre celý výskumný súbor .....	53
<i>Tabuľka 17</i> Parametre Kruskal-Wallisovho One-way ANOVA testu pre hrúbku tuku nad sternom a kvalitou vyšetrenia.....	55
<i>Tabuľka 18</i> Deskriptívna štatistika hrúbky tuku nad sternom pre celý výskumný súbor.....	55
<i>Tabuľka 19</i> Parametre Kruskal-Wallisovho One-way ANOVA testu pre BMI pacienta a kvalitu vyšetrenia.....	56
<i>Tabuľka 20</i> Parametre Spearmanovho korelačného koeficientu pre BMI pacienta a kvalitu vyšetrenia .....	56
<i>Tabuľka 21</i> Deskriptívna štatistika BMI pre celý výskumný súbor .....	57
<i>Tabuľka 22</i> Parametre Kruskal-Wallisovho One-way ANOVA testu pre pohlavie a kvalitu vyšetrenia	59
<i>Tabuľka 23</i> Parametre Spearmanovho korelačného koeficientu pre pohlavie a kvalitu vyšetrenia .....	59
<i>Tabuľka 24</i> Parametre viacfázovej aplikácie 25 ml k.l. ....	67
<i>Tabuľka 25</i> Vypočítané parametre z denzít pre skupinu žien.....	88
<i>Tabuľka 26</i> Vypočítané parametre z denzít pre skupinu mužov .....	88
<i>Tabuľka 27</i> Počet a percentuálne zastúpenie objemu aplikovanej k.l. pre skupinu žien.....	89
<i>Tabuľka 28</i> Počet a percentuálne zastúpenie objemu aplikovanej k.l. pre skupinu mužov.....	89
<i>Tabuľka 29</i> Deskriptívna štatistika veku pre ženy.....	90

<i>Tabuľka 30 Deskriptívna štatistika veku pre mužov.....</i>	<i>90</i>
<i>Tabuľka 31 Deskriptívna štatistika KTI pre ženy.....</i>	<i>91</i>
<i>Tabuľka 32 Deskriptívna štatistika KTI pre mužov.....</i>	<i>91</i>
<i>Tabuľka 33 Deskriptívna štatistika hrúbky tuku nad sternom pre ženy .....</i>	<i>92</i>
<i>Tabuľka 34 Deskriptívna štatistika hrúbky tuku nad sternom pre mužov .....</i>	<i>92</i>
<i>Tabuľka 35 Deskriptívna štatistika BMI pre ženy.....</i>	<i>93</i>
<i>Tabuľka 36 Deskriptívna štatistika BMI pre mužov.....</i>	<i>93</i>



## 11. ZOZNAM OBRÁZKOV

<i>Obrázok 1 Schéma detekcie dvoch energetických spektier röntgenového žiarenia na spektrálnom CT</i>	22
<i>Obrázok 2 Zjednodušená schéma spektrálneho CT</i> .....	22
<i>Obrázok 3 Schéma postprocesingového spracovania na spektrálnom CT</i> .....	22
<i>Obrázok 4 Porovnanie kontrastnej náplne v konvenčnom zobrazení (vľavo) a vo virtuálnom 40keV monoenergetickom zobrazení (vpravo)</i> .....	24
<i>Obrázok 5 Možnosti postprocesingového zobrazenia na spektrálnom CT a) jódový obraz, b) virtuálne natívny obraz, c) obraz založený na efektívnom atómovom čísle, d) virtuálne monoenergetické obrazy na 40keV, 60keV, 80keV a 100keV</i> .....	24
<i>Obrázok 6 Meranie šírky hrudníka a srdcového tieňa na topograme</i> .....	33
<i>Obrázok 7 Meranie denzity v aortálnom oblúku</i> .....	34
<i>Obrázok 8 Meranie denzity pred bifurkáciou hlavnej pľ. tepny, denzity pozadia, denzity paravertebrálnych svalov a meranie hrúbky tuku nad sternom</i> .....	34
<i>Obrázok 9 Meranie denzity v pravej vetve truncus pulmonalis</i> .....	35
<i>Obrázok 10 Meranie denzity v ľavej vetve truncus pulmonalis</i> .....	35
<i>Obrázok 11 Meranie denzity v pravej lobárnej tepne</i> .....	35
<i>Obrázok 12 Meranie denzity v ľavej pľúcnej žile</i> .....	36
<i>Obrázok 13 Meranie denzity v pravej pľúcnej žile</i> .....	36
<i>Obrázok 14 Centrálna PE u 67-ročného muža</i> .....	42
<i>Obrázok 15 Centrálna PE u 57-ročnej ženy</i> .....	42
<i>Obrázok 16 Prípady vyšetrení zo skupiny kvality 5</i> .....	43
<i>Obrázok 17 Prípady vyšetrenia s kvalitou 4 v konvenčnom zobrazení (vľavo) a v 55 keV monoenergetickom zobrazení (vpravo)</i> .....	45
<i>Obrázok 18 Prípady vyšetrenia s kvalitou 3 v konvenčnom zobrazení (vľavo) a v 55 keV monoenergetickom zobrazení (vpravo)</i> .....	45
<i>Obrázok 19 Prípady vyšetrenia s kvalitou 1 v konvenčnom zobrazení (vľavo) a v 55 keV monoenergetickom zobrazení (vpravo)</i> .....	47
<i>Obrázok 20 Prípady vyšetrenia kvality 4 v konvenčnom zobrazení (vľavo) a v 55 keV monoenergetickom zobrazení (vpravo)</i> .....	48
<i>Obrázok 21 Prípady vyšetrenia CTPA 87-ročnej ženy po aplikácii 25 ml k.l. v konvenčnom zobrazení (vľavo) a v 55 keV monoenergetickom zobrazení (vpravo)</i> .....	68

