

Nové trendy v diagnostice a terapii urolitiázy – role CT vyšetření

MUDr. Milan Král, Ph.D.¹, MUDr. Filip Čtvrtlík, Ph.D.², Ing. Jaromír Ptáček, Ph.D.³,
MUDr. František Hruška, FEBU¹, MUDr. Michaela Motolová⁴

¹Urologická klinika LF UP a FN Olomouc

²Radiologická klinika LF UP a FN Olomouc

³Klinika nukleární medicíny LF UP a FN Olomouc

⁴Urologické oddělení, Nemocnice milosrdných sester, Vídeň, Rakousko

Diagnostika urolitiázy je integrální a každodenní náplní činnosti urologa, vyžaduje však nezbytnou spolupráci s radiologem. CT vyšetření umožňuje nejen identifikovat skutečnou příčinu renální koliky, ale může i posoudit základní vlastnosti konkrementu – jeho velikost, počet, polohu, dále predikovat jeho složení, densitu, homogenitu a posoudit tak účinnost plánované léčby. Článek si dává za cíl přiblížit základy CT vyšetření řadovému urologovi.

Klíčová slova: urolitiáza, diagnostika, CT vyšetření, radiace, léčba.

New trends in diagnostics and therapy of urinary stones – the role of CT examination

Diagnostics of urinary stones is an integral and everyday part of urologist's activity. It requires essential cooperation with radiologist. CT enables not only the identification of the true cause of renal colic but it can also assess basic stone characteristic – size, number, location. Moreover, the CT scan can predict stone composition, its density, homogeneity and predict the efficacy of the planned treatment. The aim of this article is to enlighten the basics of CT examination to ordinary urologist.

Key words: urolithiasis, diagnostics, CT examination, radiation, therapy.

Úvod

Urolitiáza je metabolické onemocnění provázející lidstvo od počátku existence. Je definované tvorbou krystalů a konkrementů v močových cestách. Etiologie bývá zpravidla multifaktoriální, přičemž klíčovou roli hraje nižší příjem tekutin, vyšší močová koncentrace kamenotvorných substancí (např. oxalát, ionty vápníku, urát) a nižší koncentrace inhibitorů krystalizace (např. magnézium, sulfát, citrát, mukoprotein). Epidemiologická data dokládají, že prevalence činí 2–3 %, v některých geografických oblastech však až 20 % (1). Současně je patrný i významný nárůst zejména v rozvojových zemích. Vzhledem k tomu, že bývají postiženy převážně osoby v produktivním věku, stává se

urolitiáza problémem nejen medicínským, ale i sociálně-ekonomickým. Dalším z významných faktů je, že při nedodržování preventivních opatření (metafylaxe) dochází k recidivě urolitiázy v průběhu deseti let až u 50–70 % pacientů.

Primární diagnostika urolitiázy

Po odběru anamnézy a klinickém vyšetření je základní vyšetřovací metodou **sonografie (USG)**. Její nesporné výhody jsou všeobecně známé: nulová radiační zátěž, dostupnost, opakovatelnost vyšetření, možnost provedení i u dětí a gravidních žen. Při sonografii lze posoudit přítomnost urolitiázy v ledvinách, v proximálním či juxtavezikálním močovodu, šíři parenchymu ledviny, dilataci kalichopánvičkového systému,

případně je možno vyhodnotit obstrukci ureteru zachycením ejakulace moči z ureteru do měchýře pomocí doplerovského zobrazení a barevného mapování – tzv. ureteric jet effect. Jistá omezení spočívají v obtížnějším zobrazení ledvin a konkrementů u obézních pacientů a nemožnost posoudit střední ureter. **RTG ledvin (nativní nefrogram)** byl dlouhodobě považován po USG za další základní vyšetření. Dnes se používá v rámci posouzení litiázy v průběhu léčby (předoperačně/pooperačně), posouzení efektu litotrypsy extrakorporální rázovou vlnou (LERV). Zásadním předpokladem ovšem je, aby konkrement byl RTG kontrastní.

Za zlatý standard diagnostiky urolitiázy považováno **nativní spirální CT urotraktu**.



