

**Univerzita Karlova v Praze  
Lékařská fakulta v Plzni**



Autoreferát disertační práce

**ANALÝZA SLOŽENÍ MOČOVÝCH  
KONKREMENTŮ POMOCÍ VÝPOČETNÍ  
TOMOGRAFIE S DUÁLNÍ ENERGIÍ ZÁŘENÍ**

**COMPOSITION ANALYSIS OF URINARY  
CALCULI WITH DUAL-ENERGY COMPUTED  
TOMOGRAPHY**

**MUDr. Vondráková Alena**

**Plzeň 2015**

Disertační práce byla vypracována v rámci kombinovaného doktorského studijního programu „Radiologie a zobrazovací metody“ na Klinice zobrazovacích metod LF UK v Plzni.

Uchazeč: MUDr. Vondráková Alena

Klinika zobrazovacích metod LF UK a FN v Plzni  
Alej Svobody 80  
Plzeň 304 60

Předseda oborové rady: prof. MUDr. Vymazal Josef, DrSc.  
Doc. Ing. Tintěra Jaroslav, CSc.

Školitel: prof. MUDr. Ferda Jiří , PhD.

Klinika zobrazovacích metod LF UK a FN v Plzni  
Alej Svobody 80  
Plzeň 304 60

Oponenti: doc. MUDr. Mechl Marek, PhD. , MBA  
Radiologická klinika LF MU a FN v Brně

MUDr. Ungermann Leoš, PhD.  
Radiodiagnostické oddělení, Pardubická krajská nemocnice, a.s.

Obhajoba disertační práce před komisí pro obhajobu disertačních prací studijního programu Radiologie a zobrazovací metody se koná dne: v: hod.

Místo obhajoby:

S disertační prací je možno se seznámit na děkanátě Lékařské fakulty Univerzity Karlovy v Plzni, Husova 3, Plzeň.

## Obsah

Abstrakt.....	4
Summary.....	5
Úvod.....	6
Cíle práce.....	8
Materiál a metodika.....	8
Výsledky.....	13
Diskuze.....	19
Soubor.....	19
Technika vyšetření.....	20
Analýza dat DECT.....	22
Výsledky.....	22
Radiační zátěž.....	24
Závěr.....	29
Použitá literatura.....	31
Seznam publikovaných odborných prací.....	35
Monografie.....	35
Publikace v zahraničních časopisech s IF.....	35

## Abstrakt

Urolitiáza se řadí mezi civilizační onemocnění. Otázka její včasné a precizní diagnostiky stále aktuální. Terapeutický postup v řešení urolitiázy se odvíjí od chemické skladby konkrétního močového konkrémentu, která se donedávna zjišťovala až po extrakci močového kamene z těla pacienta. Od konce 20. století se jako nová možnost diagnostiky v problematice urolitiázy zkoumá možnost využití techniky výpočetní tomografie s duální energií záření, která nově přináší možnost materiálové charakteristiky tkání in vivo.

Cílem předkládané práce bylo posoudit přesnost chemické analýzy urolitiázy pomocí výpočetní tomografie s duální energií záření (DECT) korelací jejich výsledků s laboratorní chemickou analýzou urolitiázy.

Zkoumaný soubor pacientů s urolitiázou se stával ze 70 jedinců, kteří podstoupili vyšetření pomocí DECT se zaměřením na chemickou analýzu močových konkrémentů in vivo. Následně byl proveden laboratorní rozbor extrahované urolitiázy u všech těchto pacientů. S ohledem na rozdělení urolitiázy do 4 hlavních typů podle chemické skladby konkrémentu byla pak posuzována shoda metody DECT a laboratorní. Shoda obou analytických metod byla zkoumána i na malém souboru naslepo vyšetřovaných konkrémentů (fantomů) o známé chemické skladbě.

Hlavním výstupem práce je potvrzení vysoké přesnosti metody DECT analýzy skladby urolitiázy a to v určování především základních typů močových konkrémentů s ohledem na následně volený terapeutický postup, což je pro klinické využití metody a pacienta hlavním přínosem. Při porovnávání radiačních zátěží využívaných diagnostických zobrazovacích metod v problematice urolitiázy nebyla potvrzena zvýšená radiační zátěž pro pacienta vyplývající z metody DECT analýzy konkrémentu.

## Summary

### *Composition analysis of urinary calculi with dual-energy computed tomography*

Urolithiasis is among lifestyle diseases. Question the timely and accurate diagnosis is still current. Therapeutic approach in dealing with kidney stones depends on the particular chemical composition of urinary stone. Since the end of the 20th century as a new diagnostic option in the problems of urolithiasis exploring the possibility of using techniques of DECT, which now brings the possibility of the material characteristics of tissues in vivo.

The aim of the present study was to assess the accuracy of chemical analysis stone disease DECT correlation of the results with laboratory chemical analysis of urolithiasis. The research sample of patients with urolithiasis became of the 70 individuals who underwent examination using DECT focusing on the chemical analysis of urinary calculi in vivo. Subsequently, analysis was made of laboratory extracted urolithiasis in all these patients. With regard to the distribution of urolithiasis into 4 main types according to the chemical composition of the stone was then assessed compliance DECT and laboratory methods. Consensus of both analytical methods were investigated on a small set of blind investigated calculi of known chemical composition ex vivo. The main outcome of this work is to confirm the high accuracy of the method DECT analysis of the composition of urolithiasis and especially in determining the basic types of urinary calculi with a view to subsequently chosen therapeutic approach, which is a method for clinical use, and the main benefit of the patient. When comparing radiation burdens of diagnostic imaging methods used in the problems of urolithiasis was not confirmed by the increased radiation dose to the patient resulting from the method of analysis DECT stone.

## Úvod

Urolitiáza představuje přítomnost patologické mineralizace v močovém traktu. Jedná se o typické multifaktoriální a systémové onemocnění. V České Republice se prevalence jejího výskytu udává kolem 4%. Typická je vysoká tendence k rekurenci v závislosti na chemické skladbě konkrementu, v naší populaci je udávána až kolem 60-70%. Postižena je většinou populace v produktivním věku. U dětí je výskyt obecně nízký (1). Příčin vedoucích ke vzniku urolitiázy je celá řada. Mezi vnitřní příčiny vzniku močových konkrementů řadíme faktory rasové, etnické, rodinné a vrozené fyziologické či anatomické předpoklady. K vnějším faktorům vzniku patří vliv klimatu, příjem tekutin, stravovací návyky v rámci rodiny i v rámci populace, obsah stopových prvků ve vodách a stravě, druh zaměstnání, terapeuticky užívaná chemoterapeutika. Mezi kauzální faktory vzniku urolitiázy lze tedy obecně zařadit hypersaturaci moči litogenními látkami, nedostatek inhibitorů krystalizace a agregace a změny pH moči. Typickou klinickou manifestací přítomnosti močového konkrementu v urotraktu jsou bolestivé až řezavé vjemy v průběhu močových cest, bolestivé nucení na močení, nevolnost, zvracení, bolestivé renální koliky, opakované močové infekty, hematurie a ve vážných, pokročilých stavech až anurie či známky urosepsy s možností progresu do multiorgánového selhání. Ovšem ani absence klinických příznaků nevylučuje přítomnost močového konkrementu. Intenzita a charakter potíží se liší podle velikosti a lokalizace močového kamene a dalších faktorů jako je například přítomnost infekce. Důsledky opožděné či nepřesně diagnostikované urolitiázy jsou tedy nejen sociální a ekonomické, ale mohou být až fatální. Proto je snaha o včasnou a precizní diagnostiku močových konkrementů stále vysoce aktuální. K diagnostice urolitiázy přispívají zejména metody zobrazovací a laboratorní. Dříve hojně využívané zobrazovací