## 12. ZOZNAM GRAFOV

<i>Graf 1 Vekové skupiny výskumného súboru v intervale 5 rokov</i> .....	39
<i>Graf 2 Vekové skupiny výskumného súboru podľa pohlavia v intervale 10 rokov</i> .....	39
<i>Graf 3 Výskyt PE vo výskumnom súbore, v skupine žien a v skupine mužov</i> .....	40
<i>Graf 4 Spearmanov korelačný vzťah medzi objemom aplikovanej k.l. a kvalitou vyšetrenia</i> .....	46
<i>Graf 5 Spearmanov korelačný vzťah medzi vekom pacienta a kvalitou vyšetrenia</i> .....	50
<i>Graf 6 ROC krivka vo vzťahu k veku mužov</i> .....	51
<i>Graf 7 ROC krivka vo vzťahu k veku žien</i> .....	52
<i>Graf 8 Pearsonov korelačný vzťah medzi KTI a kvalitou vyšetrenia</i> .....	53
<i>Graf 9 ROC krivka vo vzťahu ku kardiotorakálnemu indexu mužov</i> .....	54
<i>Graf 10 ROC krivka vo vzťahu ku kardiotorakálnemu indexu žien</i> .....	54
<i>Graf 11 Spearmanov korelačný vzťah medzi BMI a kvalitou vyšetrenia</i> .....	57
<i>Graf 12 ROC krivka vo vzťahu k výške mužov</i> .....	58
<i>Graf 13 ROC krivka vo vzťahu k telesnej hmotnosti mužov</i> .....	58
<i>Graf 14 ROC krivka vo vzťahu k telesnej hmotnosti žien</i> .....	59
<i>Graf 15 Spearmanov korelačný vzťah medzi pohlavím a kvalitou vyšetrenia</i> .....	60
<i>Graf 16 Výškové skupiny celého výskumného súboru v intervale 5 cm</i> .....	86
<i>Graf 17 Výškové skupiny rozdelené podľa pohlavia v intervale 5 cm</i> .....	87
<i>Graf 18 Váhové skupiny celého výskumného súboru v intervale 10 kg</i> .....	87
<i>Graf 19 Váhové skupiny rozdelené podľa pohlavia v intervale 10 kg</i> .....	87

### 13. ZOZNAM PRÍLOH

<i>Príloha 1 Súhlas Etickej komisie FZV UP.....</i>	<i>83</i>
<i>Príloha 2 Súhlas FN Brno so zberom dát pre študijné účely .....</i>	<i>84</i>
<i>Príloha 3 Technické parametre injektora Accutron CT-D MEDTRON.....</i>	<i>86</i>
<i>Príloha 4 Grafy zastúpenia pacientov vo výškových skupinách v intervale 5 cm .....</i>	<i>86</i>
<i>Príloha 5 Grafy zastúpenia pacientov vo váhových skupinách v intervale 10 kg .....</i>	<i>87</i>
<i>Príloha 6 Vypočítané parametre denzít podľa pohlavia .....</i>	<i>88</i>
<i>Príloha 7 Počet a percentuálne vyjadrenie objemu aplikovanej k.l. rozdelenie podľa pohlaví .....</i>	<i>89</i>
<i>Príloha 8 Deskriptívna štatistika veku po rozdelení podľa pohlavia .....</i>	<i>90</i>
<i>Príloha 9 Deskriptívna štatistika KTI po rozdelení podľa pohlavia .....</i>	<i>91</i>
<i>Príloha 10 Deskriptívna štatistika hrúbky tuku nad sternom po rozdelení podľa pohlavia.....</i>	<i>92</i>
<i>Príloha 11 Deskriptívna štatistika BMI po rozdelení podľa pohlavia.....</i>	<i>93</i>