KORESPONDENČNÍ ADRESA AUTORA:

MUDr. Milan Král, Ph.D., milan.kral@fnol.cz

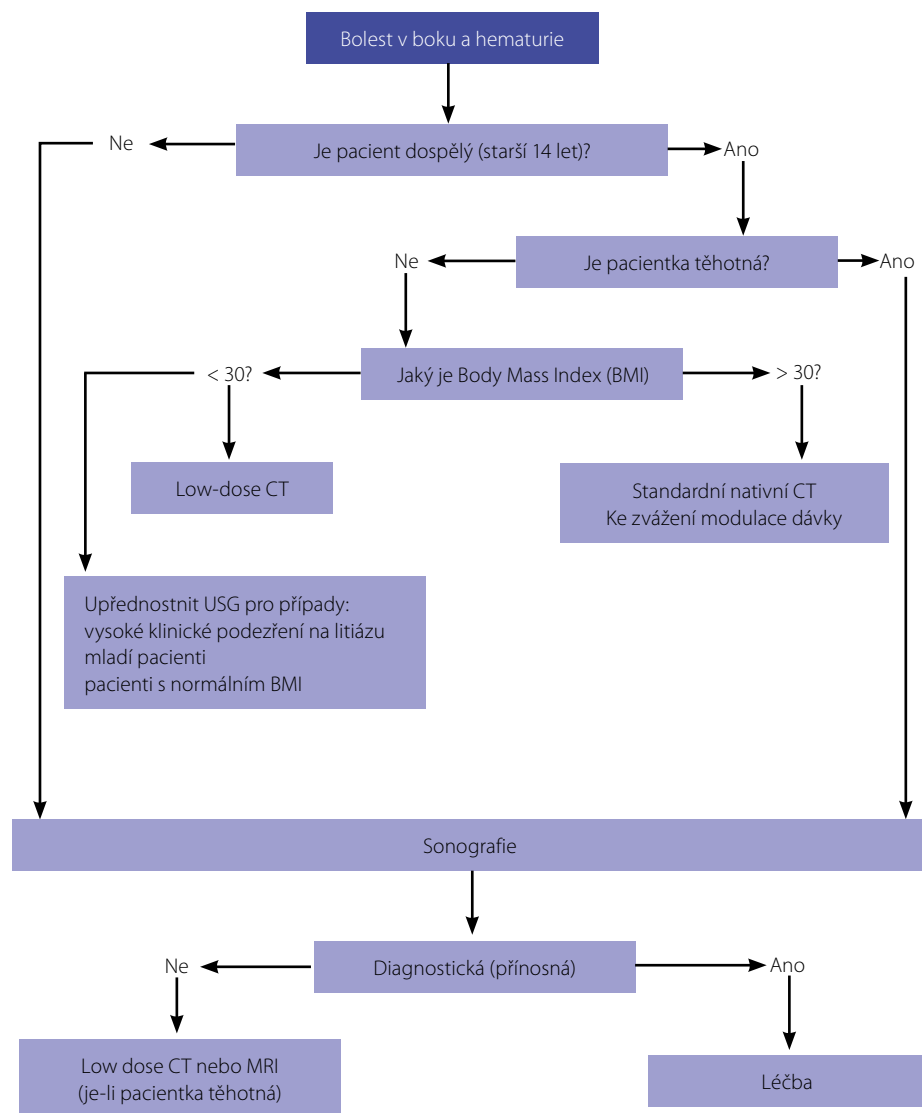
Urologická klinika LF UP a FN Olomouc, I. P. Pavlova 6, 779 00 Olomouc

Cit. zkr: Urol. praxi 2020; 21(2): 57–61

Článek přijat redakcí: 15. 1. 2020

Článek přijat k publikaci: 25. 1. 2020

Obr. 1. Doporučení AUA společnosti při podezření na renální koliku (2)



Tab. 1. Srovnání výtěžnosti vyšetřovacích metod při urolitiáze (upraveno dle Brisbane et al. (2))

Zobrazovací vyšetření	Senzitivita (%)	Specifita (%)	Radiační zátěž (mSv)	Cena (násobek rtg ledvin)
Standard dose CT	95	98	10,0	10
Low-dose CT	95	97	~3,0	10
USG	84	53	není	5
RTG urotraktu	57	76	0,7	1
MRI	82	98	není	30

Disponuje vysokou senzitivitou (95 %) a specifitou (98 %) (2) (tabulka 1). CT umožňuje přímo zobrazit konkrement (polohu, rozměr) a současně posoudit i nepřímé známky přítomnosti konkrementu. Mezi tyto patří dilatace nad místem obstrukce, zvětšení ledviny a snížení denzity parenchymu v rámci edému, přítomnost perirenálního strandingu (proužky tekutiny v tukovém pouzdru), tekutina v okolí ledviny (např. urinom) nebo otok ureteru v místě konkrementu (ureteric rim sign). Nativní spirální CT je však neméně důležité v rámci diferenciální diagnostiky

