

# CHEMICKÁ ANALÝZA LEDVINNÝCH KONKREMENTŮ POMOCÍ CT S DUÁLNÍ ENERGIÍ ZÁŘENÍ – NAŠE ZKUŠENOSTI

CHEMICAL ANALYSIS OF KIDNEY STONES USING DUAL-ENERGY CT –  
OUR EXPERIENCE

původní práce

Alena Bednářová<sup>1</sup>  
Jiří Ferda<sup>1</sup>  
Boris Kreuzberg<sup>1</sup>  
Jiří Klečka<sup>2</sup>  
Milan Hora<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Klinika zobrazovacích metod LF UK  
a FN, Plzeň

<sup>2</sup>Urologická klinika LF UK a FN, Plzeň

Přijato: 15. 8. 2011.

## Korespondenční adresa:

MUDr. Alena Bednářová  
Klinika zobrazovacích metod  
LF UK a FN  
Alej Svobody 80, 306 40 Plzeň  
e-mail bednarovaa@fnplzen.cz

Práce byla podpořena výzkumným  
záměrem MSM 0021620819.

## SOUHRN

**Bednářová A, Ferda J, Kreuzberg B, Klečka J, Hora M. Chemická analýza ledvinných konkrementů pomocí CT s duální energií záření – naše zkušenosti**

**Cíl.** Posoudit stupeň korelace výsledků chemické analýzy urolitiázy pomocí výpočetní tomografie s duální energií záření (DECT) s laboratorní chemickou analýzou konkrementu a zhodnotit přínos metody DECT pro klinickou praxi.

**Metoda.** Celkem 67 pacientů bylo vyšetřeno pomocí DECT s požadavkem na chemickou analýzu již známé či suspektní urolitiázy. K analýze chemického složení konkrementu pomocí DECT jsme využili simultánní expozici 140 kV a 80 kV. Získaná data byla analyzována pomocí programu Syngo Dual Energy Siemens v modulu Kidney Stones. U 30 pacientů byl následně proveden urologický výkon s extrakcí litiázy a jejím chemickým rozbořem. V tomto souboru jsme pak korelovali výslednou chemickou skladbu urolitiázy získanou oběma metodami.

**Výsledky.** V souboru 30 pacientů se podařilo prokázat u konkrementů velikosti nad 3 mm 100% senzitivitu a 100% specifitu DECT analýzy. V případě velmi drobné urolitiázy (tj. pod 3 mm) je přesnost detekce 100%, ale schopnost diferenciaci na jednotlivé typy urolitiázy snižena na 97%.

**Závěr.** Metoda DECT analýzy urolitiázy vykazuje u konkrementů nad velikost 3 mm 100% shodu výsledků v porovnání s chemickou laboratorní analýzou močových konkrementů a má tedy velký přínos pro klinickou praxi, zejména v možnosti včasného zahájení vhodného terapeutického postupu.

## SUMMARY

**Bednářová A, Ferda J, Kreuzberg B, Klečka J, Hora M. Chemical analysis of kidney stones using dual-energy CT – our experience**

**Aim.** To assess the degree of correlation between the results of chemical analysis of urolithiasis using dual energy computed tomography (DECT) with laboratory chemical analysis of stone, and to evaluate the contribution of this method to clinical practice.

**Method.** Total 67 patients underwent DECT in order to perform the chemical analysis of already known or suspected urolithiasis. To analyze the chemical composition of the stone using DECT, we used the simultaneous exposure to 140 kV and 80 kV. The obtained data were analyzed using software Syngo Siemens Dual Energy in program „Kidney Stones“. The method of the analysis was based on a material decomposition algorithm. In 30 patients, the extraction of the stone followed and the chemical and crystallographic analysis was made. The results of virtual chemical analysis and laboratory findings were compared.

**Results.** In the stones greater than 3 mm, sensitivity and specificity reached 100% using DECT analysis. In the case of very small stone disease (ie. less than 3 mm), the detection reached 100% accuracy, but the ability to differentiate the correct type of stone disease decreased to 97%.

**Conclusion.** DECT analysis of urolithiasis shows the stones of size 3 mm with 100% match results in comparison with laboratory chemical analysis of urinary stones and therefore has great benefit for clinical prac-

**Klíčová slova:** chemická dekompozice tří materiálů, urolitiáza, výpočetní tomografie s duální energií záření.

tice, especially early in choosing the appropriate therapeutic procedure.