skiagrafické metody jako prostý skiagram a intravenozní vylučovací urografie ztratily již své výsadní postavení v diagnostice urolitiázy, nejsou ale zcela opomíjené. Možnou nezářezovou alternativu představuje ultrasonografické vyšetření ledvin, kalichopánvičkového systému a močového měchýře, které má však své limitace. Role výpočetní tomografie stále nabývá na významu a dostává se v posledních dekádách do popředí diagnostiky urolitiázy, a to zejména pro svou dostupnost, vysokou senzitivitu, rychlost, neinvazivitu a možnost výborného morfologického zobrazení nejen celého urotraktu, ale i všech ostatních struktur a tkání ve vyšetřeném rozsahu. Kromě výpočetní tomografie s využitím monoenergetického záření se od konce 20. století objevuje i možnost využití zobrazení výpočetní tomografií s duální energií záření (DECT), která přináší možnost bližší materiálové charakteristiky tkání in vivo. Konkrétně v případě urolitiázy možnost chemické analýzy skladby konkrementu na základě absorpčních odlišností při použití dvou energií záření (2). Hlavním přínosem včasné znalosti chemického složení urolitiázy je možnost okamžitého zavedení cílené léčebné strategie. Terapeutické možnosti urolitiázy se totiž odvíjejí od chemické skladby močového konkrementu. Obecně zahrnují léčebné postupy neinvazivní – tj. hyperhydrataci a farmakologickou alkalizaci moči u solubilních (urátových) konkrementů; dále možnost extrakorporální litotrypse rázovou vlnou (LERV) u fosfátové litiázy a nakonec i invazivní metody jako perkutánní či ureteroskopická extrakce konkrementu (PEK) u velmi pevných (oxalátových) kamenů. Se zřetelem na důležitost znalosti chemického složení močových konkrementů při volbě nejvhodnější terapeutické strategie se metoda DECT chemické analýzy urolitiázy dosud jeví jako vhodná indikace využití DECT.

## **Cíle práce**

Vzhledem k dosud omezenému rozšíření metody DECT materiálové analýzy je cílem práce zhodnotit stupeň korelace výsledků DECT chemické analýzy urolitiázy s laboratorním chemickým rozbohem močových konkrementů a posoudit tak reálný přínos a spolehlivost metody DECT materiálové analýzy pro klinickou praxi a její zařazení do běžného diagnostického algoritmu urolitiázy. Dále je snahou práce posoudit a porovnat radiační zátěž u jednotlivých diagnostických zobrazovacích metod v problematice urolitiázy využívajících ionizující záření a vliv modifikací vyšetřovacích postupů při výpočetní tomografii na výslednou efektivní dávku pro pacienta.

## **Materiál a metodika**

Na našem pracovišti bylo pomocí DECT záření vyšetřeno v období od listopadu 2007 do prosince 2014 celkem 129 pacientů se suspektní či již diagnostikovanou urolitiázou, s cílem provést analýzu chemické skladby močových konkrementů in vivo. Z tohoto souboru vyšetřených pacientů byla vyčleněna skupina 70 pacientů ve věku od 16 do 83 let (33 žen, 37 mužů), u kterých byla postupně provedena i laboratorní analýza skladby urolitiázy pomocí polarizační mikroskopie či infračervené spektroskopie. Všichni pacienti souboru byli normální konstituce, nikdo nebyl extrémně obézní. Velikost analyzovaných konkrementů se pohybovala od 3 mm do 22 mm. Ve finálním souboru pacientů byla provedena korelace výsledků DECT analýzy skladby urolitiázy s výsledkem laboratorní analýzy.

Všechna vyšetření zkoumaného souboru byla provedena pomocí přístrojů se dvěma zdroji záření X, které pracovali o rozdílném napětí (140 kV a 80 kV), a dvěma detektorovými systémy. Osy obou systémů byly navzájem kolmé. Od listopadu 2007 byla vyšetření prováděna na přístroji Dual Source CT SOMATOM Definition, (Siemens Medical Solution,



Forchheim, Německo); od října 2011 pak na přístroji Dual Source CT Somatom Definition FLASH (Siemens Medical Solution, Forchheim, Německo). Vyšetření byla vždy realizována v rozsahu břicha a pánve, buď pouze nativně v případě požadavku pouhé chemické analýzy již známé urolitiázy, nebo postkontrastně v případě současného posouzení parenchymu ledviny nebo modelace dutého systému ledvin. Vyšetřovací protokoly na obou přístrojích shrnují -

Tabulka 1 - Vyšetřovací protokoly SOMATOM Definition a  
 Tabulka 2 - Vyšetřovací protokoly SOMATOM Defintion FLASH.

**Tabulka 1 - Vyšetřovací protokoly SOMATOM Definition**

	Dual Source CT SOMATOM Definition
Akvizice	zdroj A 140 kV / 75 eff. mAs zdroj B 80 kV / 350 eff. mAs pitch 0,7 kolimace 2x (32x 0,6) mm CareDose 4D on
Rekonstrukce dat	šíře vrstvy 0,75 mm increment 0,7 mm algoritmus pro DE
Analýza	Syngo Dual Energy Siemens Kidney stones

**Tabulka 2 - Vyšetřovací protokoly SOMATOM Defintion FLASH**

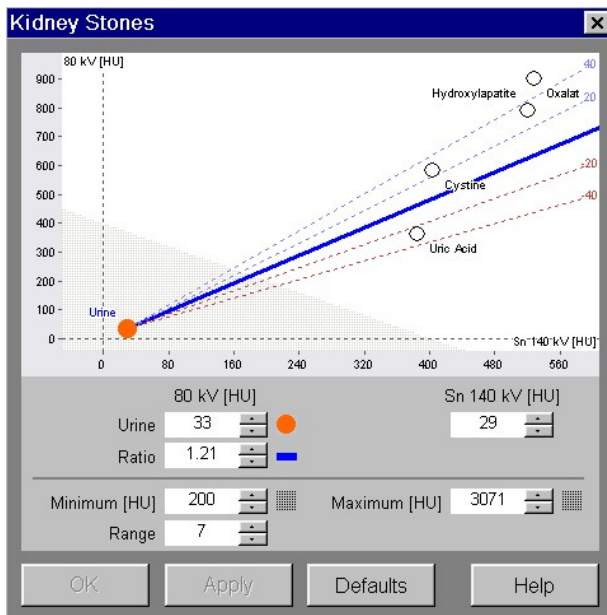
	Dual Source CT FLASH
Akvizice	zdroj A 140 kV / 75 eff. mAs zdroj B 80 kV / 350 eff. mAs pitch 0,6 kolimace 128 x 0,6 mm CareDose 4D on Care kV on

Rekonstrukce dat	šíře vrstvy 1 mm increment 0,6 mm algoritmus pro DE Iterative Reconstruction SAFIRE
Analýza	Syngo Dual Energy Siemens Kidney stones

V případě nízkodávkových protokolů jsme použili nastavení 100 kV a 40 mAs. Zařadili jsme i skenování v exkretorické fázi technikou low dose s využitím monoenergetického záření o napětí 80 kV. Konkrementy o známém chemickém složení (fantomy) vyšetřované naslepo ex vivo byly vloženy samostatně do nádobek s vodou a skenovány za podmínek shodných s protokolem pro nativní DECT analýzu urolitiázy s použitím duální energie záření. V případě postkontrastní studie bylo pacientovi aplikováno pomocí přetlakového injektoru 100 ml neionické kontrastní látky Iomeprolum s koncentrací 350 mg jódu/ml (Bracco, Milano, Itálie), rychlostí průtoku 4-5 ml/s, s následným záplachem 50 ml fyziologického roztoku. Pro monitoraci postupu kontrastní látky v cévním systému jsme vždy vyžívali metodu Bolus Tracking.

Získaná projekční data z obou detektorových systémů (tj. jak v kvalitě 140 kV, tak v kvalitě 80 kV) byla rekonstruována ve vrstvách 0,75 mm pro následné multiplanární zobrazení i trojrozměrné rekonstrukce a ve vrstvách 5 mm pro přehledné zobrazení. Pro dosažení nižší úrovně šumu v zobrazení bylo kalkulováno tzv. vážené průměrné zobrazení, které je ekvivalentní kvalitě zobrazení 120 kV, a vychází z poměru kvality obrazu 0,3 (80 kV : 140 kV). Obrazová data z obou zdrojů záření byla analyzována pomocí módu Kidney Stones, programu Syngo Dual Energy, Siemens - Obrázek 1 - Graf Kidney Stones.