## 14. PRÍLOHY

### Príloha 1 Súhlas Etickej komisie FZV UP



Fakulta  
zdravotnických vied

UPOL - 136445/1070-2022

Vážená pani  
Bc. Paulína Duchoňová

2022-06-17

Vyjádrení Etickej komise FZV UP


Vážená pani bakalárko,

na základe Vašej Žiadosti o stanovisko Etickej komise FZV UP bola Vaša výskumná časť diplomovej práce posouzena a po vyhodnocení všetkých zaslaných dokumentů Vám sdělujeme, že diplomové práci s názvem „**Angiografia truncus pulmonalis na spektrálnom CT**“, jehož jste hlavní řešitelkou, bylo uděleno

**souhlasné stanovisko Etickej komise FZV UP .**

S pozdravem,

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

  
Mgr. Renáta Váverková  
předsedkyně  
Etickej komise FZV UP

Príloha 2 Súhlas FN Brno so zberom dát pre študijné účely



FAKULTNÍ NEMOCNICE BRNO  
Jihlavská 20, 625 00 Brno  
ICO 652 69 705

ODDĚLENÍ ORGANIZACE ŘÍZENÍ  
Tel: 532 232 667

**ŽÁDOST O SBĚR DAT/POSKYTNUTÍ INFORMACE PRO STUDIJNÍ ÚČELY**  
*v souvislosti se závěrečnou diplomovou (odbornou) prací studentů škol*

**Vyplňuje žadatel:**

Jméno a příjmení žadatele: Bc. PAULÍNA DUCHOŇOVÁ  
Datum narození: 2.4.1979 Telefon: 778 964 068 E-mail: paulina.duchonova@fgg.muni.cz  
Adresa trvalého bydliště: Na hlánský 56, Trnava 917 01, Slovenská republika  
Přesný název školy/fakulty: Univerzita Palackého v Olomouci - Fakulta zdravotnických věd  
Obor studia: Zehrazovací technologie v radiodiagnostice

Vyplňte, prosím, zodpovědně a úplně všechny údaje a otázky. **Správnou odpověď zakřížkujte!**

Forma studia:  prezenční  kombinovaná  
Téma závěrečné práce: Angiografie truncus pulmonalis na spěchotnom CT

Účel žádosti:  
 sběr dat/zjišťování informací pro zpracování diplomové/bakalářské práce  
 sběr dat/zjišťování informací pro zpracování seminární/odborné práce  
 sběr dat/zjišťování informací pro jiný účel: (uveďte): .....

Vedoucí práce (jméno a příjmení vedoucího práce a název školy/instituce, ve které je zaměstnán)  
MUDr. Tomáš Andrašina, Ph.D. - FN Brno - KRNM

Žadatel je zaměstnancem/rodinným příslušníkem zaměstnance FN Brno:  
 ANO Pracoviště/Jméno zaměstnance FN Brno: Duchonova Paulina - KRNM  NE  
(informace slouží k posouzení žádosti v případě dotazníkové akce - benefit pro zaměstnance FN Brno a rodinné příslušníky)

**Požadavek na (zaškrtněte):**

V případě, že žadatel potřebuje získat informaci o počtech vyšetření/ošetření a **předem má souhlas konkrétního pracoviště, že tato data mu budou poskytnuta vedením tohoto pracoviště bez nutnosti jeho nahližení do zdravotnické dokumentace pacientů, vyplní oddíl „Ostatní – statistická data“**. Jinak vyplní oddíl „Nahližení do zdr. dokumentace“.

**Dotazníková akce**  pro pacienty FN Brno  pro zaměstnance FN Brno

Počet respondentů, kteří budou vyplňovat dotazník: .....

Termín, kdy proběhne vyplnění dotazníků: od: ..... do: .....

Pracoviště, kde bude dotazníková akce probíhat: .....