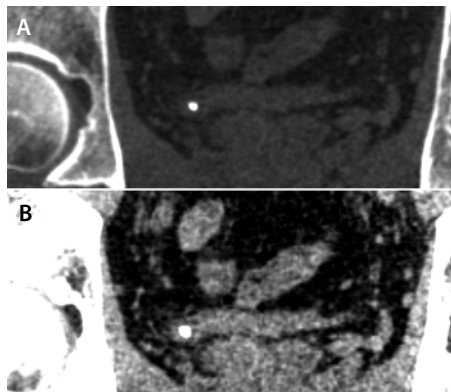
suspektní renální koliky – ruptura aneuryzmatu abdominální aorty, biliární kolika, apendicitida, divertikulitida, vertebrogenní zdroj (lumboischadický syndrom), gynekologické afekce (torze či ruptura cysty ovaria, extrauterinní gravidita) či patologické expanze (tumory dutiny břišní či retroperitonea). Mezi nevýhody CT vyšetření patří radiační zátěž, nemožnost posouzení funkční zdatnosti ledviny, jejího prokrvení (např. v případě podezření pro infarkt ledviny) nebo vyjádření se k etiologii atypických renálních expanzí (komplikované cysty, tumory, zánětlivá ložiska).

Strategii vyšetření pacientů s podezřením na renální koliku dle doporučení Americké urologické společnosti (AUA) předkládá obrázek 1.

S přihlédnutím k radiační zátěži urologických vyšetřeních a faktu, že mnozí pacienti trpící litiázou podstoupí za svůj život vícečetná RTG či CT vyšetření, je nezbytné dodržovat princip ALARA (ALARA – As Low As Reasonably Achievable). V praxi to znamená, že je-li vyšetření správně indikováno (je-li vyšetření s použitím rentgenového záření v daném případě nepostradatelné), potom musí být provedeno jen s nezbytně nutnou radiační zátěží při zachování dostatečné kvality diagnostických obrazů. Bere se za prokázané, že obdržení celkové efektivní dávky 100 mSv za život vede u jednoho z 200 pacientů ke vzniku radiací indukované malignity (3). V souvislosti s radiační zátěží hovoříme o tzv. standard dose CT, low-dose CT a ultra low-dose CT. Radiační zátěž je závislá na použitém napětí CT přístroje na rentgence (kV), proudu (mA) resp. elektrickém množství (mAs) a rozsahu prováděného CT vyšetření (rozsah od horního pólu ledvin po bazi měchýře). Omezení rozsahu skenu ozářeného těla je nejjednodušší ke snížení radiační zátěže, neboť snižuje množství ozářené tkáně a současně jsou více chráněny radiosenzitivní orgány (prsa, gonády). Dříve používaný axiální způsob sběru dat při CT vyšetření je dnes nahrazen spirálním. Pacient postupně projíždí gantry přístroje a zároveň se kolem něj kontinuálně otáčí systém rentgenky a protilehlých detektorů. To výrazně urychluje celé vyšetření a zároveň se tak získají hrubá data o celém vyšetřovaném objemu. Z hrubých dat jsou následně zrekonstruovány jednotlivé obrazové řezy, zpravidla o síle 2,5 mm se vzájemným posuvem 1,25 mm, přičemž síla řezu i posuv mezi řezy se může lišit dle zvyklostí pracoviště.