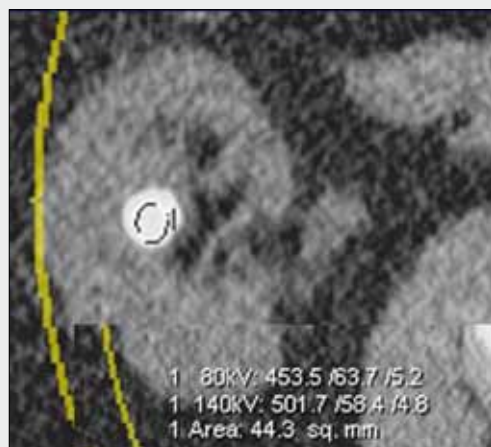
**Key words:** three-material decomposition algorithm, urolithiasis, dual-energy computed tomography.

## ÚVOD

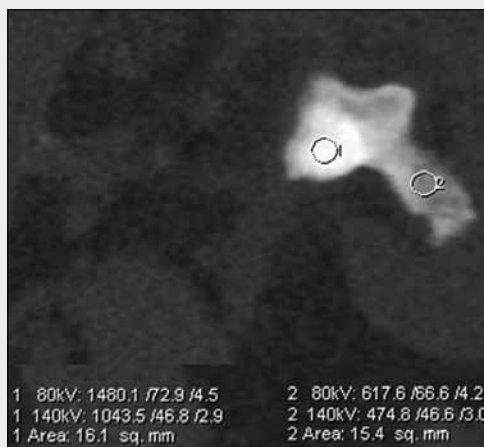
Přítomnost konkrémentu v kalichopánvičkovém systému ledviny a ve vývodných močových cestách se významným způsobem odvíjí od životního stylu, a proto ji lze zařadit mezi civilizační onemocnění. Zejména výběr, dostupnost potravy i objem a složení přijatých tekutin vedou k výraznému nárůstu urolitiázy. Nově se rovněž objevují konkrémenty v důsledku terapeutického použití některých chemických látek (např. laxativa, efedrin, indinavir). Urolitiáza postihuje zejména populaci produktivního věku, prevalence výskytu se udává kolem 4%. Má výraznou tendenci k rekurenci (kolem 60%) v závislosti na chemickém složení konkrémentů. Mezi kauzální faktory vzniku urolitiázy lze tedy obecně zařadit hypersaturaci moči litogenními látkami, nedostatek inhibitorů krystalizace a agregace a změny pH moči. Klinická manifestace urolitiázy je spojována s bolestivými renálními kolikami, recidivujícími infekty močových cest, s následky městnání moči v dutém systému ledviny při jeho obstrukci a postupnou redukcí funkčního parenchymu ledviny. Nezřídka může být stav pacienta komplikován rozvojem urosepsy, s možností progresu do multiorgánového selhání. Důsledky mohou být tedy nejen sociální a ekonomické, ale mnohdy až život ohrožující. Z těchto důvodů je stále aktuální snaha o včasnou a precizní diagnostiku urolitiázy, ke které přispívají zejména metody zobrazovací a metabolická laboratorní vyšetření k odhalení příčiny urolitiázy a zamezení rekurence (chemický rozbor konkrémentu a všeobecné biochemické vyšetření). Dříve hojně využívané skiagrafické metody jako prostý skia-gram (RTG) a intravenózní vylučovací urografie (IVU) mají dnes již v diagnostice urolitiázy alternativu v ultrasonografii

(USG), ale i výpočetní tomografii. Díky své vysoké senzitivitě a rychlosti se stalo vyšetření výpočetní tomografií (CT) dostupnou alternativou, která rychle, přesně a neinvazivně diagnostikuje a lokalizuje urolitiázu, zhodnotí stav dutého systému ledviny a posoudí i jiné možnosti obstrukce vývodného močového systému. Kromě výpočetní tomografie s použitím monoenergetického záření se v posledních letech objevuje i možnost využít zobrazení výpočetní tomografií s duální energií záření (DECT) (1, 2), která přináší do zobrazovací diagnostiky další rozměr, a to možnost bližší materiálové charakteristiky, konkrétně v případě urolitiázy možnost provedení chemické analýzy konkrémentu na základě absorpčních odlišností při použití dvou energií záření.