*K vyplněné žádosti je nutno doložit vzor vašeho dotazníku!*

**Nahližení do zdravotnické dokumentace**

Předpokládaný počet kusů zdravotnické dokumentace, do které bude žadatel nahližet: 3.000 .....

Termín, ve kterém bude žadatel nahližet do zdravotnické dokumentace: od 1.1.2022 do 1.5.2023 .....

Pracoviště, ze kterého/ktých bude zdravotnická dokumentace pacientů: KRNM .....

Přesná specifikace, co bude žadatel vyhledávat ve zdravotnické dokumentaci: .....

Technické parametre ? Ct vyšetření plicních tepen

**Ostatní**

kazuistika – počet: .....

vedení rozhovoru s pacientem FN Brno – počet pacientů: ..... z kterého pracoviště: .....

vedení rozhovoru se zaměstnancem FN Brno – počet zaměstnanců: ..... povolání: .....  
z kterého pracoviště: .....

A vyplněné žádosti je nutno doložit vzor rozhovoru (orientační okruh otázek)!

statistická data – informace o počtech např. zdravotnických výkonů, vyšetření, určité agendy (např. porodnost), přístrojích

jiné (specifikujte): .....

Za které období budou data zjišťována: .....

Kdy proběhne sběr dat žadatelem: od: ..... do: .....

Pracoviště, kde bude sběr dat probíhat: .....

Přesná specifikace co bude žadatel zjišťovat: .....

Budete FN Brno uvádět jako „zdroj dat“ ve své práci?:  ANO  NE

**Poučení: Žadatel bere na vědomí, získaná data mohou být použita pouze pro účel uvedený v této žádosti. Další nakládání s daty bez souhlasu FN Brno pro jiný účel je považováno za neoprávněné.**

Žadatel souhlasí se zpracováním jeho osobních údajů dle zásad GDPR pro účely evidence této žádosti. Zavazuje se zachovat mlčenlivost o skutečnostech, o nichž se dozví v souvislosti s prováděným výzkumem a sběrem dat/informací. V případě, že žadatel uvádí FN Brno jako „zdroj informací“, je jeho povinností předložit zpracované výsledky ke schválení vedoucímu zaměstnanci v přímé podřízenosti příslušného zdravotnického náměstka FN Brno, který žádost o sběr dat/poskytnutí informace ve FN Brno povolil. Prezentace výsledků s uvedením jména Fakultní nemocnice Brno je možná pouze s jeho souhlasem.

Vyplněnou žádost odešlete do FN Brno:

a) elektronicky (bez vašeho podpisu, který je nahrazen tím, že odesíláte žádost ze své e-mailové adresy) na adresu: Bastarova.Jana@fnbrno.cz

b) nebo v listinné formě (s vaším podpisem na žádosti) na adresu:  
Fakultní nemocnice Brno  
Oddělení organizace řízení – Jana Baštařová, Jihlavská 20, 625 00 Brno  
**29-12-2021**

Datum: ..... Podpis: .....

**Vš plňuje a potvrzuje FN Brno:**

Oddělení organizace řízení:

Zaevidováno na OOR dne: **30-12-2021** pod číslem: **2021/210751/FN Brno - 2146**

Vyřádění vedoucího zaměstnance příslušného útvaru, kde bude probíhat sběr dat/informací:

souhlas/nesouhlas - útvar: **KRNM - Mgr. MARTIN BUCKA**

Vedoucími zaměstnanci v přímé podřízenosti příslušného náměstka FN Brno postoupeno dne **30-12-2021**

Žadatel je zaměstnancem FN Brno od: **1.7.2020** útvaru: **KRNM** na pozici: **RADIOLOGICKÝ ASISTENT**

Žadatel je rodinným příslušníkem zaměstnance FN Brno: ..... z útvaru: .....

V případě placené služby poplatky dle Ceníku EO viz [www.fnbrno.cz/Odborná veřejnost/Informace pro studijní účely](http://www.fnbrno.cz/Odborná_veřejnost/Informace_pro_studijní_účely).

souhlas žadatele s placenou službou

nesouhlas žadatele s placenou službou, požadavek na storno žádosti ze strany žadatele

Způsob platby:  na pokladně FN Brno


fakturou na účet FN Brno

Částka ..... připsána na účet FN Brno dne: .....