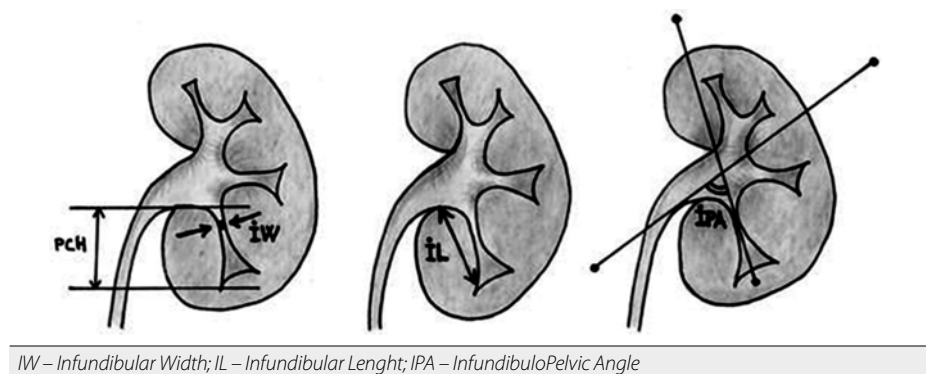
Zatímco radiační zátěž standardního CT je 10–12 mSv, u low-dose CT je zátěž < 3–3,5 mSv a ultra low-dose CT < 1,9 mSv. Snížení radiační zátěže lze docílit manuálním snížením proudu (elektrického množství) nebo napětí. Tyto postupy však vedou ke zvýšení obrazového šumu, což bylo nejvýrazněji patrné u obézních pacientů (s BMI ≥ 30) (4, 5). V současné době se rovněž používá tzv. **automatické modulační proudy**, která mění elektrické množství v závislosti na zeslabení konkrétní vyšetřované oblasti napříč pacientem. Cílem zavedení této techniky je zajistit konstantní obrazovou kvalitu pro všechny

Obr. 2. Rozdíl ve velikosti konkrementu: A) kostní okno, B) okno pro měkké tkáně



hmotnostní kategorie pacientů. Z toho je zřejmé, že pro pacienta s hmotností nižší než je předdefinovaný standard (u dospělého zpravidla 70 kg), dojde ke snížení radiační zátěže, kdežto pro pacienta s hmotností vyšší dojde k jejímu nárůstu (obojí v porovnání s fixním manuálním nastavením expozičních parametrů). Je třeba si ale uvědomit, že nárůst radiační zátěže u obéznějších pacientů je nezbytný k tomu, aby byl vytvořen dostatečně kvalitní obraz. Je zdánlivě paradoxní, že výsledky a kvalita zobrazení je lepší u pacientů s BMI > 25 oproti pacientům s BMI < 25. Důvodem je, že při stejné míře obrazového šumu je snazší identifikovat konkrement v ureteru u pacientů s větší proporcí intraabdominálního/pánevního tuku (ureter je lépe odlišitelný od tuku a jsou lépe patrné sekundární známky obstrukce – rim sign a perirenální stranding). Toto současně vysvětluje fakt, proč je u štíhlých pacientů častější riziko záměny konkrementu za flebolit (6). Kromě elektrického množství/proudu je možné snížit radiační zátěž i změnou napětí. Tento postup, bez patřičné kompenzace zvýšením mAs, však vede k velkému nárůstu šumu v obraze. Rovněž je nutné brát zřetel na to, že **změna kV vede** ke změnám kontrastu obrazu a **změněm CT čísel** jednotlivých materiálů. K vlastní rekonstrukci obrazu se používá tzv. filtrovaná zpětná projekce (FBP) nebo iterativní rekonstrukce (IR). Při použití FBP a IR na stejná data vykazují FBP zrekonstruované obrazy vyšší šum. Výhoda IR tedy spočívá v tom, že s horší kvalitou vstupních dat dokáže vytvořit kvalitnější obrazy než FBP. Jinými slovy umožňuje zachovat obrazovou kvalitu a snížit radiační zátěž pacientů. V praxi může použití low-dose CT a IR snížit radiační zátěž přibližně o 75 % v porovnání se standardně prováděným CT a FBP. Současně nedochází ke zhoršení diagnostické výtěžnosti,

Obr. 3. Infundibulopelvicový úhel (11)



IW – Infundibular Width; IL – Infundibular Length; IPA – InfundibuloPelvic Angle

senzitivity (90–98 %) ani specifity (88–100 %). Toto platí nejen pro urolitiázu, ale i pro ostatní nálezy v rámci diferenciální diagnostiky v urologii. Nutno podotknout, že výtěžnost ultra-low dose CT se snižuje s klesající velikostí konkrementu < 3 mm a rostoucím Body Mass Indexem (BMI) > 30. Přesto dle metaanalýz dosahovala senzitivita ultra-low dose CT 72–99 % a specifita 86–100 % (7, 8).