Obrázek 1 - Graf Kidney Stones



V grafu Kidney Stones, z něhož analýza chemického složení urolitiázy vychází, jsou na horizontální ose zobrazeny denzitní hodnoty ze zdroje 140 kV, na vertikální ose denzitní hodnoty ze zdroje 80 kV. Porovnáním naměřených denzitních hodnot vyšetřovaného konkrementu s definovanými hodnotami základních typů urolitiázy v grafu lze dojít k přesnému výsledku chemického složení močového kamene. K DECT chemické analýze skladby močových konkrementů byl využíván algoritmus chemické dekompozice tří materiálů, který předpokládá směs vody, vápníku a kyseliny močové v každém voxelu. Algoritmus pak barevně kóduje modře ty voxely, které vykazují v duální energii chování obdobné vápníku, a červeně ty, které vykazují chování kyseliny močové.

Charakteristika chemické skladby urolitiázy v algoritmu chemické dekompozice tří materiálů je realizována buď pomocí barevného kódování nebo přesněji proměřováním denzitních hodnot konkrementu. Při barevném kódování software zobrazuje kalcifikované struktury jako kortikalis kosti a kalcifikované močové konkrementy modře a urátové konkrementy prosté vápníku červeně. Takto primárně rozlišuje typ urátové a non-urátové litiázy. Při modifikaci základního nastavení, spočívající v úpravě sklonu rozhraní 3-materiálové dekompozice v grafu Kidney Stones u každého jednotlivého konkrementu, lze barevné kodování konkrementů u pacientů porovnávat s přednastavenými hodnotami softwaru. Při proměřování denzitních hodnot konkrementu z obou sad obrazových dat a následném porovnávání zjištěných denzitních hodnot s hodnotami základních typů urolitiázy v grafu programového módu Kidney Stones, bylo možné s vysokou přesností určit chemickou skladbu urolitiázy. K minimalizaci partial volume efektu mezi konkrementem a okolní měkkou tkání či tukem se ukázalo vhodné proměřovat denzitní hodnoty v nastavení v kostním okně.

V případě požadavku na modelaci dutého systému či při přítomnosti makroskopické hematurie a podezření na neoplazii dutého systému se provádělo odložené skenování jednou energií záření (100 kV, v případě low dose techniky 80kV ) v exkretorické fázi v odstupu 10–15 minut, s následnou rekonstrukcí dutého systému ledvin. Bylo využíváno jednorázové aplikace bolusu intravenózní kontrastní látky a akvizice dat probíhala odděleně v nefrografické a exkretorické fázi. Technika split bolus aplikace kontrastní látky nebyla využívána.

Od 80. let 20. století se objevují v literatuře zmínky o možnostech využití kromě výpočetní tomografie s monoenergetickým zářením zobrazení výpočetní tomografií s duální energií záření (DECT), která přináší možnost fyzikálně-chemické analýzy tkání (3) (4) (5). Detekce a kvantifikace

obsahu chemických prvků ve tkáních je možná díky simultánní expozici vyšetřovaného objektu oběma zdroji záření X o odlišné energii, a to 80 kV a 140 kV. Software pak vyhodnocuje rozdíly v absorpci po expozici zářením s vyšší a nižší energií. Nejpropracovanější aplikací materiálové DECT analýzy prvků ve tkáních je t.č. analýza vápníku a jodu. Obě se v analýze chemické skladby urolitiázy pomocí DECT využívají - aplikace analýzy obsahu vápníku k diferenciaci mezi jednotlivými základními typy urolitiázy a aplikace analýzy jódu umožňuje zhotovení tzv. virtuálního nativního zobrazení, kdy je denzita tkáně na postkontrastním CT rozložena na složku příslušnou tkáni (tzv. virtuálně nativní) a složku obsahu jódu. Výhodou tohoto virtuálního nativního zobrazení je možnost zhotovení pouze postkontrastního zobrazení, bez nutnosti předchozích nativních skenů, což významně přispívá k redukci radiační zátěže pro pacienta a nijak nelimituje hodnocení močových konkrementů na postkontrastních skenech.

## **Výsledky**

Zkoumaný finální soubor pacientů se stával z 70 jedinců, u kterých byla provedena DECT i laboratorní analýza chemického složení močových konkrementů. Nejmladšímu pacientovi analyzovaného souboru bylo 16 let, nejstaršímu 83 let. V souboru bylo zastoupeno celkem 52,86% mužů a 47,14% žen. Rozložení potvrzuje častější výskyt urolitiázy v mužské populaci. Statistickou analýzou věkového rozmezí výskytu urolitiázy u jednotlivých pohlaví nebyl prokázán statisticky významný vztah veličin pohlaví a věku u pacientů s urolitiázou. Přehled podílu pohlaví a věkového spektra u jednotlivých základních typů urolitiázy v našem souboru ukazuje Tabulka 3 - Zastoupení pohlaví a průměrný věk.

**Tabulka 3 - Zastoupení pohlaví a průměrný věk**

	Počet	Muži	[%]	Ženy	[%]	Prům. věk	Věkové rozsah
<b>Oxalát</b>	32	15	46,9	17	53,1	50,5	25 - 82,6
<b>Urát</b>	25	15	60	10	40	60,3	34,7 - 75,8
<b>Hydroxylapatit</b>	5	3	60	2	40	42,6	15,6 - 66,8
<b>Smišený (oxalát+ hydroxylapatit)</b>	8	4	50	4	50	67,5	49,4 - 77,9

Zastoupení jednotlivých hlavních skupin urolitiázy v souboru ukazuje Tabulka 4 - Zastoupení hlavních typů urolitiázy v našem souboru - DECT analýza. Toto rozložení četnosti hlavních typů močových konkrementů zcela odpovídá údajům o výskytu jednotlivých skupin urolitiázy v populaci České Republiky.

**Tabulka 4 - Zastoupení hlavních typů urolitiázy v našem souboru - DECT analýza**

<b>DECT analýza</b>	<b>Celkem</b>	<b>Celkem</b>
<b>Oxalát</b>	45,71%	32
<b>Urát</b>	35,71%	25
<b>Hydroxylapatit</b>	7,14%	5
<b>Smišený (oxalát+hydroxylapatit)</b>	11,43%	8
<b>Celkový součet</b>	<b>100%</b>	<b>70</b>

Ze souboru pacientů bylo metodou DECT správně detekováno všech 70 konkrementů in vivo. Po korekci výsledků DECT analýzi podle laboratorního nálezu byl odhalen určitý stupeň chybovosti DECT analýzy v jednotlivých skupinách urolitiázy. Výsledky DECT analýzy po korelaci s následným laboratorním rozbohem močového konkrementu shrnuje Tabulka 5 - Výsledky DECT analýzy po korelaci s laboratorní analýzou.

**Tabulka 5 - Výsledky DECT analýzy po korelaci s laboratorní analýzou**

<b>DECT analýza</b>	<b>Chybně</b>	<b>Správně</b>	<b>Celkem</b>
<b>Oxalát</b>	4	28	32
<b>Urát</b>	0	25	25
<b>Hydroxylapatit</b>	1	4	5
<b>Oxalát+hydroxylapatit</b>	2	6	8
<b>Celkový součet</b>	7	63	70

Největší zatížení chybovostí DECT analýzi bylo patrné ve skupině smíšené urolitiázy, kdy nejčastěji DECT analýza prokazovala čistý oxalát nebo hydroxylapatit. Chybovost DECT analýzy byla patrná zejména u konkrementů menších rozměrů (tj. velikosti 4-6 mm). V případě, že DECT analýza určila jednu z chemických složek smíšené litiázy, jejíž přítomnost v konkrementu byla následně laboratorně potvrzena v minimálně v 50%, pak byla DECT analýza považována za správnou, i když kompletní určení skladby smíšené urolitiázy pomocí DECT nebylo přesné. Důvodem je fakt, že léčba u typu smíšené urolitiázy se řídí vždy podle majoritní chemické složky smíšeného močového kamene, tudíž s ohledem na volbu terapeutického postupu byl výsledek DECT správný.

Při statistickém zpracování dat jsme k vyjádření shody metod analýzy chemického složení močových konkrementů pomocí DECT a laboratorní analýzy prostřednictvím Kappa koeficientu provedli nejprve vyhodnocení vztahu obou metod s ohledem na

dělení konkrementů na skupinu smíšených a nesmíšených kamenů. Při tomto způsobu hodnocení hodnota Kappa koeficientu neukazovala na příliš velkou shodu porovnávaných metod. Důvodem byla velká chybovost v DECT analýze typu smíšené urolitiázy. Z tohoto úhlu pohledu lze vztah obou analyzovaných metod považovat za statisticky uspokojivý.