V Brně dne **31-12-2021**

Fakultní nemocnice Brno  
Jihlavská 20, 625 00 Brno

⑧

  
referent/vedoucí OOR

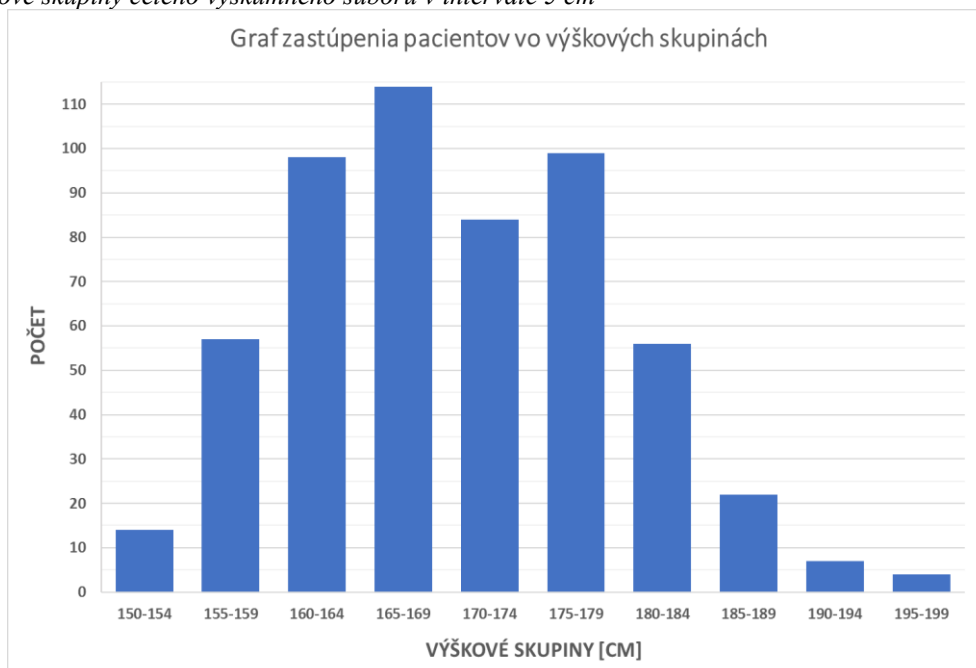
### Príloha 3 Technické parametre injektora Accutron CT-D MEDTRON

Injekčné protokoly	možnosť úpravy až 80 protokolov podľa užívateľa
Maximálny injekčný objem	200 ml
Čiastočný injekčný objem	1-200 ml, možnosť naprogramovať s 1 ml nárastom
Maximálny injekčný tlak	21 bar, možnosť naprogramovať od 5 do 21 s nárastom 1 baru
Prietok 2 vstrekovacích jednotiek	0,1-10 ml/s, možnosť navyšovania po 0,1 ml/s, prípadne nastavenie prietoku a trvanie fázy
Počet fáz	1 až 6
Oneskorenie vstrekovania	0-255 s
Oneskorenie fázy	0-255 s
Oneskorenie skenu	0-255 s

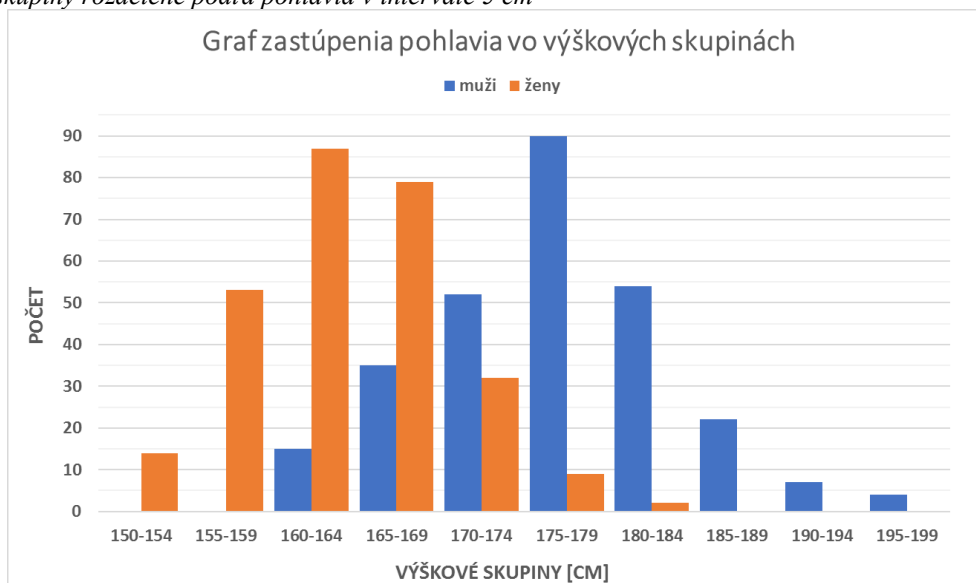
(LUMATEC, s.r.o.)