Pro diagnostiku urolitiázy je nativní spirální CT břicha naprosto dostačující. V odůvodněných případech např. před operací v horních (ale i dolních) močových cestách je potřeba doplnit intravenózní podání kontrastní látky k detailnímu zobrazení vývodných močových cest (CT urografii). Indikací jsou např. očekávané vrozené (pelvis duplex, ureter fissus/duplex, hydronefróza, divertikl kalichu, stenóza krčku kalichu, parapelvické cysty, renální dystopie) či po předchozích intervencích získané abnormality urotraktu (stavy po derivacích moči, transplantovaná ledvina, striktury ureteru, píštěle). Indikace těchto i dalších vyšetření (např. MR hydrografie, MR urografie, statická či dynamická scintigrafie ledvin) je dána typem plánovaného výkonu.

Role CT při plánování léčby

Mezi léčebné metody urolitiázy (pomineme-li konzervativní postupy – sledování a medikamentózní vypuzovací terapii) patří extrakorporální litotrypse rázovou vlnou (LERV), endourologické operační techniky (semirigidní a flexibilní ureteroskopie a perkutánní extrakce konkrementu) a dnes již výjimečně otevřená, laparoskopická či robotická operativa. Volba té které metody je závislá na velikosti, počtu a lokalizaci konkrementu, vybavení pracoviště (extrakorporální litotryptor, flexibilní ureteroskop), osobní zkušenosti operátora s danými metodami a preferencí pacienta. Zatímco při

plánování endoskopického řešení se rozhodujeme mezi perkutánním, retrográdním či kombinovaným přístupem (pomocí laseru, ultrazvukových, elektrokinetických či pneumatických tryptorů) a složení litiázy nemusí hrát zásadnější roli, v případě LERV je nutno zohlednit polohu konkrementu, vzdálenost konkrementu od kůže (skin to stone distance), jeho denzitu a heterogenitu, případně nám CT pomůže predikovat složení tj. i tvrdost litiázy. Všechny tyto parametry mohou ovlivnit úspěšnost extrakorporální litotrypse.

Velikost konkrementu

Udává se, že až 50 % konkrementů o velikosti do 5 mm má šanci na spontánní odchod. Z důvodu vyšší přesnosti stanovení rozměru konkrementu je nutno při prohlížení CT obrazů použít kostní okno (bone window) oproti běžně používanému oknu pro měkké tkáně (soft tissue window), a to v koronární a transverzální projekci (9) (obrázek 2). Strategie léčby s přihlédnutím k objemu je zpracována v doporučeních Evropské urologické společnosti (EAU) (1).

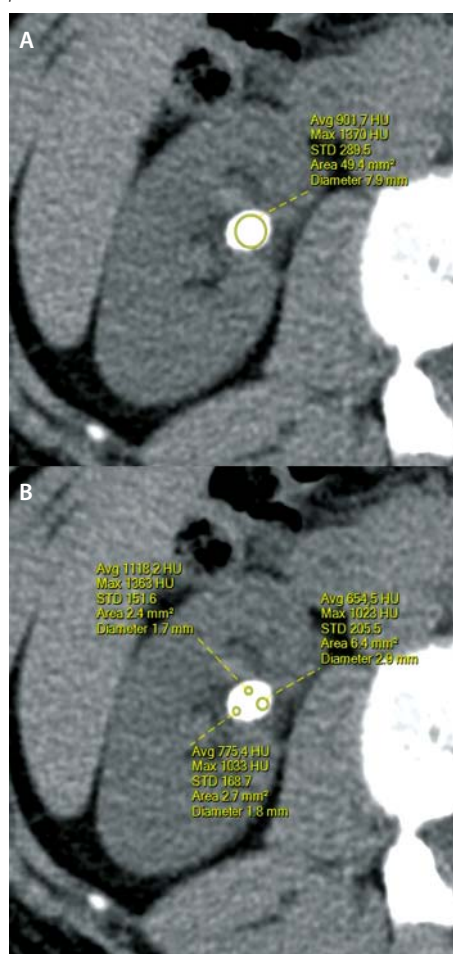
Poloha konkrementu

Poloha litiázy v ureteru je prediktorem vyšší úspěšnosti LERV a spontánního odchodu oproti LERV nefrolitiázy. Zejména v případě polohy konkrementu v dolním kalichu hraje roli šířka a délka dolního kalichu a tzv. infundibulopelvicový úhel (čím ostřejší, tím nižší pravděpodobnost evakuace fragmentů z dolního kalichu) (obrázek 3) (10, 11).