Význam chemické analýzy močového konkrémentu je ve využití odlišné strategie v léčbě. Terapeutické možnosti urolitiázy se odvíjejí od jejího chemického složení a obecně zahrnují možnosti hyperhydratace a alkalizace moči u solubilních (urátových) konkrémentů; v případě fosfátové litiázy pak extrakorporální litotrypsy rázovou vlnou a dále pak intervenční metody jako perkutánní a ureteroskopická extrakce konkrémentu u velmi pevných konkrémentů s vysokým podílem kalcia (oxalátových). Se zřetelem na důležitost znalosti chemického složení urolitiázy při volbě nejvhodnějšího terapeutického postupu se metoda DECT chemické analýzy urolitiázy dosud jeví jako vhodná indikace využití DECT. Vzhledem k omezenému rozšíření metody bylo cílem naší studie zhodnotit stupeň korelace našich vlastních výsledků DECT analýzy urolitiázy s laboratorním chemickým rozбором konkrémentů, a posoudit tak reálný přínos metody pro klinickou praxi.



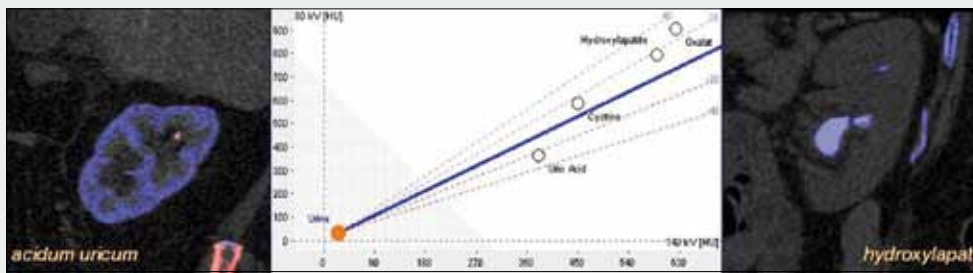
▲ Obr. 1



▲ Obr. 2

**Obr. 1. Urátová litiáza, denzita konkrémentu při 80 a 140 kV**  
Fig. 1. Urate: densities calculated by attenuation of X-rays with 80 and 140 kV

**Obr. 2. Struvitová litiáza, denzita konkrémentu při 80 a 140 kV**  
Fig. 2. Struvite: densities calculated by attenuation of X-rays with 80 and 140 kV



Obr. 3. **Urátová versus hydroxyapatitová litiáza, chemická analýza rozdíly v kódování barvou**  
Fig. 3. **Chemical analysis: urate and hydroxyapatite with different color coding by the same setting**

▲ Obr. 3

## MATERIÁL A METODA

Bylo provedeno DECT celkem u 87 pacientů pro přítomnost urolitiázy. Z tohoto souboru celkem 67 pacientů bylo vyšetřováno cíleně pro suspektní či již známou urolitiázu. Všechna vyšetření byla provedena pomocí CT přístroje se dvěma zdroji X-záření – Dual Source CT (SOMATOM Definition, Siemens Medical Solution, Erlangen, Germany). Vyšetření byla realizována v rozsahu břicha a pánve, a to buď nativně v případě požadavku pouze chemické analýzy již známé urolitiázy, nebo postkontrastně v případě provedení vyšetření z důvodu současného posouzení parenchymu ledviny nebo modelace dutého systému ledvin. Protokol zahrnoval následující akviziční parametry: zdroj A 140 kV/75 eff.mAs; zdroj B 80 kV/350 eff.mAs; pitch 0,7; kolimace 2 × (32 × 0,6) mm; s využitím systému automatické kontroly expozice CareDose 4D. Data byla rekonstruována ve vrstvách šíře 0,75 mm; increment 0,7 mm; v algoritmu pro DE; a analyzována pomocí programu Syngo Dual Energy Siemens, v modu KidneyStones. V případě postkontrastního vyšetření bylo do kubitální žíly aplikováno pomocí přetlakového injektoru 100 ml neionické kontrastní látky (Iomeron 350, Bracco) rychlostí průtoku 4 ml/s, s následným záplachem 50 ml fyziologického roztoku. V případě požadavku na modelaci dutého systému jsme prováděli celkem v 15 případech i odložené