Dále bylo provedeno hodnocení obou analytických metod (tj. DECT a laboratorní analýzy) s ohledem na indikovaný terapeutický postup. Pomocí Kappa koeficientu byla prokázána 100% shoda obou porovnávaných metod s ohledem na volbu jednoho ze dvou základních terapeutických postupů (rozpuštění vs. invazivní odstranění urolitiázy). Z tohoto úhlu pohledu se tedy jedná o maximální možnou shodu, s významně vysokou statistickou významností, resp. těsností vztahu metod. Tento výsledek považujeme v přínosu pro klinickou praxi a pacienta za stěžejní.

Dále byly v jednotlivých skupinách základních typů močových konkrementů provedeny u metody DECT statistické testy, jejichž výsledky ukazují Tabulka 6 - Statistické testy - Oxalát, Tabulka 7 - Statistické testy - Urát, Tabulka 8 - Statistické testy - Hydroxylapatit a Tabulka 9 - Statistické testy – Smíšená urolitiáza.

**Tabulka 6 - Statistické testy - Oxalát**

	<b>Oxalát</b>
<b>Senzitivita</b>	97,14%
<b>Specificita</b>	82,86%
<b>Negativní prediktivní hodnota</b>	96,67%
<b>Pozitivní prediktivní hodnota</b>	85%
<b>Kappa (K)</b>	0,8
<b>p-value</b>	<0,001



Z úhlu pohledu rozdělení výsledků z DECT i laboratorního rozboru skladby konkrementu na správně analyzovaný konkrement typu „oxalát“ a správně analyzovanou skupinu „ostatních“ typů konkrementů, tj. všech non-oxalátových, a chybně analyzovanou skupinu „oxalát“, byla v této skupině urolitiázy prokázána pomocí Kappa koeficientu statisticky významná shoda metod DECT a laboratorní analýzy.

**Tabulka 7 - Statistické testy - Urát**

	<b>Urát</b>
<b>Senzitivita</b>	100%
<b>Specificita</b>	100%
<b>Negativni prediktivni hodnota</b>	100%
<b>Pozitivni prediktivni hodnota</b>	100%
<b>Kappa (K)</b>	1
<b>p-value</b>	<0,001

V případě urátové urolitiázy byla prokázána maximálně možná, tj.100% shoda obou analytických metod s významně vysokou statistickou významností.

**Tabulka 8 - Statistické testy - Hydroxylapatit**

	<b>Hydroxylapatit</b>
<b>Senzitivita</b>	66,67%
<b>Specificita</b>	91,38%
<b>Negativni prediktivni hodnota</b>	92,98%
<b>Pozitivni prediktivni hodnota</b>	61,54%
<b>Kappa (K)</b>	0,5619
<b>p-value</b>	<0,001

U skupiny hydroxylapatitové urolitiázy byla prokázána statisticky dobrá shoda metod DECT a laboratorní analýzy.

**Tabulka 9 - Statistické testy – Smíšená urolitiáza**

	<b>Smíšené</b>
<b>Senzitivita</b>	24,24%
<b>Specificita</b>	100%
<b>Negativni prediktivni hodnota</b>	59,68%
<b>Pozitivni prediktivni hodnota</b>	100%
<b>Kappa (K)</b>	0,2528
<b>p-value</b>	0,0015

Z úhlu pohledu rozdělení výsledků z DECT i laboratorního rozboru skladby močového konkrementu na správně analyzovaný konkrement typu „smíšená urolitiáza“, správně analyzovanou skupinu „ostatních“ typů konkrementů, tj. všech základních typů močových konkrementů, a chybně analyzovanou skupinu „smíšená urolitiáza“, byla v této skupině urolitiázy prokázána statisticky uspokojivě významná shoda metod DECT a laboratorní analýzy. Nejčastějším důvodem byl fakt, že DECT analýza u později laboratorně potvrzené smíšené urolitiázy často prokázala buď pouhý čistý oxalát či hydroxylapatit.

U cystinové urolitiázy bližší specifikace vztahu metod DECT a laboratorní analýzy v našem souboru nebyla provedena z důvodu velmi malé studijní skupiny cystinových konkrementů. U nejmladšího pacienta ze souboru byl pomocí DECT analýzy mylně diagnostikován fosfátový typ urolitiázy. Laboratorně u něj následně byla zjištěna 90% cystinová urolitiáza. Druhým zástupcem cystinové urolitiázy v předkládané práci byl cystinový konkrement ze skupiny konkrementů (fantomů). V tomto případě DECT analýza potvrdila cystin, tzn. byla přesná.

V případě osmi konkrementů (fantomů) se známým chemickým složením byla chemická skladba konkrementů analyzována pomocí DECT naslepo ex vivo. Výsledky DECT analýzy se v této skupině zcela shodovaly se zjištěnou laboratorní skladbou ve všech případech.

## **Diskuze**

### **Soubor**

Limitací zkoumaného souboru je relativně nízký počet pacientů. Tato skutečnost souvisí s faktem, že u poměrně velkého procenta pacientů vyšetřených na našem pracovišti pomocí DECT se zaměřením na analýzu chemické skladby urolitiázy, nebyla z různých důvodů laboratorně verifikována chemická skladba močových konkrementů. Další limitací souboru je téměř absence pacientů se vzácně se vyskytujícím, cystinovým typem urolitiázy, proto se práce ke vztahu DECT analýzi a cystinové urolitiázy nemůže spolehlivě vyjádřit. Alergie pacienta na kontrastní látky nepředstavuje limitaci provedení DECT analýzy, která se v tomto případě realizuje pouze nativně. Žádný z pacientů našeho souboru nebyl extrémně obézní, hodnocení obrazových dat u všech jedinců probíhalo dobře za standardních akvizičních parametrů. U extrémně obézních pacientů se uvádí pokles senzitivity až na 70% v detekci velmi malých močových konkrementů (velikosti pod 3 mm) v důsledku přítomnosti vyššího obrazového šumu při hodnotách použitého napětí 80 kV. V této problematice se dle několika prací osvědčuje použití DECT s hodnotami napětí 100/Sn140 Kv, s využitím cínové filtrace (5). Po analýze rozložení četnosti hlavních typů močových konkrementů v souboru výsledky zcela odpovídají údajům o výskytu jednotlivých skupin urolitiázy v populaci České Republiky (6). Vzhledem k relativně nízkému počtu pacientů v souboru a heterogenitě jejich komorbidit jsme se v našem zkoumání nevěnovali souvislostem mezi v literatuře

uváděným zvýšeným výskytem urolitiázy a obezitou, hypertenzí a ischemickou chorobou srdeční zejména u žen, a diabetem mellitem u obou pohlaví (6).

### **Technika vyšetření**

Při vyšetřování všech osob zkoumaného souboru bylo využíváno DSCT přístrojů se dvěma zdroji X záření a dvěma detektorovými soustavami. Zdroje záření využívali napětí 80 kV a 140 kV. Každé rentgence odpovídal jeden 64 - řadý detektor. Specifikace akvizičních parametrů na obou DSCT přístrojích ukazuje Tabulka 1 - Vyšetřovací protokoly SOMATOM Definition a Tabulka 2 - Vyšetřovací protokoly SOMATOM Definition FLASH. Pacienti byli vyšetřováni v poloze vleže na zádech, tj. v supinační pozici, žádný pacient našeho souboru nebyl vyšetřován v pozici pronační. Kontrastní náplň kalichopánvičkového systému i ureterů byla za těchto podmínek kvalitní. Rovněž práce Wang a kolektivu z roku 2009 (7) potvrzuje celkově lepší opacificaci kalichopánvičkového systému v supinační poloze pacienta nežli v poloze pronační na CT-urografii. Zvyklý směr skenování byl vždy kraniokaudální. Pro monitoraci postupu kontrastní látky v cévním systému a spuštění skenování jsme vždy využívali metodu Bolus Tracking.

