

# CT尿路成像个体化检查的研究现状<sup>▲</sup>

李伟频

(南宁市红十字会医院,广西南宁市 530011)

**【摘要】** CT尿路成像(CTU)对肾实质、尿路形态和肾功能的诊断准确性和特异度均较高,但由于扫描面积大、多期扫描及对比剂的应用,对患者有较高的潜在风险。尽管CTU的适应证、影像标准和诊断思路已基本达成共识,但国内CTU诊断尚无公认的方案,因此应根据患者的情况进行个体化检查,如降低管电压、管电流,缩短扫描时间,缩小扫描范围等,改变对比剂注射方式和成像方法,与人工智能结合的图像重建等,保证图像真实呈现,以提供更丰富、真实的诊断信息,实现国际放射防护协会倡导的合理达到尽可能低剂量的原则。

**【关键词】** CT尿路成像;个体化检查;辐射剂量管理;对比剂

**【文章编号】** 1673-6575(2024)01-0080-05

DOI:10.11864/j.issn.1673.2024.01.18

CT尿路成像(computer tomography urography, CTU)对肾实质、尿路形态和肾功能的诊断准确性、特异度均较高,但由于扫描面积大、多期扫描导致患者对比剂用量及受辐射剂量均较高,导致潜在风险较高。牛延涛等<sup>[1]</sup>对我国30个省市168家医院的调查结果表明,CTU的辐射剂量诊断参考水平(diagnostic reference levels, DRL)高达2 620 mGy·cm,是国际原子能机构、美国国家放射防护和测量委员会、欧盟委员会等组织设定的标准的3倍。尽管CTU的适应证、影像学标准和诊断思路已基本达成共识,但仍有进一步优化的空间,其目标是既能满足诊断要求,又能降低放射线、对比剂的潜在伤害<sup>[2]</sup>。本文就CTU个体化检查在临床中的应用现状综述如下。

## 1 CT设备及后处理技术的发展

CT成像技术发展非常迅速,其中多层螺旋CT具有更高的密度、时间和空间分辨率,一次扫描即可对整个泌尿系统进行图像重建;而能谱CT则兼具抑碘技术,能从增强扫描图像中分离出虚拟平扫图像,有望替代常规CT平扫以减少扫描次数、降低辐射剂量。CT与人工智能重建技术相结合,使CT诊断进入形态与功能并重的时代,如通用公司的自适应迭代重建(adaptive statistical iterative reconstruction, ASIR)、东芝公司的适应性迭代剂量减低技术、飞利浦公司及西门子公司图像空间迭代重建和正弦图迭代重建等均能对噪声进行精确处理以消除伪影,保证图像得以真实呈现,为临床医生提供更丰富、更真实的诊断信息<sup>[3]</sup>。因此需要CTU医技人员及时更新知识,充

分利用CTU的新设备新技术,根据患者情况进行个体化检查,降低患者及医技人员的受辐射风险,提高诊断准确率。

## 2 CTU的个体化检查方案

DRL是国内外公认的判断辐射剂量是否过高或过低的指标,其旨在寻求取得图像质量和辐射剂量间的最佳平衡<sup>[4]</sup>。常规CTU扫描的管电压为100~120 kV,管电流为150~350 mA,螺距为0.938:1,皮质期延迟25~30 s、髓质期延迟90~110 s、排泄期延迟3~5 min的增强扫描<sup>[5]</sup>。CTU图像质量受患者年龄、体重、肾功能状态、造影剂用量及注射速率、成像捕获时机等多种因素的影响,在满足诊断需求的前提下尽可能降低辐射剂量,成为当前研究的热点,如降低扫描参数(降低管电压及管电流、缩短扫描时间、缩小扫描范围)、改变对比剂注射方式和成像方法、与人工智能相结合的图像重建等<sup>[6-7]</sup>。目前我国的CTU检查尚无建立在大样本数据基础上、符合我国国情的DRL,因此需根据患者体质及病情,利用设备提供的剂量优化检查方法,尽可能找到辐射剂量与高图像质量的平衡点,以达到国际放射防护协会倡导的合理达到尽可能低剂量的原则<sup>[8]</sup>。