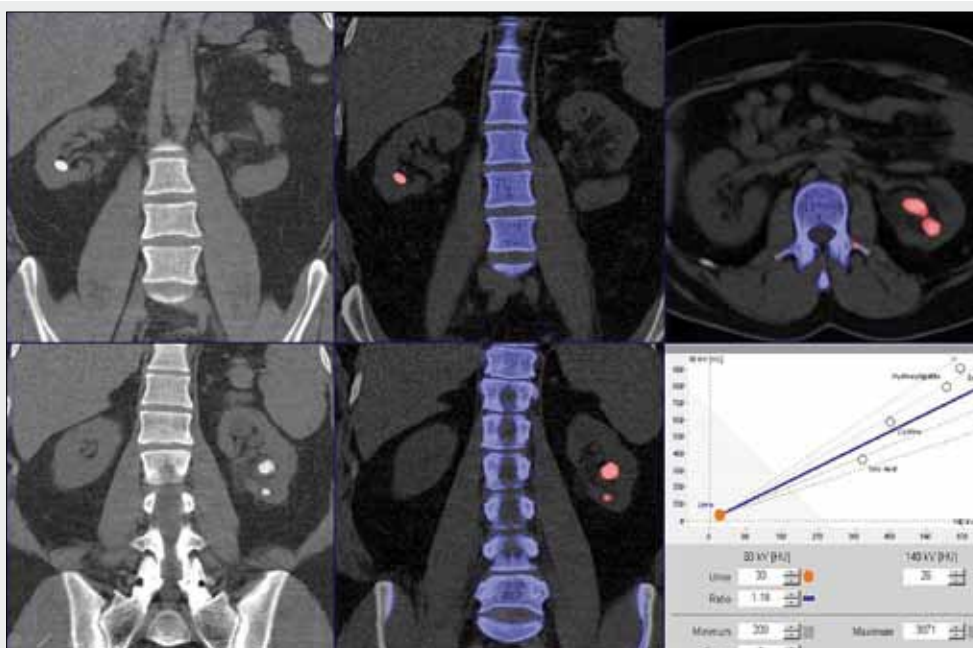
skenování jednou energií záření (100 kV) v exkretorické fázi v odstupu 10–12 minut, s následnou rekonstrukcí dutého systému ledvin. Z důvodu výrazné symptomatologie a sporného nálezu na dutém systému ledvin jsme ve dvou případech provedli Furosemidový test, s aplikací 0,5 mg/kg Furosemidu i.v. před skenováním.

## VÝSLEDKY

Pomocí DECT bylo z různých indikací vyšetřeno celkem 87 pacientů se záchytem urolitiázy (51 mužů, 36 žen) ve věku 18–86 let. Cíleně pro analýzu již známé či suspektní urolitiázy bylo vyšetřeno DECT celkem 67 pacientů standardní konstituce. Dle chemické analýzy DECT byl podíl jednotlivých typů urolitiázy v tomto souboru pacientů následující:

- urát 15 % (4 ženy/6 mužů),
- cystin 3 % (2 muži),
- hydroxyapatit 12 % (3 ženy/5 mužů),
- oxalát 58 % (14 žen/25 mužů),
- smíšené konkrementy 12 % (4 ženy/4 muži).