U mnohých pacientů souboru byla prováděna CT-urografie, například na požadavek urologa pro modelaci vývodného dutého systému ledvin, u pacientů s makroskopickou hematurií nebo při zachycení suspektního nálezu na urotraktu během nefrografické fáze. V těchto případech bylo zařazeno skenování v exkretorické fázi u většiny případů technikou low dose s využitím monoenergetického záření o napětí 80 kV v odstupu 10-15 minut od aplikace bolusu kontrastní látky intravenózně. Snahou expertů z Evropské společnosti pro urogenitální radiologii (ESUR) bylo vytvořit odborné pokyny pro provádění CT-urografie. Vznikla odborná doporučení týkající se indikací a vyšetřovacích technik

CT-urografie. CT-urografie byla obhájena jako metoda první volby u pacientů s makroskopickou hematurií a s vysokým rizikem uroteliálního karcinomu (8). Dále lze CT-urografii indikovat při podezření na jinou patologii v průběhu urotraktu, je-li přítomno klinické podezření. K provedení CT-urografie může být využita jak tzv. split bolus technika intravenózní aplikace kontrastní látky s akvizicí nefrografické a exkretorické fáze v jedné době, nebo technika jednoho bolusu aplikace kontrastní látky intravenózně s následnou samostatnou, oddělenou akvizicí nejprve nefrografické a pak i exkretorické fáze (9). Split bolus technika aplikace kontrastní látky při CT-urografii slouží k získání synchronní nefrografické a exkretorické fáze postkontrastního syčení kontrastní látkou během jedné akvizice, po dvoudobé intravenózní aplikaci kontrastní látky. Některé studie prokazují signifikantně vysoce významnou senzitivitu a pozitivní prediktivní hodnotu u CT-urografie realizované pomocí split bolus techniky a vyzdvihují její přínos v redukcii radiační zátěže pro pacienta (10). Jiné studie však prokazují lepší distenzi a zobrazení vývodných cest močových v exkretorické fázi při využití techniky jednoho bolusu intravenózně aplikované kontrastní látky a vícefázové akvizice obrazových dat (11), což se lépe osvědčilo i nám během vyšetřování pacientů zkoumaného souboru.

Z důvodu výrazné symptomatologie a sporného nálezu na dutém systému ledvin jsme ve třech případech provedli Furosemidový test, s aplikací 0,5 mg/kg Furosemidu intravenózně před skenováním. Ani v jednom z těchto případů se nepotvrdila obstrukce vývodného systému močového a vždy šlo o neobstrukční typ dilatace ledvinné pánvičky. Rutinně nebyl Furosemid intravenózně pacientům našeho souboru aplikován.

## **Analýza dat DECT**

K DECT chemické analýze skladby močových konkrementů byl využíván algoritmus chemické dekompozice tří materiálů. Obrazová data kvality 80 kV a 140 kV, tj. z obou zdrojů záření, byla analyzována v módu Kidney Stones, programu Syngo Dual Energy, Siemens. Porovnáním naměřených denzitních hodnot vyšetřovaného konkrementu s definovanými hodnotami základních typů urolitiázy v grafu lze dojít k přesnému výsledku chemického složení močového kamene. Charakteristika chemické skladby urolitiázy v algoritmu chemické dekompozice tří materiálů je realizována buď pomocí barevného kódování nebo přesněji proměřováním denzitních hodnot konkrementu. V našem souboru pacientů se nám nejlépe osvědčilo kombinovat oba způsoby analýzy chemické skladby močového konkrementu, tj. jak barevné kódování, tak denzitní charakteristiku konkrementu. Neosvědčilo se nám spoléhat pouze na analýzu barevným kódováním, které samostatně prováděné mohlo být zejména u typu smíšené urolitiázy nepřesné až zavádějící. K minimalizaci partial volume efektu mezi konkrementem a okolní měkkou tkání či tukem se ukázalo vhodné proměřovat denzitní hodnoty v nastavení v kostním okně.

## **Výsledky**

Byla publikována řada prací potvrzující přesnost určení chemické skladby močových konkrementů in vivo a in vitro pomocí DECT analýzy a využití této metody jako tzv. one-stop-shop možnosti u pacientů s akutní renální kolikou s maximálním možným diagnostickým výstupem. Například výzkum Gräsera a kolektivu (12) poukazuje na vysoký přínos a přesnost metody DECT analýzy ve specifickaci urátové, cystinové, struvitové a smíšené urolitiázy a přínos této analýzy pro terapeutickou urologickou rozvahu. Práce Eliahou a kolektivu (13) prokazuje spolehlivost DECT analýzy chemické skladby urolitiázy

v rozlišení mezi kalcium obsahující, urátovou a cystinovou urolitiázou. Rovněž výsledky zkoumání našeho souboru prokazují vysokou přesnost metody DECT analýzi chemické skladby urolitiázi.

Poměr zastoupení mužů a žen v celém souboru pacientů i v jednotlivých skupinách urolitiázy odpovídá údajům o vyšší prevalenci urolitiázy v mužské populaci. Rozložení četnosti hlavních typů močových konkrementů v souboru zcela odpovídá údajům o výskytu jednotlivých skupin urolitiázy v populaci České Republiky (14), tj. v pořadí od nejpočetněji zastoupené skupiny směrem k nejméně početně zastoupenému typu jsou to oxaláty, uráty, hydroxylapatity a nakonec smíšená urolitiáza.

Po korekci výsledků DECT analýzi podle laboratorního nálezu byl odhalen určitý stupeň chybovosti DECT analýzy v jednotlivých skupinách urolitiázy. Největší chybovost či nepřesnost DECT analýzi chemické skladby urolitiázy jsme prokázali ve skupině smíšených močových konkrementů. Zejména u konkrementů menší velikosti (tj. 4-6 mm) se zdá být přesná specifikace chemické skladby u typu smíšené urolitiázy složitější. Osvědčilo se nám kombinovat při analýze konkrementu jak barevné kódování, tak pečlivou denzitní analýzu obrazových dat z obou zdrojů záření. V naší populaci se ze smíšené urolitiázy nejčastěji vyskytují konkrementy složení fosfáto-oxalátového. DECT analýza u smíšené urolitiázy tohoto typu, zvláště u močových kamenů menší velikosti, určila pouze jeden ze zastoupených druhů, tj. buď hydroxylapatit nebo oxalát. Ve studii Manglavitiho a kolektivu (15), která porovnává výsledky DECT analýzi skladby urolitiázy in vivo s referenční metodou krystalografie, rovněž nacházíme limitace v DECT charakterizaci typu smíšené urolitiázy s obsahem hydroxylapatitu, jinak u ostatních typů močových konkrementů prokazuje práce vynikající přesnost charakteristiky chemické skladby.

Při statistické analýze vztahu obou vyšetřovacích metod chemické skladby konkrementu s ohledem na indikaci jednoho ze dvou základních terapeutických postupů (rozpuštění vs. invazivní odstranění urolitiázy) jsme zaznamenali maximální možnou shodu metod DECT a laboratorní analýzi, s maximální možnou statistickou významností. Tento závěr byl považován za stěžejní výstup analýzi pro klinické využití metody materiálové charakteristiky pomocí DECT a pro pacienta.

Naše práce se ke spolehlivosti DECT analýzi chemické skladby cystinové urolitiázy pro nedostatečně početnou skupinu pacientů nevyjadřuje. Informace o chování cystinu a jejich radiografických vlastnostech in vivo jsou vzhledem k jeho raritnímu výskytu omezené. Studie Patela a kolektivu (16) popisuje jako jedna z mála atenuační charakteristiky cystinových močových konkrementů. Zjišťuje, že cystinovou urolitiázu lze podle atenuačních charakteristik rozdělit do dvou skupin, početněji zastoupená skupina dosahuje denzitních hodnot méně než 550 HU ( $424 \pm 106$  HU). Denzitní hodnoty druhé, méně početně zastoupené skupiny cystinů, se pohybují v hodnotách nad 850 HU ( $972 \pm 134$  HU). V 88% případů byla cystinová urolitiáza patrná i na nativním nefrogramu. Z práce vyplývá, že využití nativního nefrogramu v následném sledování pacientů s cystinovou urolitiázou je opodstatněné a pouhé proměřování denzitních hodnot tohoto typu močového konkrementu k určení jeho chemické skladby není dostačující a jsou nutná další, zejména metabolická vyšetření.