### Príloha 4 Grafy zastúpenia pacientov vo výškových skupinách v intervale 5 cm

Graf 16 Výškové skupiny celého výskumného súboru v intervale 5 cm

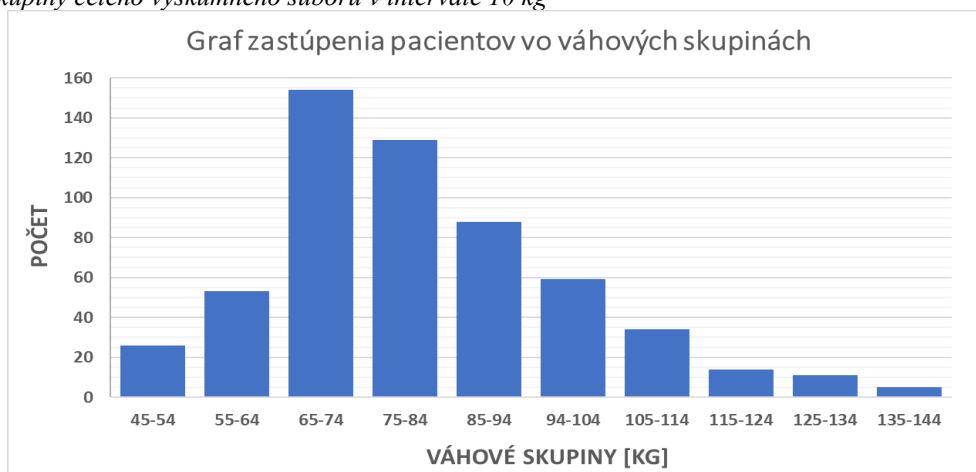


Graf 17 Výškové skupiny rozdelené podľa pohlavia v intervale 5 cm

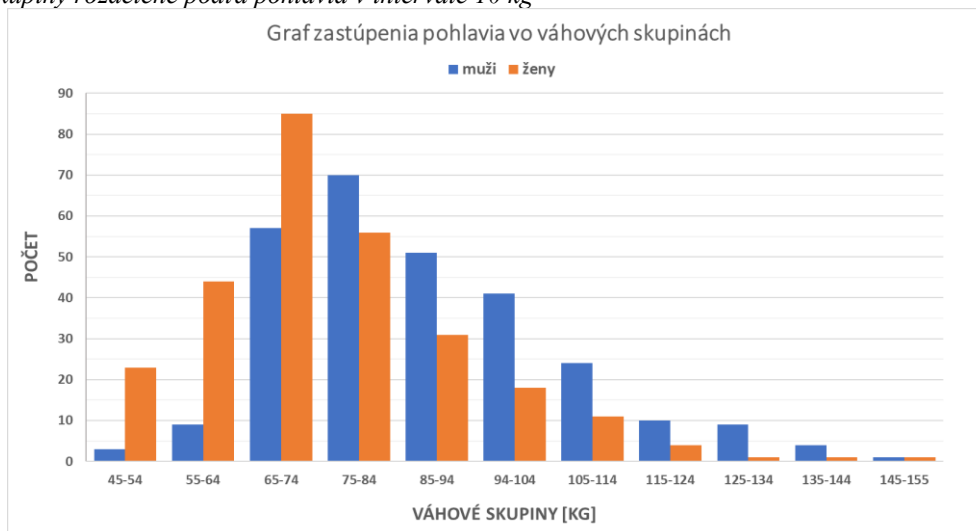


Príloha 5 Grafy zastúpenia pacientov vo váhových skupinách v intervale 10 kg

Graf 18 Váhové skupiny celého výskumného súboru v intervale 10 kg



Graf 19 Váhové skupiny rozdelené podľa pohlavia v intervale 10 kg





## Príloha 6 Vypočítané parametre denzít podľa pohlavia

Tabuľka 25 Vypočítané parametre z denzít pre skupinu žien

ŽENY							
	Denzita pľ. tepien [HU]	Denzita pľ. tepien monoE 55 keV [HU]	Denzita pľ. žíl [HU]	AVC R	Šum	SNR	CNR
Ženy	251,2 ± 100,8	378,7 ± 193,1	149 ± 56,2	1,68	14,61	18,46	15,72
Kvalita 1	332,6 ± 81,7	662,1 ± 79,6	154,9 ± 54,9	2,1	15,16	22,66	20,13
Kvalita 2	200 ± 28,3	382 ± 65,4	121,3 ± 28,7	1,71	15,28	14,18	11,46
Kvalita 3	196,8 ± 71,8	350,7 ± 103,4	191,5 ± 59,5	1,08	9,63	22,8	18,3
Kvalita 4	143,1 ± 68,7	211,8 ± 86,2	235 ± 73,4	0,76	17,73	9,45	6,77
Kvalita 5	164,9 ± 39,9	227,6 ± 37,8	109,2 ± 43,1	1,51	13,7	8,82	8,38

Tabuľka 26 Vypočítané parametre z denzít pre skupinu mužov

MUŽI							
	Denzita pľ. tepien [HU]	Denzita pľ. tepien monoE 55 keV [HU]	Denzita pľ. žíl [HU]	AVCR	Šum	SNR	CNR
Muži	258,6 ± 85,5	317,5 ± 111,5	135,8 ± 44,3	1,94	14,26	19,13	16,13
Kvalita 1	306,2 ± 65,7	655,3 ± 57,3	134 ± 47,2	2,25	16,5	19,19	16,63
Kvalita 2	211,8 ± 28,9	404,5 ± 41,8	124 ± 33,4	1,69	12,84	16,29	13,04
Kvalita 3	169,5 ± 41,5	306,8 ± 117,3	146,35 ± 37,7	1,13	10,47	16,69	12,46