## 3 辐射剂量管理

影响CTU辐射剂量参数的因素较多,Gangemi等<sup>[6]</sup>研究表明,在CTU常规剂量的基础上减少20%的辐射剂量,其诊断尿路病变的特异度与灵敏度均未明显降低,其中降低管电压、管电流是最有效的措施,在临床上得到广大医技人员的普遍认可。

**3.1 降低管电压** 能谱CT可瞬时切换高低电压(140 kV与80 kV),在动脉期虚拟平扫可以降低辐射

▲基金项目:广西壮族自治区卫生健康委员会自筹经费科研课题(编号:Z20200971)

剂量<sup>[9]</sup>。对于临床疑似结石的患者,马浩平等<sup>[10]</sup>用GE宝石能谱CT先行常规CT扫描,然后开启动脉期虚拟平扫,以获得普通平扫图像、动脉期碘基图和水基图(即虚拟平扫图),然后进行70 kV的动脉期增强扫描,图像信息丰富,与常规平扫比较其诊断一致率为100%,由此认为,对于尿路结石患者能谱CT虚拟平扫可以取代常规CT平扫,从而降低辐射剂量。

**3.2 降低管电流** 管电流自动调节(CARE Dose 4D)技术根据患者体型和扫描范围内射线的衰竭变化,能自动调整有效管电流,使患者的辐射剂量降低约35%,且对图像质量无明显影响<sup>[7]</sup>。朱玉春等<sup>[11]</sup>用64层螺旋CT在平扫期、皮质期、髓质期用常规管电压(120 kV)+固定管电流扫描,延迟期用低剂量CARE Dose 4D技术,同时静脉推注呋塞米5 mg以加速造影剂排泄,使肾盂、输尿管快速全程显示,在100 kV扫描条件下的有效管电流为74~129 mAs,明显低于预设参考值的175 mAs。采用多平面重组法(multi-planar reconstruction, MPR)、曲面重组法(curved planar reconstruction, CPR)、最大密度投影法(maximum intensity projection, MIP)和容积成像法(volume rendering, VR)进行图像重建,结果延迟期低剂量扫描的有效剂量、容积CT剂量指数均低于常规剂量+固定管电流法,达到欧洲泌尿放射协会推荐的辐射剂量要求<sup>[12]</sup>。但此法不适用于中重度肾功能受损、尿路梗阻严重的患者。付晓华等<sup>[13]</sup>认为在经皮肾镜碎石取石术时,利用CARE Dose 4D技术能更准确地了解肾脏的空间结构关系,评估肾盂肾盏、结石征象、肾积水程度及肾周组织器官等情况,确定最佳穿刺角度、穿刺深度,提高穿刺成功率,降低穿刺损伤周围脏器的风险及缩短手术时间,避免术后并发症的发生。

在不具备进行CARE Dose 4D技术操作的情况下,根据患者的体型确定管电流强度,正常体型患者为65~80 mAs,超重患者为83~110 mAs,肥胖患者为115~150 mAs,可达到图像质量与辐射剂量的平衡<sup>[7]</sup>。根据泌尿系统的血液循环和肾脏排泄功能的生理机制,对比剂注射2~3 min后即进入集合系统开始排泄过程,正常人群在5~10 min即可使集合系统和输尿管充盈良好,此时降低管电流扫描,亦可获得清晰的图像。

**3.3 减少扫描期相** 根据患者病情及体型情况,选择关键期相扫描和控制扫描范围,可以实现辐射剂量的优化。对于临床高度怀疑结石且未发生结石梗阻的患者,可以省略增强期相,选择平扫即可达到确诊的目的<sup>[14]</sup>。毛迪等<sup>[15]</sup>对复杂性肾盂肾炎患者采用双期(实质期、排泄期)增强扫描,诊断的灵敏度、特异度、准确率均为95%以上,与三期增强扫描(皮质期、实质