Skin-to-Stone Distance (SSD, vzdálenost kůže–konkrement)

První práce posuzující roli vzdálenosti konkrementu od kůže resp. od vaku litotryptoru prokázaly, že se vzdáleností nad 10 cm se snižuje

Obr. 4. Stanovení MSD konkrementu z jedné oblasti zájmu (A) nebo průměrem ze tří oblastí (B) (archiv pracoviště autora)

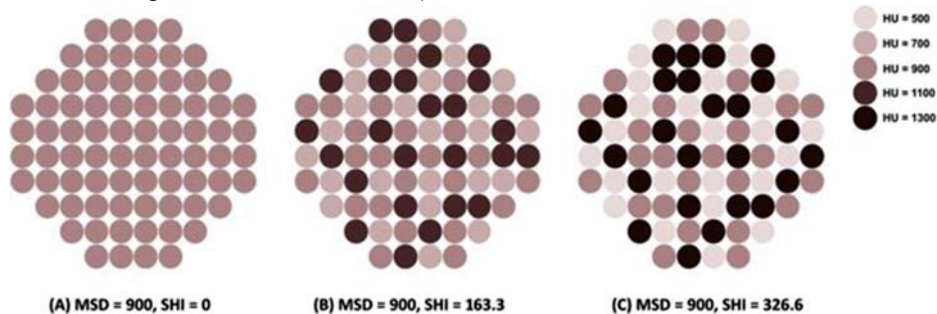


účinnost LERV (12). Toto bylo potvrzeno i v dalších studiích a nejen pro urolitiázu v dolním kalichu, ale i v močovodu. Jiné práce naopak tvrdí, že spíše než SSD hraje roli složení konkrementu, jeho velikost a poloha, typ litotryptoru a – jak bývá v chirurgických oborech běžné – také operatér. Vzdálenost se měří od centra konkrementu ke kůži v úhlu 45°.

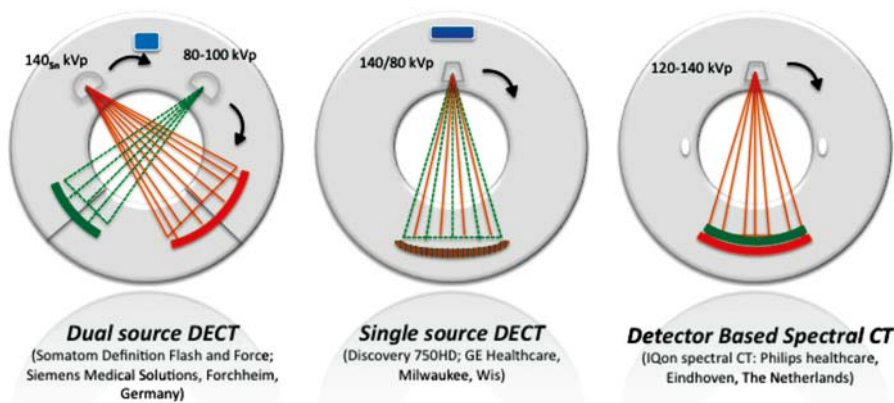
Mean Stone Density (střední denzita konkrementu)

Denzita v CT obraze je dána zeslabením (atenuací) rentgenového svazku při průchodu konkrementem a umožňuje predikovat tvrdost litiázy. Způsob měření tzv. oblasti zájmu (Region Of Interest, ROI) zahrnuje jednu větší či více menších oblastí měření (obrázek 4). Dle doporučení Americké urologické asociace je stanovená cut-off/horní hranice denzity pro úspěšnost LERV 900 HU, ačkoli se výsledky některých studií liší (vlivem metodologie, typu litotryptoru, měření oblasti zájmu) (13, 14, 15) a v řadě případů LERV vykazuje dobrou efekti-

Obr. 5. Heterogenita konkrementu dle zastoupení částic o různé denzitě (17)



Obr. 6. Typy CT přístrojů k technologii Dual Energy CT (převzato z Patino et al., 18)



vitu i u konkrementů s vyšší denzitou. Při používání cut-off hodnot je nutné nejprve zjistit, jaké expoziční parametry při CT vyšetření autoři použili, především jaké bylo použité napětí na rentgence. Tento parametr zásadně ovlivňuje měřené CT číslo, a to tím výrazněji, čím se materiál svým složením liší od vody.