Kvalita 4	150,8 ± 38,3	223,2 ± 45,9	181,9 ± 38,2	0,79	16,54	8,71	6,01
Kvalita 5	96,1 ± 44,3	132,7 ± 38,4	59,5 ± 50,1	1,62	10,9	8,82	4,53

Príloha 7 Počet a percentuálne vyjadrenie objemu aplikovanej k.l. rozdelenie podľa pohlaví

Tabuľka 27 Počet a percentuálne zastúpenie objemu aplikovanej k.l. pre skupinu žien

Objem kontrastnej látky ŽENY								
	30 ml - počet	30 ml - počet v % z celého súboru	50 ml - počet	50 ml - počet v % z celého súboru	60 ml - počet	60 ml - počet v % z celého súboru	80 ml - počet	80 ml - počet v % z celého súboru
ženy	265	47,7	9	1,6	1	0,2	1	0,2
Kvalita 1	176	31,7	5	0,9			1	0,2
Kvalita 2	60	10,8	1	0,2				
Kvalita 3	21	3,8	2	0,4	1	0,2		
Kvalita 4	7	1,3	2	0,4				
Kvalita 5	1	0,2						

Tabuľka 28 Počet a percentuálne zastúpenie objemu aplikovanej k.l. pre skupinu mužov

Objem kontrastnej látky MUŽI								
	30 ml - počet	30 ml - počet v % z celého súboru	50 ml - počet	50 ml - počet v % z celého súboru	60 ml - počet	60 ml - počet v % z celého súboru	80 ml - počet	80 ml - počet v % z celého súboru
muži	260	46,9	17	3,1	1	0,2	1	0,2
Kvalita 1	115	20,7	5	0,9				
Kvalita 2	92	16,6	1	0,2				
Kvalita 3	33	5,9	5	0,9	1	0,2		
Kvalita 4	19	3,4	6	1,1			1	0,2
Kvalita 5	1	0,2						

Príloha 8 Deskriptívna štatistika veku po rozdelení podľa pohlavia

Tabuľka 29 Deskriptívna štatistika veku pre ženy

<b>VEK ŽENY</b>				
	medián vek $\pm$ STD	Počet	relatívny počet v % z celého súboru	relatívny počet v zo žien
Celkovo	67,8 $\pm$ 17,6	276	49,7	100
Kvalita 1	70,5 $\pm$ 17,2	182	32,8	65,9
Kvalita 2	62,8 $\pm$ 17,4	60	10,8	21,7
Kvalita 3	56,6 $\pm$ 17	24	4,3	8,7
Kvalita 4	52,8 $\pm$ 18,3	9	1,6	3,3
Kvalita 5	52,8	1	0,2	0,4