期、排泄期)的一致性高。双期扫描的辐射剂量为2 390 mGy·cm,明显低于三期扫描(3 185 mGy·cm)。对于复杂性肾盂肾炎,肾盂黏膜充血水肿和肾间质化脓性炎症可导致肾血管分支痉挛缺血,实质期增强扫描表现为线样强化及多个楔形低密度影,省略皮质期扫描已满足诊断需求。

减少扫描次数,目前主要通过分离团注对比剂,以减少1~2次增强扫描而实现。潘为领等<sup>[16]</sup>采用分离团注技术,首次注射碘海醇(300 mg/100 mL)50 mL以充盈输尿管、膀胱,间隔7~15 min(肾功能减退、重度肾积水患者适当延长间隔时间)第2次注射碘海醇40 mL以显示肾实质、肾血管,注射速率为3.0~3.5 mL/s,延迟35~40 s一次扫描获得肾皮质期、髓质期、排泄期的融合图像,再采用VR、MIP、MPR及CPR进行图像重建,辐射剂量为16.83 mSv,比常规组(32.43 mSv)降低了48.10%,图像质量达到诊断要求,对肾盂和输尿管结石、先天性畸形、肾输尿管炎性病变、肾盂旁囊肿、肾挫裂伤、泌尿系肿瘤等疾病的诊断准确率与常规CTU一致。杜涛明<sup>[17]</sup>对疑似尿路结石患者进行研究,分离团注组于注射造影剂前3~5 min先注射呋塞米20 mg,第一次注射碘佛醇(320 mg/mL)65 mL,延迟30 s完成肾皮质期扫描,延迟15~20 min再次注射碘佛醇35 mL,延迟90 s一次完成肾脏髓质期及分泌排泄期扫描,采用MIP、MPR、VR及CPR进行图像重建,图像质量优良率超过90%,可减少一次扫描,与常规CTU比较辐射量减少25%,达到超低辐射、低对比剂量、图像质量不降低的临床效果。

**3.4 按体型确定扫描参数** 人体吸收辐射剂量不仅与设备输出剂量有关,同样与患者体型有关。目前国内外制订的DRL仅适用于中等体型患者,对于特殊体型患者需要进行扫描剂量优化。邱海静等<sup>[18]</sup>用西门子公司64排螺旋CT及CARE Dose 4D技术进行扫描检查,管电流在预设值的基础上降低40%,管电压按患者体重质量指数(body mass index, BMI)数值选定:偏瘦或正常患者(BMI<22.9 kg/m<sup>2</sup>)采用80 kV、超重或偏胖(22.9 kg/m<sup>2</sup>≤BMI<30 kg/m<sup>2</sup>)患者采用100 kV、重度肥胖(BMI≥30 kg/m<sup>2</sup>)患者采用120 kV,结果辐射剂量较常规扫描分别下降38.3%、32.0%、34.7%。张信起等<sup>[19]</sup>对于20 kg/m<sup>2</sup>≤BMI<31 kg/m<sup>2</sup>患者的管电压设定为100 kV(A2组)和120 kV(A1组),BMI<20 kg/m<sup>2</sup>者设定为80 kV(B2组)和120 kV(B1组),均注射碘克沙醇270 mg/mL,注射速率均为3 mL/s,采用50%滤波反投影(filtered back-projection, FBP)、50%的ASIR重建,与常规电压120 kV、碘海醇350 mg/mL比较,辐射剂量、总有效碘摄入量均明显降低。降低管电压、管电流后,虽然噪声、信噪比、对