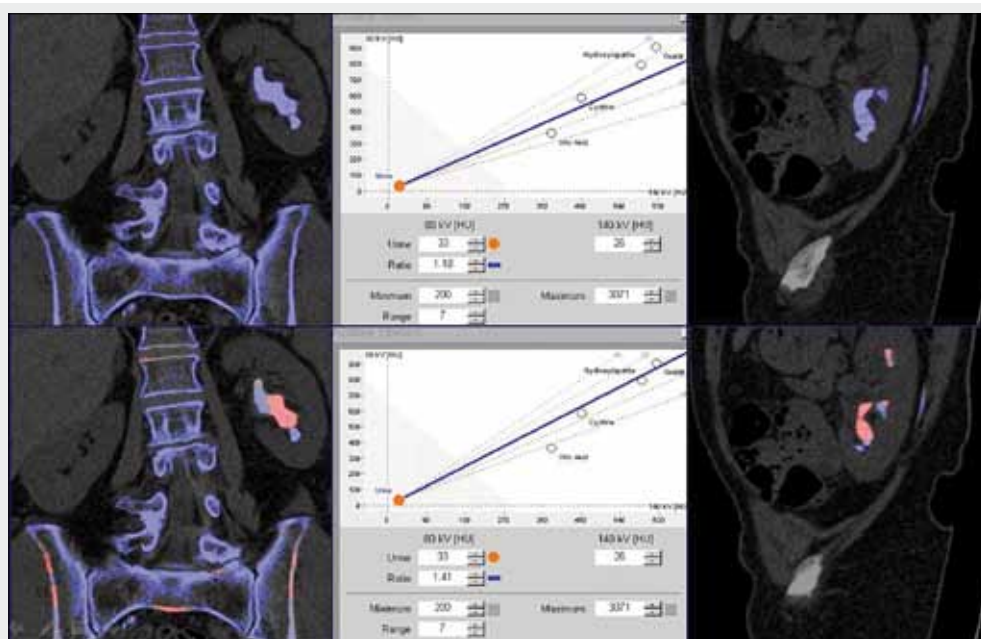
Ze skupiny smíšené urolitiázy byly nejčastěji přítomny konkrementy s podílem apatit/struvit či apatit/oxalát, ojediněle i urát/oxalát. Velikost konkrementů se pohybovala od 2 do 17 mm.



Obr. 4. **Chemická analýza: čistý urát**  
Fig. 4. **Chemical analysis: pure urate**

▲ Obr. 4





Obr. 5. Chemická analýza: smíšený hydroxyapatitový konkrement: 70% apatit, 30% struvit  
 Fig. 5. Chemical analysis: mixed stone with 70% compound of apatite and 30% of struvite respectively

▲ Obr. 5

Následně terapeutické řešení urolitiázy na Urologické klinice FN Plzeň včetně provedení laboratorní chemické analýzy konkrementů bylo provedeno celkem u 30 pacientů.

Dle laboratorní chemické analýzy byl tento soubor tvořen:

- urát 17 % (5 pacientů z 30),
- cystin 3% (1 pacient z 30),
- hydroxyapatit 3 % (1 pacient z 30),
- oxalát 33 % (10 pacientů z 30),
- smíšené konkrementy 44 % (13 pacientů z 30).

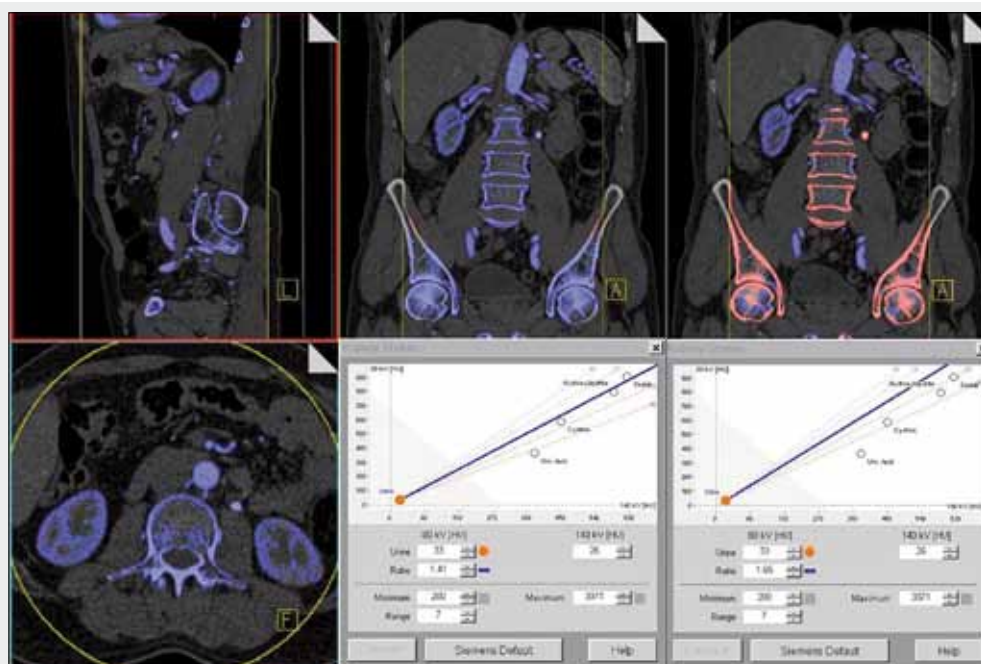
Všichni pacienti byli v našem souboru konstitučně v mezích normy, tj., nevyskytl se ani jeden případ extrémní obezity. Po korelaci výsledků chemické skladby litiázy oběma metodami bylo metodou DECT správně detekováno všech 30 konkrementů různé velikosti (100% senzitivita) a u konkre-