Tabuľka 30 Deskriptívna štatistika veku pre mužov

<b>VEK MUŽI</b>				
	medián vek $\pm$ STD	Počet	Počet v % z celého súboru	Počet v % z mužov
Celkovo	61,6 $\pm$ 16	279	50,3	100
Kvalita 1	68,5 $\pm$ 15,3	120	21,6	43
Kvalita 2	60,7 $\pm$ 15,9	93	16,8	33,3
Kvalita 3	57,8 $\pm$ 15,2	39	7	14
Kvalita 4	48,8 $\pm$ 12,4	26	4,7	9,3
Kvalita 5	62,4	1	0,2	0,4

Príloha 9 Deskriptívna štatistika KTI po rozdelení podľa pohlavia

Tabuľka 31 Deskriptívna štatistika KTI pre ženy

<b>Kardiorakálny index ŽENY</b>					
	Medián	Smerodajná odchýlka	Rozsah	Počet	Počet v %
Celkovo	0,45	0,05	0,33-0,61	276	49,7
Kvalita 1	0,46	0,05	0,33-0,6	182	32,8
Kvalita 2	0,45	0,06	0,35-0,61	60	10,8
Kvalita 3	0,45	0,04	0,34-0,52	24	4,3
Kvalita 4	0,44	0,05	0,38-0,53	9	1,6
Kvalita 5	0,45			1	0,2

Tabuľka 32 Deskriptívna štatistika KTI pre mužov

<b>Kardiorakálny index MUŽI</b>					
	Medián	Smerodajná odchýlka	Rozsah	Počet	Počet v %
Celkovo	0,44	0,05	0,3-0,59	279	50,3
Kvalita 1	0,43	0,06	0,3-0,58	120	21,6
Kvalita 2	0,46	0,05	0,34-0,59	93	16,8
Kvalita 3	0,43	0,4	0,35-0,52	39	7
Kvalita 4	0,41	0,04	0,33-0,47	26	4,7
Kvalita 5	0,39			1	0,2

Príloha 10 Deskriptívna štatistika hrúbky tuku nad sternom po rozdelení podľa pohlavia

Tabuľka 33 Deskriptívna štatistika hrúbky tuku nad sternom pre ženy

<b>Hrúbka tuku nad sternom ŽENY</b>					
	Medián	Smerodajná odchýlka	Rozsah	Počet	Počet v %
Celkovo	1,8	0,93	0,1-5,5	276	49,7
Kvalita 1	1,7	0,94	0,1-5,5	182	32,8
Kvalita 2	2,15	0,98	0,5-3,9	60	10,8
Kvalita 3	1,75	0,75	0,5-3,2	24	4,3
Kvalita 4	1,4	0,92	0,8-3,2	9	1,6
Kvalita 5	1,4			1	0,2

Tabuľka 34 Deskriptívna štatistika hrúbky tuku nad sternom pre mužov

<b>Hrúbka tuku nad sternom MUŽI</b>					
	Medián	Smerodajná odchýlka	Rozsah	Počet	Počet v %
Celkovo	1,3	0,74	0,2-4,4	279	50,3
Kvalita 1	1,1	0,69	0,2-4,4	120	21,6
Kvalita 2	1,4	0,69	0,3-4	93	16,8
Kvalita 3	1,3	0,9	0,4-4,4	39	7
Kvalita 4	1,5	0,72	0,2-3	26	4,7
Kvalita 5	1,4			1	0,2

Príloha 11 Deskriptívna štatistika BMI po rozdelení podľa pohlavia

Tabuľka 35 Deskriptívna štatistika BMI pre ženy

<b>Body Mass Index ŽENY</b>					
	Medián	Smerodajná odchýlka	Rozsah	Počet	Počet v %
Celkovo	27,4	6,2	17,3-51,9	276	49,7
Kvalita 1	26,8	6,2	17,3-51,9	182	32,8
Kvalita 2	28,5	6	17,9-44,5	60	10,8
Kvalita 3	26,2	6,3	18,8-44,5	24	4,3
Kvalita 4	28,9	7,1	19,6-44,5	9	1,6
Kvalita 5	30			1	0,2

Tabuľka 36 Deskriptívna štatistika BMI pre mužov

<b>Body Mass Index MUŽI</b>					
	Medián	Smerodajná odchýlka	Rozsah	Počet	Počet v %
Celkovo	27,4	5,2	14,2-44,9	279	50,3
Kvalita 1	25,7	4,3	14,2-44,8	120	21,6
Kvalita 2	28,3	5,1	20,8-44,2	93	16,8
Kvalita 3	29,2	6,5	22,9-44,9	39	7
Kvalita 4	29,7	4,7	22,5-40,8	26	4,7
Kvalita 5	22,9			1	0,2