Stone Heterogeneity Index (SHI)

CT vyšetření je schopno velmi dobře posoudit vnitřní strukturu a homogenitu konkrementu. Vyplývá z něj tvrdost a sklon k fragmentaci pomocí extrakorporální litotrypse (16). Standardní odchylka denzity v různých oblastech daného konkrementu je označována jako Stone Heterogeneity Index. Jak vyplývá z obrázku 5, konkrement o stejné CT denzitě se může lišit indexem heterogenity a s rostoucím indexem lze očekávat snažší fragmentaci. Lee et al. prokázali korelaci vysokého SHI a úspěšnosti LERV, ale jen u konkrementů > 10 mm (17).

Chemická analýza urolitiázy pomocí CT

Ke stanovení složení konkrementu resp. k predikci složení lze použít CT vyšetření pomocí dvou energií (Dual Energy CT, DECT). Metoda je založena na matematické analýze CT obrazů získaných při různých napětích (kombinace 80

či 100 kV a 140 kV) (obrázek 6). Díky závislosti zeslabení rentgenového svazku na jeho energii (při průchodu daným materiálem) lze tímto postupem určit složení materiálu. Vychází se z faktu, že míra zeslabení je dána protonovým číslem materiálu – vysoké protonové číslo vede k významné změně zeslabení, naopak nízké atomové číslo způsobí menší změnu zeslabení. Zatímco urátové konkrementy jsou složené z lehkých prvků s nízkým protonovým číslem (H, C, N, O), non-urátové jsou složené z těžších prvků (P, Ca, Mg, S). Speciální software je schopen určit DECT index oslabení kamene, definovaného jako poměr CT čísla v obraze získaném při CT o nízké vs. vysoké energii. Zatímco první generace DECT přístrojů umožňovaly pouze rozdělení na urátové vs. nonurátové konkrementy, novější generace CT přístrojů jsou schopny dále subklasifikovat non-urátové konkrementy na kalcium oxalát mono – a dihydrát, apatit, cystin či struvit. Pro každý druh konkrementu je definované určité rozmezí poměru CT čísel, přičemž jednotlivá rozmezí se mohou částečně překrývat. Výhoda chemické analýzy konkrementů pomocí DECT spočívá v tom, že každý typ konkrementu má jiné mechanické vlastnosti a tudíž lze odhadnout úspěšnost extrakorporální litotrypse (18, 19). Při tomto vyšetření se nejprve provede

low-dose CT a po identifikaci konkrementu se daná oblast vyšetří Dual Energy CT. Efektivní dávka pak činí 3,4–5,3 mSv (20).

Závěr

Moderní zobrazovací technologie (a na prvním místě CT vyšetření) umožňují rychlejší

a preciznější diagnostiku urolitiázy. V případě diferenciální diagnostiky renální koliky pak hrají dokonce nezastupitelnou roli. Posouzení jednotlivých parametrů litiázy (velikost, poloha, počet, denzita, heterogenita či skin-to-stone distance) vede k lepší predikci úspěšnosti konkrétní léčebné metody. Současné CT přístroje

poskytují dostatečnou výtěžnost v diagnostice konkrementů i při poměrně nízké radiační zátěži, což má význam zejména u pacientů s recidivující urolitiázou a nutností opakovaných zobrazovacích vyšetření.

Autor prohlašuje, že zpracování článku nebylo podpořeno žádnou společností.