## **Radiační zátěž**

Z diagnostických zobrazovacích metod se dodnes v problematice urolitiázy užívá několik základních postupů a to nativní nefrogram, intravenózní vylučovací urografie, ultrasonografie a výpočetní tomografie v různých modifikacích (s využitím monoenergetického zdroje záření v podobě nativního



CT, postkontrastního CT, low dose CT či nově s využitím duální energie záření DECT). Každá z metod má svůj diagnostický benefit, své limity a kromě ultrasonografie je také spojena s určitou radiační zátěží pro pacienta. Je nutno pečlivě zvážit u každého jednotlivého pacienta, jakou zobrazovací metodu v problematice urolitiázy zvolíme, jaká je pro něj nejvhodnější.

Nejjednodušší zobrazovací metodou je nativní nefrogram, který podává pouze omezené množství informací o urolitiáze a je spojován s efektivní dávkou kolem 0,5 - 1 mSv (17). Intravenózní vylučovací urografie zobrazuje ledvinový parenchym a vylučovací trakt po intravenózní aplikaci nefrotropní jodové kontrastní látky. Pomocí této metody získáváme informaci o morfologii i funkčním stavu ledvin a urotraktu. Zobrazuje nejen anatomické odchylky v urotraktu, ale i místo obstrukce vývodných cest močových, tj. nepřímo i nekontrastní urolitiázu. Většinou je spojena s efektivní dávkou kolem 1,3 – 3,5 mSv (17) (18) (19). Od 80. let 20. století nastupuje jako zlatý standard v diagnostice urolitiázy výpočetní tomografie, a to díky své vysoké senzitivitě, dostupnosti, rychlosti, neinvazivitě a výbornému morfologickému zobrazení nejen celého urotraktu, ale i ostatní orgánů v dutině břišní (20) (21). Objevují se studie poukazující na vysokou diagnostickou efektivitu spirálního CT v zobrazení urolitiázy a na jeho výhody ve srovnání s dosavadními rutinně užívanými skiografickými metodami (20) (21). Na přelomu 20. a 21. století jsou publikovány práce porovnávající radiační zátěž pro pacienta při využití konvenčního nativního spirálního CT a nativního spirálního CT s nízkodávkovými protokoly (tzv. low dose CT) (22) a dále se také zkoumá radiační zátěž při vyšetření pomocí nativního spirálního CT s nízkodávkovými protokoly (23) a intravenózní vylučovací urografii (24) (22). Zjišťuje se, že low dose nativní spirální CT umožňuje díky nízkodávkovým protokolům signifikantní snížení radiační dávky mnohdy až pod úroveň dávek získávaných při IVU, při zachování výborné

diagnostické efektivity. Hodnoty efektivní radiační dávky z těchto vyšetření se pohybují kolem 1,3 - 2,3 mSv (25).

K přesnějšímu posouzení dutého systému ledvin se využívá technika tzv. CT - urografie. U monoenergetických výpočetních tomografií se klasicky používala technika skenování jednou energií záření v exkretorické fázi ledvin, tj. v odstupu 10. - 15. minut od intravaskulární aplikace bolusu kontrastní látky. V tomto případě se tedy skenovalo v nefrotropní, následně v exkretorické fázi, někdy předcházely i nativní skeny. V případě multidetektorové 64 - řadě výpočetní tomografie je tato technika CT - urografie spojována s efektivní radiační dávkou 6,2 až 17,6 mSv (26), v závislosti na akvizičních parametrech. Exkretorickou fázi lze získat i modifikací techniky intravenózní aplikace kontrastní látky a to tzv. metodou split bolus, kdy je aplikována nitrožilně kontrastní látka nikoliv v jednom bolusu, ale ve dvou dávkách v časovém rozestupu, akvizice dat pak probíhá pouze jednorázově s cílem zachytit současně jak nefrografickou tak exkretorickou fázi cirkulace kontrastní látky v oběhu, čímž lze přispět k redukci radiační zátěže úsporou jednoho skenování. Další možností využití split bolus techniky aplikace kontrastní látky k provedení CT - urografie s cílem redukovat radiační zátěž je využití výpočetních tomografií s duální energií záření s možností virtuálního nativního zobrazení.

Na počátku 21. století se mezi zobrazovací metody v problematice urolitiázy dostává výpočetní tomografie s duální energií záření (DECT) umožňující provedení analýzy chemické skladby urolitiázy. Metoda DECT umožňuje také získat z postkontrastních obrazových dat tzv. virtuální nativní zobrazení a to rozložením denzit postkontrastních skenů na denzity příslušné vlastní tkáni a denzity obsahu jódu. Z jednorázového postkontrastního zobrazení získáváme možnost informací jak z nativního tak z postkontrastního skenování. Ve studii Takahashiho a kolektivu (27) se prokázalo, že virtuální nativní

zobrazení pořízené subtrakcí signálu jódu z pyelografické postkontrastní fáze DECT vyšetření umožňuje detekovat močové konkrementy s průměrně dobrou přesností. U drobných konkrementů velikosti 1-2 mm je však jejich detekce pomocí virtuálního nativního zobrazení limitována. Ve studii Mangoldiho a kolektivu (28) se poukazuje na podíl vlivu velikosti a atenuační charakteristiky močových konkrementů na spolehlivost jejich detekce pomocí virtuálního nativního zobrazení. U urolitiázy velikosti nad 2,9 mm a denzitních hodnotách nad 387 HU je detekce kamenů pomocí virtuálního nativního zobrazení velmi dobrá, spolehlivá. Menší a méně denzní močové kameny mohou být z obrazů virtuálního nativního zobrazení „vymazány“, zejména při podílu vyššího obrazového šumu, například u obézních pacientů. Virtuální nativní zobrazení má velmi dobrou senzitivitu v detekci urolitiázy a výbornou specificitu. Senzitivita virtuálního nativního zobrazení však klesá s narůstající abdominální obezitou pacientů (29), zvláště u velmi drobných močových konkrementů velikosti pod 3 mm, s nízkými atenuačními charakteristikami.

Původní minimální efektivní radiační dávky z vyšetření urolitiázy pomocí DSCT, tj. s duální energií záření, se pohybovaly kolem 6,6 mSv. Nová generace duálních přístrojů umožňuje dále významně redukovat radiační dávky až na hodnoty kolem 2,5 – 4 mSv. K takovéto redukci radiační dávky u DECT nové generace přispívá racionální plánování akvizičních parametrů, využívání metody iterativních rekonstrukcí (30) (31), vysoká skenovací rychlost (45cm/s), krátká expozice (75milisekund/sken), dále filtrace záření X pomocí cínového filtru (32), kdy dochází k separaci spekter a adaptivní protekce dávky. V posledních měsících se objevuje práce porovnávající efektivní radiační dávku u CT vyšetření využívajících konvenčního principu „filtrované zpětné projekce“ s CT vyšetřeními využívajícími třech komerčně dostupných algoritmů

iterativní rekonstrukce (ASiR, iDOSE a SAFIRE) (33). Práce prokazuje signifikantně vyšší míru obrazového šumu u metody „filtrované zpětné projekce“ oproti využití algoritmu iterativních rekonstrukcí. Efektivní radiační dávka dosahuje značně nižších hodnot u vyšetření využívajících iterativních rekonstrukcí ve srovnání s vyšetřeními s filtrovanou zpětnou projekcí. Radiační dávka mezi porovnávanými třemi algoritmy iterativních rekonstrukcí byla srovnatelná.

Přehled rozmezí hodnot efektivních radiačních dávek z vyšetření pacientů námi zkoumaného souboru ukazují

Tabulka 10 – Dual Source Definition – efektivní dávky  
 Tabulka 11 – Dual Source Definition FLASH – efektivní dávky.

**Tabulka 10 – Dual Source Definition – efektivní dávky**

<b>Technika vyšetření</b>	<b>mSv</b>
64	5,6 – 8,6
DECT 2x64	5,5 – 9,8
DECT 2x64 + 64 low dose	9,5 – 10,6

**Tabulka 11 – Dual Source Definition FLASH – efektivní dávky**

<b>Technika vyšetření</b>	<b>mSv</b>
128 + SAFIRE	3,8 – 6,3
DECT 2x128 + tin filtration	2,6 – 8,5
DECT 2x128 + tin filtration + SAFIRE	2,1 – 7,2
DECT 2x128 + tin filtration + SAFIRE + 128 low dose	2,2 – 7,5

V několika případech bylo provedeno nativní vyšetření urotrodu na přístroji Dual Source Definition FLASH s využitím monoenergetického zdroje záření low dose technikou při napětí zdroje 80 kV s výslednou efektivní dávkou 1,12 mSv. Jednalo se o kontrolu pozice stentu po jeho zavedení do ureteru.