比信噪比有所增加,但采用50%ASIR、50%滤波反投影FBP混合后,采用MPR、VR、MIP进行图像重建,可以减少噪声和条纹状伪影,图像质量评分均在3分以上。有文献提出对于BMI>30 kg/m<sup>2</sup>的患者不宜使用低剂量扫描<sup>[20]</sup>,但邱海静等<sup>[18]</sup>认为肥胖患者因其皮下、腹腔内丰富的脂肪,成为实质性脏器及结石的良好对比背景,反而更适合100 kV和低mAs的检查。由于观点差异大,如何实施应根据医院的CT设备、医技人员的经验确定。

## 4 碘对比剂

CTU检查时静脉注射碘对比剂,增大泌尿道与周围组织的对比度,能明显降低辐射剂量<sup>[21]</sup>。流行病学调查结果显示,对比剂肾病(contrast-induced nephropathy, CIN)发生率为11%~40%,患者可能需要永久依赖透析,已成为影响我国居民健康的重要疾病<sup>[22]</sup>,因此进行CTU检查要充分认识到其危害并进行风险评估。

**4.1 无碘对比剂** 尿液与周围组织可形成天然对比,尿液充盈尿路后应快速采集图像,再进行CPR等图像后处理技术重建,能清晰显示泌尿系统的解剖结构,提供诊断疾病的丰富信息,这对碘过敏、肾功能不全的患者尤为适用<sup>[22]</sup>。在无比对剂CTU检查前1 d需要口服泻药清洁肠道,检查前1 h肌内注射呋塞米10 mg,10 min后肌内注射山莨菪碱10 mg,并鼓励患者饮水后憋尿,采集图像时患者取仰卧位,放置两个椭圆形加压块于脐下两旁呈倒“八”字形(相当于输尿管经过双侧髂髂关节处),用腹部加压带束紧加压。嘱咐患者腹式深呼吸5 min。用西门子128层螺旋CT扫描,然后采用MPR、CPR对薄层图像进行重组,可获得优良的双侧泌尿系统全程影像,对泌尿系统结石、输尿管狭窄并积水、泌尿系统感染、泌尿系统肿瘤、泌尿系统损伤、肾盂旁囊肿、泌尿系统结核均能做出诊断。但无比对剂CTU检查不能显示肾脏的功能状态、不能确定病变的性质,肾脏皮质菲薄且血液实验室检查提示肾功能异常的患者需要进行尿路造影检查,对于占位性疾病需要通过CT增强、MRI或病理检查来明确其性质<sup>[23]</sup>,对这类患者应权衡利弊,慎重选择。

**4.2 低造影剂** 造影剂有引起CIN的潜在风险,因此在满足诊断的前提下,要尽可能使用小剂量、低浓度对比剂进行CTU检查。临床实践发现,管电压降低使X线光子能量也降低,当光子能量水平接近含碘原子序数的组织或结构(如含碘的肾组织、尿道和血管)时,光电效应明显加大,从而提高单位碘浓度下的CT值,利用ASIR以提高图像对比噪声比,可提高图像质量<sup>[23]</sup>。潘自兵等<sup>[24]</sup>研究表明,采用100 kV行

低剂量扫描、ASIR重建,注射碘克沙醇270 mgI/mL,患者碘摄入量为(19.92±0.38)g,图像质量满足诊断要求,与常规剂量[注射碘克沙醇370 mgI/mL,患者碘摄入量为(28.97±0.31)g]相比,碘摄入量明显降低。官彬等<sup>[25]</sup>设定管电压120 kV、管电流80 mA、碘海醇对比剂(350 mgI/mL)注射剂量为40 mL进行扫描,对图像进行MPR、VR、MIP及CPR等后处理,图像质量优良,可以降低造影剂用量以避免CIN的潜在风险,达到扫描剂量、碘对比剂的剂量和图像质量的平衡。