LITERATURA

1. Türk C, Skolarikos A, Neisius A et al. EAU Guidelines on Urolithiasis. EAU Guidelines 2019. <https://uroweb.org/guideline/urolithiasis/>.
2. Brisbane W, Bailey MR, Sorensen MD. An overview of kidney stone imaging techniques. Nat Rev Urol. 2016; 13(11): 654–662. Epub 2016 Aug 31.
3. National Research Council: Health Risks from Exposure to low Levels of Ionizing Radiation: BEIR VII Phase 2. Washington. The National Academies Press, 2006: 422.
4. Hamm M, Knopfle E, Wartenberg S, Wawroschek F, Weckermann D, Harzmann R. Low dose unenhanced helical computed tomography for the evaluation of acute flank pain. J Urol. 2002; 167(4): 1687–1691.
5. Poletti PA, Platon A, Rutschmann OT, Schmidlin FR, Iselin CE, Becker CD. Low-dose versus standard-dose CT protocol in patients with clinically suspected renal colic. AJR Am J Roentgenol. 2007; 188(4): 927–933.
6. Gervaise A, Gervaise-Henry C, Pernin M, Naulet P, Junca-Laplace C, Lapiere-Combes M. How to perform low-dose computed tomography for renal colic in clinical practice. Diagn Interv Imaging. 2016; 97(4): 393–400. Epub 2015 Oct 27. Review.
7. Rob S, Bryant T, Wilson I, Somani BK. Ultra-low-dose, low-dose, and standard-dose CT of the kidney, ureters, and bladder: is there a difference? Results from a systematic review of the literature. Clin Radiol. 2017; 72(1): 11–15.
8. Rodger F, Roditi G, Aboumarzouk OM. Diagnostic Accuracy of Low and Ultra-Low Dose CT for Identification of Urinary Tract Stones: A Systematic Review. Urol Int. 2018; 100(4): 375–385. Epub 2018 Apr 12.
9. Eisner BH, Kambadakone A, Monga M, Anderson JK, Thoreson AA, Lee H, Dretler SP, Sahani DV. Computerized tomography magnified bone windows are superior to standard soft tissue windows for accurate measurement of stone size: an in vitro and clinical study. J Urol. 2009; 181(4): 1710–1715. Epub 2009 Feb 23.
10. Gupta NP, Singh DV, Hemal AK, Mandal S. Infundibulopelvic anatomy and clearance of inferior caliceal calculi with shock wave lithotripsy. J Urol. 2000; 163(1): 24–7.
11. Cracco C, Vercelli AE. (2014) Anatomy for PNL p. 41–55. In: Scoffone C, Hoznek A, Cracco C. (eds) Supine Percutaneous Nephrolithotomy and ECIRS. Springer, Paris.
12. Pareek G, Hedican SP, Lee FT Jr, Nakada SY. Shock wave lithotripsy success determined by skin-to-stone distance on computed tomography. Urology. 2005; 66(5): 941–944.
13. El-Nahas AR, El-Assmy AM, Mansour O, Sheir KZ. A prospective multivariate analysis of factors predicting stone disintegration by extracorporeal shock wave lithotripsy: the value of high-resolution noncontrast computed tomography. Eur Urol. 2007; 51(6): 1688–93; discussion 1693–1694. Epub 2006 Dec 4.
14. Bandi G, Meiners RJ, Pickhardt PJ, Nakada SY. Stone measurement by volumetric three-dimensional computed tomography for predicting the outcome after extracorporeal shock wave lithotripsy. BJU Int. 2009; 103(4): 524–528. Epub 2008 Oct 31.
15. Yamashita S, Kohjimoto Y, Iwahashi Y, Iguchi T, Nishizawa S, Kikkawa K, Hara I. Noncontrast Computed Tomography Parameters for Predicting Shock Wave Lithotripsy Outcome in Upper Urinary Tract Stone Cases. Biomed Res Int. 2018; 2018: 9253952.
16. Zarse CA, Hameed TA, Jackson ME, Pishchalnikov YA, Lingeman JE, McAteer JA, Williams JC Jr. CT visible internal stone structure, but not Hounsfield unit value, of calcium oxalate monohydrate (COM) calculi predicts lithotripsy fragility in vitro. Urol Res. 2007; 35(4): 201–6. Epub 2007 Jun 13.
17. Lee JY, Kim JH, Kang DH, Chung DY, Lee DH, Do Jung H, Kwon JK, Cho KS. Stone heterogeneity index as the standard deviation of Hounsfield units: A novel predictor for shock-wave lithotripsy outcomes in ureter calculi. Sci Rep. 2016 Apr 1; 6: 23988.
18. Patino M, Prochowski A, Agrawal MD, Simeone FJ, Gupta R, Hahn PF, Sahani DV. Material Separation Using Dual-Energy CT: Current and Emerging Applications. Radiographics. 2016 Jul-Aug; 36(4): 1087–105.
19. Kaza RK, Ananthakrishnan L, Kambadakone A, Platt JF. Update of Dual-Energy CT Applications in the Genitourinary Tract. AJR Am J Roentgenol. 2017; 208(6): 1185–1192. Epub 2017 Mar 16.
20. Mansouri M, Aran S, Singh A, Kambadakone AR, Sahani DV, Lev MH, Abujudeh HH. Dual-Energy Computed Tomography Characterization of Urinary Calculi: Basic Principles, Applications and Concerns. Curr Probl Diagn Radiol. 2015; 44(6): 496–500. Epub 2015 Apr 15.