Hodnoty efektivních dávek ze zkoumaného souboru této práce potvrzují literární údaje (32) (34).

Posuzujeme-li na jedné straně pozitiva a celkový diagnostický přínos výše jmenovaných zobrazovacích metod a na straně druhé jejich negativa v podobě radiační zátěže, zjišťujeme, že vyšetření na nových generacích DSCT přístrojů představují v diagnostice urolitiázy maximální diagnostický výstup s obohacením o informaci o materiálové analýze a přitom při racionálním plánování akvizičních parametrů, díky využití cínové filtrace a metody iterativních rekonstrukcí, se lze přiblížit hodnotám efektivních dávek z konvenčních zobrazovacích metod jako je IVU či konvenční spirální CT vyšetření s užitím monoenergetického záření.

## **Závěr**

Výsledky předkládané práce potvrzují studie zahraničních autorů o významném praktickém přínosu DECT v materiálové analýze tkání, konkrétně v určování chemické skladby urolitiázy.

S ohledem na indikovaný typ léčebného postupu pro konkrétní urolitiázu byla prokázána maximálně možná, statisticky vysoce významná shoda DECT a laboratorní analýzy chemické skladby urolitiázy. Prokázána byla statisticky vysoce významná shoda, resp. těsnost vztahu, metod DECT a laboratorní analýzy skladby urolitiázy u typu urátové a kalcium oxalátové urolitiázy. Ve skupině hydroxylapatitové urolitiázy byla prokázána statisticky dobrá shoda obou analytických metod a u smíšených močových konkrementů síla závislosti vztahu DECT a laboratorní analýzy byla statisticky uspokojivě významná.

Z důvodu ojedinělého výskytu zástupců cystinové skupiny močových konkrementů ve zkoumaném souboru se práce k populaci cystinové urolitiázy ve vztahu k DECT analýze nevyjadřuje.

Dále se práce věnovala porovnání celkového diagnostického přínosu a radiační zátěže běžně v praxi užívaných zobrazovacích metod v problematice urolitiázy. Potvrdila se možnost redukce efektivní radiační dávky pro pacienta u výpočetní tomografie využívající duální energii záření, a to zejména na přístrojích nové generace s možností úpravy akvizičních parametrů a využití techniky iterativních rekonstrukcí. Hodnoty z těchto vyšetření se u normokonstitučních pacientů pohybují v rozmezí dávek získávaných při intravenózní vylučovací urografii nebo při monoenergetickém zobrazení břicha konvenčním spirálním CT. Bohatý diagnostický výstup z vyšetření pomocí DECT nesrovnatelně převyšuje přínos ostatních, obecně užívaných zobrazovacích metod v diagnostice urolitiázy.

Závěrem lze konstatovat, že tato disertační práce potvrzuje vysoký reálný přínos metody DECT analýzy chemické skladby urolitiázy pro klinickou praxi. DECT analýza chemické skladby urolitiázy významně přispívá k optimalizaci terapeutického managementu urolitiázy díky možnosti rychlé volby nejvhodnějšího léčebného postupu pro konkrétní typ močového konkrementu a včasnému zahájení vhodné léčby bez zbytečných prodlev. DECT analýza skladby urolitiázy se rovněž pozitivně uplatňuje v metafylaxi močových konkrementů a ve svém důsledku tak přispívá k omezení rekurence urolitiázy. Na základě analýzy dat získaných během 7-letého zkoumání této inovativní zobrazovací metody může práce zodpovědně doporučit zařazení metody DECT analýzy urolitiázy do běžného diagnostického algoritmu pacientů s urolitiázou.

## Použitá literatura

1. **K., Novák.** Problematika urolitiázy u dětského pacienta: přinesla moderní doba nové možnosti? *Urol Listy*. 2007, 5(1), stránky 22-25.
2. **Johnson TRC, Krauss B, Sedlmair M, et al.** Material differentiation by dual energy CT: initial experience. *European radiology*. 17(6), 2007, stránky 1510–1517.
3. **Vetter JR, Perman WH, Kalender WA, et al.** Evaluation of a prototype dual-energy computed tomographic apparatus. I. Phantom studies. *Medical physics*. 1986, 13, stránky 334-339.
4. **Vetter JR, Perman WH, Kalender WA, Mazess RB, Holden JE.** Evaluation of a prototype dual-energy computed tomographic apparatus. II. Determination of vertebral bone mineral content. *Medical physics*. 1986 May-June, 13(3), stránky 340-343.
5. **Qu M, Jaramillo-Alvarez G, Ramirez-Giraldo JC, Liu Y, Duan X, Wang J, Vrtiska TJ, Krambeck AE, Lieske J, McCollough CH.** Urinary stone differentiation in patients with large body size using dual-energy dual-source computed tomography. *European radiology*. 2013 May, 23(5), stránky 1408-1414.
6. **P., Plasgura.** První postgraduální workshop o urolitiáze. *Ces Urol*. 2014, 18(4), stránky 246-252.
7. **Wang ZJ, Coakley FV, Joe BN, Qayyum A, Meng MV, Yeh BM.** Multidetector row CT urography: does supine or prone positioning produce better pelvecalyceal and ureteral opacification? *Clin Imaging*. 2009, 33(5), stránky 369-373.
8. **Van Der Molen AJ, Cowan NC, Mueller-Lisse UG, Nolte-Ernsting CC, Takahashi S, Cohan RH a (ESUR)., CT Urography Working Group of the European Society of Urogenital Radiology.** CT urography: definition, indications and techniques. A guideline for clinical practice. *Eur Radiol*. January 2008, 18(1), stránky 4-17.
9. **Chow LC, Kwan SW, Olcott EW, Sommer G.** Split-bolus MDCT urography with synchronous nephrographic and excretory phase enhancement. *AJR Am J Roentgenol*. August 2008, 189(2), stránky 314-322.
10. **Dillman JR, Caoili EM, Cohan RH, Ellis JH, Francis IR, Nan B, Zhang Y.** Comparison of urinary tract distension and opacification using single-bolus 3-Phase vs split-bolus 2-phase

multidetector row CT urography. *J Comput Assist Tomogr.* September/October 2007, 31(5), stránky 750-757.

11. **Jepperson MA, Ibrahim el-SH, Taylor A, Cernigliaro JG, Haley WE, Thiel DD.** Accuracy and efficiency of determining urinary calculi composition using dual-energy computed tomography compared with Hounsfield unit measurements for practicing physicians. *Urology.* September 2014, 84(3), stránky 561-564.

12. **Graser, A., a další.** Dual Energy CT Characterization of Urinary Calculi: Initial In Vitro and Clinical Experience. *Investigative Radiology.* 2008 February, 43(2), stránky 112-119.

13. **Eliahou R, Hidas G, Duvdevani M, Sosna J.** Determination of renal stone composition with dual-energy computed tomography: an emerging application. *Semin Ultrasound CT MR.* August 2010, 31(4), stránky 315-320.

14. **Wisnibaugh ES, Paden RG, Silva AC, Humphreys MR.** Dual-energy vs conventional computed tomography in determining stone composition. *Urology.* June 2014, 83(6), stránky 1243-1247.

15. Urolitiáza. *Calculi.* [Online] RNDr. Tamara Kořistková. <http://www.calculi.cz/urolitiaza.php>.

16. **Manglaviti G, Tresoldi S, Guerrer CS, Di Leo G, Montanari E, Sardanelli F, Cornalba G.** In vivo evaluation of the chemical composition of urinary stones using dual-energy CT. *AJR Am J Roentgenol.* July 2011, 197(1).

17. **Patel SR, Wagner LE, Lubner MG, Nakada SY.** Radiopacity and hounsfield attenuation of cystine urolithiasis: case series and review of the literature. *J Endourol.* April 2014, 28(4), stránky 472-475.