**4.3 高剂量对比剂** 有文献指出CTU检查时如使用高浓度碘对比剂,则提高其与泌尿道、周围组织的对比度,此时用80 kV管电压扫描可获得高质量图像,能降低辐射剂量<sup>[26]</sup>。梁瑞鹏等<sup>[27]</sup>研究发现,应用高剂量对比剂进行检查的图像清晰度更高,能提供更多的肾脏结构信息,对于对碘对比剂无不良反应、临床需要更清晰图像观察肾脏及周围组织时,宜用高剂量碘对比剂为临床提供高质量的影像。

**4.4 分离团注单期成像技术** 单次团注扫描能清楚显示泌尿系统病变的形态、大小、范围以及病变与周围结构的毗邻关系,但单次团注需要多次重复扫描,患者所受到的辐射剂量较大。国内多数学者分2次分离团注,国外有学者主张分3次团注,即首次推注造影剂延迟510 s、第2次推注延迟75 s、第3次推注延迟22 s后单次扫描采集图像,能有效降低辐射剂量<sup>[28]</sup>。

## 5 特殊人群

**5.1 肾积水及尿路畸形** 肾积水及尿路畸形患者,造影剂排泄变慢,因此通过延迟扫描动态观察对比剂的排泄情况,才能显示输尿管大体形态、走行方向、开口部位及泌尿系管腔情况,发现泌尿系统痿的部位、痿口大小、相关并发症,明确输尿管梗阻部位、输尿管受压或受侵犯的范围和程度、病变与周围组织的解剖关系,判断邻近组织病变的良恶性、肾功能受损情况,为制订手术方案提供充分的信息支持<sup>[29]</sup>。唐翠松等<sup>[30]</sup>根据患者排泄期尿路对比剂充盈情况,个体化延迟扫描时间和次数:第1次延迟扫描时间根据肾盂、输尿管扩张积液的程度决定,轻度积水者延迟10~30 min,中度积水者延迟0.5~1 h,重度积水者延迟1~2 h;青少年、孕期妇女延迟扫描1次,怀疑泌尿系先天畸形、膀胱前壁小肿瘤、泌尿系统痿、尿道改流术后等需要2~3次延迟扫描。朱纯生等<sup>[31]</sup>根据常规延时期(7 min)对比剂与肾盂尿液产生的“分层现象”,优化再次延时扫描时间以获得最佳图像:A型为肾盂充盈,输尿管中、下段不显示,由于输尿管有蠕动,约15 min后对比剂与积水混合并流至膀胱,此时再次扫描;B型为肾盂对比剂分层>1/2,输尿管不

显示,说明肾功能正常,尿路梗阻导致排泄稍慢,再次延时50~60 min扫描;C型为肾盂对比剂分层 $<1/2$ ,输尿管不显示,排泄比B型更慢,再次延时80~90 min;D型为肾盂肾盏无对比剂,输尿管不显示,说明患者肾功能差或者无功能,需要延时120 min扫描;延迟扫描前确诊率为36.2%,延迟扫描后确诊率为90.1%。崔国强等<sup>[32]</sup>研究发现,CTU成像质量与肾功能异常与否关系不大,而与年龄相关:45岁延迟3~5 min、45~60岁延迟8~10 min、60岁以上延迟10~12 min扫描的图像质量最佳,因为随着年龄的增长肾排泄功能会有所降低。纪娅娟等<sup>[33]</sup>认为在完成增强皮质期及髓质期后静脉注射呋塞米0.1 mg/kg,延时30 min扫描的图像质量最佳,不仅肾实质、膀胱、输尿管显影良好,而且肾盂旁及膀胱周围硬化性伪影较少,减少不必要的多次延迟扫描。文献指出,延迟扫描对泌尿系先天畸形、膀胱肿瘤、泌尿系统瘘以及尿道改流术后评估等帮助很大,能明显提高CTU检查对泌尿系统疾病的诊断准确率,但延迟扫描会增加辐射剂量,应注意合理选择延迟扫描的适应证、扫描次数及范围<sup>[29-30]</sup>。