mentů nad 3 mm byla i správně provedena jejich diferenciaci na urátové a non-urátové (100% specificita). U konkrementů pod 3 mm nebyl v jednom případě správně stanoven konkrétní typ non-urátové litiázy (specificita 97%).

U zbylých 37 pacientů z celého vyšetřovaného souboru nebyl dosud proveden urologický terapeutický výkon s následným laboratorním ověřením skladby konkrementu, nebo byli pacienti léčeni na jiném, externím pracovišti.

## DISKUSE

Princip chemické analýzy urolitiázy při využití dvou zdrojů záření o různém napětí vychází z algoritmu chemické



Obr. 6. Chemická analýza: čistý oxalátový konkrement  
 Fig. 6. Chemical analysis: pure oxalate

▲ Obr. 6

dekompozice tří materiálů (1–3). Podle tohoto algoritmu jsou ledvinné kameny směsí hypoteticky „čistého“ neporézního kamene a moči. Reálný močový konkrement se pak v závislosti na jeho porozitě nachází někde mezi těmito mezními denzitními hodnotami „čistého“ kamene a moči (3).

Protože urátové konkrementy jsou složeny z tzv. „lehkých“ chemických prvků (H, C, N, O), jejich absorpce X-záření o vysokém a nízkém napětí se podstatně liší od absorpce u non-urátových konkrementů, které jsou složeny z tzv. „těžkých“ prvků (P, Ca, S). Důsledkem jsou vyšší denzitní hodnoty u vyšších voltáží než u nižších voltáží u urátové litiázy a naopak u non-urátové litiázy vyšší denzitní hodnoty u nižších voltáží než u vyšších voltáží. Detekce a kvantifikace chemických prvků ve tkáních (Ca u non-urátů) probíhá tedy na základě jejich různé absorpce při použití dvou různých energií záření (3, 4).

Duální CT přístroj využívá simultánně dvojí energie záření, pracuje s vysokým prostorovým rozlišením a umožňuje bezprostřední postprocessing dat v algoritmu materiálové dekompozice („Kidney Stones“, SyngoDE, Siemens). Výsledné hodnoty lze zobrazit dvojím způsobem: obecnějším barevným kódováním na dvě základní skupiny (urátová/červená a nonurátová/modrá litiáza) a přesnějším zobrazením v grafu, který je charakterizován na horizontální ose denzitními hodnotami ze zdroje 140 kV a na vertikální ose denzitními hodnotami ze zdroje 80 kV. V grafu jsou pevně vyznačeny denzitní hodnoty základních typů urolitiázy (urát, cystin, hydroxyapatit a calcium oxalate monohydrát). Porovnáním získaných denzitních hodnot vyšetřované litiázy s definovanými hodnotami základních typů urolitiázy lze dojít k přesnému výsledku chemického složení (3–5). Poměrně s úspěchem lze takto posuzovat i smíšené močové konkrementy. V případě pouze postkontrastního vyšetření lze využít virtuální nativní zobrazení, což eliminuje nutnost nativního skenování, a přispívá tak k redukci radiační dávky. Kromě vyhodnocení chemického složení a lokalizace urolitiázy je samozřejmostí i zhodnocení všech orgánů, cévních struktur, stavu lymfatického systému a patologických odchylek v provedeném rozsahu vyšetření.