18. **Astroza GM, Neisius A, Wang AJ, Nguyen G, Toncheva G, Wang C, Januzis N, Lowry C, Ferrandino MN, Neville AN, Yoshizumi TT, Preminger GM, Lipkin ME.** Radiation exposure in the follow-up of patients with urolithiasis comparing digital tomosynthesis, non-contrast CT, standard KUB, and IVU. *J Endourol.* October 2013, 27(10), stránky 1187-1191.

19. **Homer JA, Davies-Payne DL, Peddinti BS.** Randomized prospective comparison of non-contrast enhanced helical computed tomography and intravenous urography in the diagnosis of acute ureteric colic. *Australas Radiol.* August 2001, 45(3), stránky 285-290.



20. Diagnostic Services - Intravenous pyelogram. *Methodist Healthcare*. [Online] 2015. <http://www.methodisthealth.org/healthcare-services/screenings-scans/intravenous-pyogram-%28ivp%29/index.dot>.
21. **Dalrymple, NC, a další.** The value of unenhanced helical computerized tomography in the management of acute flank pain. *J Urol*. 1998, 159, stránky 735-740.
22. **Hamm M, Wawroschek F, Weckermann D, Knöpfle E, Häckel T, Häuser H, Krawczak G, Harzmann R.** Unenhanced helical computed tomography in the evaluation of acute flank pain. *European urology*. April 2001, 39(4), stránky 460-465.
23. **Hamm M, Knöpfle E, Wartenberg S, et al.** Low dose unenhanced helical computerized tomography for the evaluation of acute flank pain. *J Urol*. 2002, 167, stránky 1687-1691.
24. **Kluner C, Hein PA, Gralla O, Hein E, Hamm B, Romano V, Rogalla P.** Does ultra-low-dose CT with a radiation dose equivalent to that of KUB suffice to detect renal and ureteral calculi? *J Comput Assist Tomogr*. 2006, 30(1), stránky 44-50.
25. **Knöpfle E, Hamm M, Wartenberg S, et al.** CT in ureterolithiasis with a radiation dose equal to intravenous urography: results in 209 patients. *Rofö*. 2003, 175, stránky 1667-1672.
26. **Drake T, Jain N, Bryant T, Wilson I, Somani BK.** Should low-dose computed tomography kidneys, ureter and bladder be the new investigation of choice in suspected renal colic?: A systematic review. *Indian J Urol*. April 2014, 30(2), stránky 137-143.
27. **Martingano P, Stacul F, Cavallaro MF, Cernic S, Bregant P, Cova MA.** 64-Slice CT urography: optimisation of radiation dose. *La Radiologica medica*. April 2011, 116(3), stránky 417-431.
28. **Takahashi N, Vrtiska TJ, Kawashima A, Hartman RP, Primak AN, Fletcher JG, McCollough CH.** Detectability of urinary stones on virtual nonenhanced images generated at pyelographic-phase dual-energy CT. *Radiology*. July 2010, 256(1), stránky 184-190.
29. **Mangold S, Thomas C, Fenchel M, Vuust M, Krauss B, Ketelsen D, Tsiflikas I, Claussen CD, Heuschmid M.** Virtual nonenhanced dual-energy CT urography with tin-filter technology: determinants of detection of urinary calculi in the renal collecting system. *Radiology*. 2012, 264(1), stránky 119-125.

30. **Scheffel H1, Stolzmann P, Frauenfelder T, Schertler T, Desbiolles L, Leschka S, Marincek B, Alkadhi H.** Dual-energy contrast-enhanced computed tomography for the detection of urinary stone disease. *Invest Radiol.* December 2007, 42(12), stránky 823-829.

31. **Padole A, Ali Khawaja RD, Kalra MK, Singh S.** CT radiation dose and iterative reconstruction techniques. *AJR. American journal of roentgenology.* April 2015, 204(4).

32. **J., Žižka.** Iterativní rekonstrukce CT obrazu - revoluční krok ve vývoji výpočetní tomografie? *Ces Radiol.* 2011, 65(3), stránky 169-176.

33. **Primak AN, Giraldo JC, Eusemann CD, Schmidt B, Kantor B, Fletcher JG, McCollough CH.** Dual-source dual-energy CT with additional tin filtration: Dose and image quality evaluation in phantoms and in vivo. *AJR. American journal of roentgenology.* November 2010, 195(5), stránky 1164-1174.

34. **Andrabi Y, Pianykh O, Agrawal M, Kambadakone A, Blake MA, Sahani DV.** Radiation Dose Consideration in Kidney Stone CT Examinations: Integration of Iterative Reconstruction Algorithms With Routine Clinical Practice. *American journal of roentgenology.* Mai 2015, 204(5), stránky 1055-1063.

35. **Singh S, et al.** Abdominal CT: comparison of adaptive statistical iterative and filtered back projection reconstruction techniques. *Radiology.* 2010, 257(2), stránky 373-383.

## Seznam publikovaných odborných prací

### Monografie

Ferda J. et al. Inovativní zobrazovací metody. Galén 2015

### Publikace v zahraničních časopisech s IF

- Ferda J, Novák M, Mírka H, Baxa J, Ferdová E, **Bednářová A**, Flohr T, Schmidt B, Klotz E, Kreuzberg B. [The assessment of intracranial bleeding with virtual unenhanced imaging by means of dual-energy CT angiography](#). Eur Radiol. 2009 Oct;19(10):2518-22. **IF – 3,589**
- Ferda J, Ferdová E, Mírka H, Baxa J, **Bednářová A**, Flohr T, Schmidt B, Matějovič M, Kreuzberg B. [Pulmonary imaging using dual-energy CT, a role of the assessment of iodine and air distribution](#). Eur J Radiol. 2011; 77(2): 287-293. **IF – 2,645**
- [Baxa J<sup>1</sup>](#), [Vondráková A](#), [Matoušková T](#), [Růžičková O](#), [Schmidt B](#), [Flohr T](#), [Sedlmair M](#), [Ferda J](#). Dual-phase dual-energy CT in patients with lung cancer: assessment of the additional value of iodine quantification in lymph node therapy response. Eur Radiol. 2014 Aug;24(8):1981-1988. **IF – 3,589**

### Publikace v domácích časopisech bez IF:

- Baxa J, Ferda J, Novák P, Moláček J, Mírka H, **Bednářová A**, Koželuhová J. Úloha CT-enterografie v zobrazení obstrukce tenkého střeva. Ces Radiol 2008; 62(1): 66-73.

- Baxa J, Ferda J, **Bednářová A**, Vondráková R, Mírka H, Baxová L, Kreuzberg B. Automatická detekce (CAD) v CT diagnostice plicní embolizace: Jaký je přínos pro mladého radiologa. *Ces Radiol* 2008; 62(3): 270-276.
- Ferda J, Baxa J, Mírka H, Flohr T, Schmidt B, **Bednářová A**, Kreuzberg B. „Ventilačně-perfúzní“ zobrazení plic pomocí CT s duální energií záření. *Ces Radiol* 2008; 62(3): 277-284.
- Mírka H, **Bednářová A**, Ferda J, Ohlidalová K, Baxa J. Přínos počítačem asistované detekce malých plicních uzlů pro klinickou praxi. *Ces Radiol* 2008; 62(3): 264-269.
- Ferda J, Flohr T, Schmidt B, Novák M, Šlauf F, Mírka H, Baxa J, Horemuzová J, **Bednářová A**, Ferdová E, Kreuzberg B. Detekce intrakraniálního krvácení: srovnání virtuálního nativního zobrazení při CT-angiografii mozku pomocí duální energie záření a „konvenčního“ nativního CT. *Ces Radiol* 2008; 62(4): 395-402.
- Ferda J, Flohr T, Schmidt B, Mírka H, Baxa J, **Bednářová A**, Ferdová E, Koželuhová J, Matějovič M, Třeška V, Kreuzberg B. Význam CT s duální energií záření v hodnocení nekroz u akutní pankreatitidy. *Ces Radiol* 2009; 63(1): 89–94.
- **Bednářová A**, Ferda J, Kreuzberg B, Klečka J, Hora M. Chemická analýza ledviných konkrementů pomocí CT s duální energií záření – naše zkušenosti. *Ces Radiol*. 2011; 65(4): 251-255.