**5.2 儿童患者** 据孙记航等<sup>[34]</sup>对我国儿童CT检查情况的调查,常规剂量扫描的预设参数为120 kV/85 mVs,腹部平扫的辐射剂量明显高于欧洲的相关指南,且大龄组儿童辐射剂量明显高于低龄组儿童。马睿等<sup>[35]</sup>根据儿童泌尿系统疾病的特点及成像规律,优化扫描参数、简化扫描步骤:取消平扫,直接行增强后实质期和分泌期扫描;降低扫描预设参数,对体重 $>25$  kg的患儿参数设定为100 kV/50 mVs,体重 $\leq 25$  kg者设定为80 kV/40 mVs。结果显示,图像优良率为98%,与术后或随访结果的诊断符合率为100%;与64层螺旋CT和双源CT常规CTU的4期扫描比较,辐射剂量均显著减少。由此认为低剂量CTU适用于超声检查可疑的尿路畸形、积水患儿,对超声检查怀疑泌尿系肿瘤者,应选择常规参数进行平扫及增强扫描。对于肾积水患儿,李彬等<sup>[36]</sup>以2.0~2.5 mL/kg的剂量快速静脉推注碘佛醇,在60 s肾实质期扫描后,对重度肾积水(3~5 h)、中度肾积水(30~90 min)、轻度肾积水(5~10 min)患者进行肾排泄期延迟扫描,尿路显影率为93.3%,明显高于静脉尿路造影的63.3%;CTU无假阴性,静脉尿路造影假阴性率为13.3%。CTU无须灌肠、腹部加压和逆行插管,儿童容易接受,且其能清晰显示尿路系统腔内变化,还可以明确肾实质性占位病变及其性质。

**5.3 妇产科手术后泌尿系统损伤** 女性生殖系统与泌尿系统相邻,进行妇产科手术时极容易损伤泌尿系统,妇产科手术后输尿管损伤发生率为0.006%~14.0%<sup>[37]</sup>。CTU检查能够清楚显示输尿管走行及泌

尿系损伤的部位、程度、范围、与周围组织的关系以及并发输尿管梗阻的情况,已成为妇产科手术后输尿管损伤的首选检查方法。由于输尿管损伤严重者会造成肾功能损害,而肾功能不全是CIN的危险因素,因此主张低对比剂(碘佛醇为0.8 mL/kg,总量 $<60$  mL)CTU检查<sup>[38]</sup>,可避免造成泌尿系统的二次损伤。

**5.4 体外冲击波碎石治疗** 结石是泌尿系最常见的疾病,体外冲击波碎石是最有效的微创治疗方法。结石的成分、硬度与体外冲击波碎石的疗效密切相关。毕革文等<sup>[39]</sup>对泌尿结石患者用美国宝石CT750 HD双源能谱CT进行扫描,发现结石的原子序数与CT值呈正相关,原子序数 $<10$ 、CT值 $<1\ 000$ 者多为尿酸、磷酸铵镁石、二水草酸钙石;原子序数 $>10$ 、CT值 $>1\ 000$ 者多为一水草酸钙结石、磷酸钙石、胱氨酸石。前者结石易碎,体外冲击波碎石成功率达87.0%,后者结石不易碎,体外冲击波碎石成功率仅为76.0%。因此体外冲击波碎石前,行CTU检查筛选易碎的结石患者,可有效提高碎石成功率,避免体外冲击波对患者的损害。

## 6 小结与展望

由于泌尿系统的血液循环及泌尿生理特性,以及患者的个体和疾病的差异,我国目前尚未有被广泛接受的、适应不同人群和病种的CTU方案。在CTU检查方案中的DRL、对比剂剂量及扫描期相是动态变化的,其随着成像设备的发展和技术革新、操作人员放射防护意识和知识的提升而进行定期更新,各医院应在记录DRL、对比剂的剂量及扫描期相基础上,建立本单位的CTU优化方案,旨在取得图像质量和辐射剂量的最佳平衡,实现国际放射防护协会倡导的合理达到尽可能低剂量的原则。