Jak již bylo uvedeno výše, pohled na diagnostiku urolitiázy a její možnosti se během několika posledních let významně změnil. Dříve hojně využívané techniky konvenční radiologie (RTG a IVU) byly na některých pracovištích téměř opuštěny a nahrazeny metodou výpočetní tomografie. Výpočetní tomografie se díky své vysoké senzitivitě, výbornému morfologickému zobrazení a rychlosti provedení stala významným pomocníkem v diagnostice urolitiázy. Propracováním akvizičních technik bylo umožněno i významně redukovat

radiační zátěž vyšetření CT (6). Ačkoliv výpočetní tomografie přinášela detailní informace o lokalizaci a velikosti močového konkrementu, další přínos pro klinické využití neposkytovala. V polovině minulého desetiletí byla vyvinuta metoda zobrazení výpočetní tomografií pomocí dvou zdrojů záření o různé energii (DECT), která řeší otázku materiálového složení močových konkrementů. Pro klinické využití této metody je obzvláště důležitá možnost diferenciací mezi urátovou a non-urátovou litiázou. V případě urátových konkrementů (udáván výskyt kolem 10–15%) může být okamžitě zahájena farmakologická alkalizace moči vedoucí k rozpouštění urátových kamenů bez nutnosti čekat na výsledky laboratorních metabolických testů. Pacientům s urátovou litiázou je tak umožněno vyhnout se invazivním urologickým výkonům či extrakorporální litotrypsi rázovou vlnou, které mohou být spojeny s rizikem krvácení či hypertenze a také bývají spojeny s vyššími ekonomickými náklady.

Zobrazení DECT kromě informace o chemické skladbě konkrementu přináší i výborné morfologické zobrazení celého urotraktu a ostatních zachycených orgánů v dutině břišní, je vysoce senzitivní, rychlé, neinvazivní, při racionálním plánování akvizičních parametrů není jeho radiační zátěž významněji zvýšená (6,6 mSv) a je pohodlné pro pacienta (3–5). Zavedením nového systému filtrace záření X pomocí cínového filtru dochází u nových systémů DSCT ke zlepšení separace spekter a také k výraznějšímu poklesu aplikované dávky záření. Po klinické introdukcii iterativních rekonstrukčních algoritmů dat CT lze dále předpokládat výraznější omezení radiační dávky.

Dle našich výsledků je senzitivita DECT u všech detekovaných konkrementů 100%. Problémem pro přesnou chemickou analýzu skladby však mohou být velmi malé konkrementy (pod 3 mm). V dostupné literatuře se uvádí pokles senzitivity až na 70% v detekci velmi malých konkrementů (pod 3 mm) u extrémně obézních jedinců, kde je vyšší zatížení šumem u napětí 80 kV. V našem souboru byli konstitučně všichni pacienti v mezích normy.

## ZÁVĚR

Na základě porovnání výsledků DECT analýzy urolitiázy a následné chemické laboratorní analýzy skladby konkrementu jsme potvrdili vysokou senzitivitu (100%) a specifitu (97%) metody DECT s využitím algoritmu chemické dekompozice tří materiálů. Metodu DECT lze doporučit jako metodu volby v diagnostice urolitiázy s komplexním výstupem a bohatým přínosem pro klinickou praxi.

## LITERATURA

1. Johnson TR, Krauss B, Sedlmair M, et al. Material differentiation by dual energy CT: initial experience. *Eur Radiol* 2007; 17(6): 1510–1517.
2. Ferda J, Flohr T, Kreuzberg B. Zobrazení tkání výpočetní tomografií s duální energií záření – první zkušenosti z klinického využití. *Ces Radiol* 2008; 62(1): 11–22.
3. Primak AN, Fletcher JG, Vrtiska TJ, et al. Noninvasive Differentiation of Uric Acid versus Non-Uric Acid Kidney Stones Using Dual-Energy CT. *Acad Radiol* 2007; 14(12): 1441–1447.
4. Graser A, Johnson TR, Bader M, et al. Dual energy CT characterization of urinary calculi: initial in vitro and clinical experience. *Invest Radiol* 2008; 43(2): 112–119.
5. Stolzmann P, Scheffel H, Rentsch K, et al. Dual-energy computed tomography for the differentiation of uric acid stones: ex vivo performance evaluation. *Urol Res* 2008; 6(3–4): 133–138.
6. Martingano P, Stacul F, Cavallaro MF, et al. 64-Slice CT urography: optimization of radiation dose. *Radiol Med* 2011; 116(3): 417–431.