## 参 考 文 献

- [1] 牛延涛,张永县,康天良,等.成年人CT扫描中辐射剂量和诊断参考水平的探讨[J].中华放射医学与防护杂志,2016,36(11):862-867.
- [2] 中华医学会放射学分会,中国医师协会放射医师分会,安徽省影像临床医学研究中心.能量CT临床应用中国专家共识[J].中华放射学杂志,2022,56(5):476-487.
- [3] 傅文悦.能谱CT临床应用进展[J].功能与分子医学影像学杂志(电子版),2018,7(1):1404-1408.
- [4] 李润根,时超刚,赵静,等.欧洲儿童CT成像的诊断参考水平[J].中华放射医学与防护杂志,2020,40(4):326-332.
- [5] 中华医学会影像技术分会,GE医疗.GE临床实用型X射线计算机体层摄影设备规范化检查成像专家共识[J].中国医疗设备,2021,36(1):1-10.

- [6] Gangemi A, Mashbari HN, Bui JT. Obstructive uropathy because of a large rectus sheath haematoma: a case report of combined interventional radiology and surgical approach[J]. *EJVES Short Rep*, 2017, 34: 24-27.
- [7] 邱海静. 宁夏地区多层螺旋CT辐射剂量调查与扫描参数优化对策研究[D]. 银川:宁夏医科大学, 2020.
- [8] Slovis TL. The ALARA concept in pediatric CT: myth or reality?[J]. *Radiology*, 2002, 223(1): 5-6.
- [9] 薛杨, 卢山. 能谱CT不同指标对痛风诊断价值的比较研究[J]. *国际内分泌代谢杂志*, 2022, 42(4): 298-302.
- [10] 马浩平, 李娟, 黄晓燕. Revolution能谱CT虚拟平扫在不同成分尿路结石检出中的应用价值[J]. *中国中西医结合影像学杂志*, 2021, 19(5): 461-464.
- [11] 朱玉春, 邢伟, 王建良, 等. 低剂量延迟期扫描在泌尿系统疾病MSCTU中的临床应用[J]. *中国临床医学影像杂志*, 2015, 26(2): 105-110.
- [12] Van Der Molen AJ, Cowan NC, Mueller-Lisse UG, et al. CT urography: definition, indications and techniques. A guideline for clinical practice[J]. *Eur Radiol*, 2008, 18(1): 4-17.
- [13] 付晓华, 张英晨, 丁吉阳, 等. 低剂量CT尿路成像辅助定位行经皮肾镜术的可行性研究[J]. *中华腔镜泌尿外科杂志(电子版)*, 2018, 12(2): 102-106.
- [14] 覃智标, 雷华, 黄瑞旭, 等. 16层螺旋CT平扫在门诊输尿管阴性结石诊断中的临床应用价值[J]. *微创医学*, 2014, 9(5): 657-658.
- [15] 毛迪, 冉文军, 石爱军, 等. 急性肾盂肾炎双期与三期增强CT的对比研究[J]. *实用放射学杂志*, 2020, 36(10): 1622-1624, 1642.
- [16] 潘为领, 李霞, 陈黎丽. 分离团注单期成像技术在MSCT泌尿系成像中的应用价值[J]. *医学影像学杂志*, 2021, 31(1): 67-71.
- [17] 杜涛明. 分离团注技术在64排CTU检查中的优势[J]. *现代临床医学*, 2017, 43(5): 356-357, 360.
- [18] 邱海静, 陈勇, 任涛, 等. 基于不同体质量指数CT尿路成像辐射剂量控制[J]. *中华放射医学与防护杂志*, 2020, 40(1): 64-70.
- [19] 张信起, 刘怀军, 王宁, 等. 基于患者体质量指数双低剂量CT尿路成像的临床应用研究[J]. *实用放射学杂志*, 2018, 34(7): 1098-1102.
- [20] Kim BS, Hwang IK, Choi YW, et al. Low-dose and standard-dose unenhanced helical computed tomography for the assessment of acute renal colic: prospective comparative study[J]. *Acta Radiol*, 2005, 46(7): 756-763.
- [21] Kim SY, Cho JY, Lee J, et al. Low-tube-voltage CT urography using low-concentration-iodine contrast media and iterative reconstruction: a multi-institutional randomized controlled trial for comparison with conventional CT urography[J]. *Korean J Radiol*, 2018, 19(6): 1119-1129.
- [22] 中华医学会临床药学分会, 中国药学会医院药专业委员会, 中华医学会肾脏病学分会. 碘对比剂诱导的急性肾损伤防治的专家共识[J]. *中华肾脏病杂志*, 2022, 38(3): 265-288.
- [23] 黎学兵, 李小军. 无对比剂CT尿路成像技术对泌尿系统疾病的诊断价值[J]. *实用医学影像杂志*, 2016, 17(4): 363-364.
- [24] 潘自兵, 赵凯, 刘小康, 等. 低管电压、低碘含量对比剂在CT尿路成像中的应用[J]. *宁夏医科大学学报*, 2017, 39(9): 1050-1053.
- [25] 官彬, 文鹏程, 陈德全, 等. 低辐射剂量和低造影剂用量的MSCTU泌尿系统一站式检查法在临床上的应用[J]. *检验医学与临床*, 2018, 15(20): 3017-3020, 3025.
- [26] Huda W, Scalzetti EM, Roskopf M. Effective doses to patients undergoing thoracic computed tomography examinations[J]. *Med Phys*, 2000, 27(5): 838-844.
- [27] 梁瑞鹏, 石娇阳, 张莹, 等. 不同浓度碘对比剂的腹部CT增强图像质量比较[J]. *影像研究与医学应用*, 2022, 6(16): 10-12.
- [28] Gifford JN, Chong MC, Chong LR, et al. Computed tomography urography: comparison of image quality and radiation dose between single- and split-bolus techniques [J]. *Ann Acad Med Singap*, 2018, 47(8): 278-284.
- [29] Cheng K, Cassidy F, Aganovic L, et al. CT urography: how to optimize the technique[J]. *Abdom Radiol (NY)*, 2019, 44(12): 3786-3799.
- [30] 唐翠松, 邱裕友, 李伟, 等. 64层容积CT尿路造影延迟扫描对泌尿系疾病诊断的价值[J]. *实用放射学杂志*, 2015, 31(8): 1305-1308.
- [31] 朱纯生, 陈庆容, 王晓野, 等. 梗阻性尿路CT尿路造影成像质量的影响因素分析及最佳延迟扫描时间探讨[J]. *实用放射学杂志*, 2021, 37(10): 1707-1710.
- [32] 崔国强, 刘铁钢, 邓昉, 等. 64排螺旋CT尿路成像质量与肾脏功能的相关性研究[J]. *实用医学影像杂志*, 2013, 14(5): 325-326.
- [33] 纪娅娟, 彭明群, 杨艳. 不同延迟时间在小剂量呋塞米多层螺旋CT尿路造影(CTU)中图像质量分析[J]. *影像研究与医学应用*, 2020, 4(12): 62-63.
- [34] 孙纪航, 段晓岷, 于彤, 等. 儿童CT扫描辐射剂量现状调查和诊断参考水平的初步探讨[J]. *中华放射学杂志*, 2022, 56(10): 1135-1140.
- [35] 马睿, 赵子凤, 刘伟, 等. 儿童低剂量CT尿路成像的临床应用研究[J]. *中华小儿外科杂志*, 2014, 35(3): 174-178.
- [36] 李彬, 林育成, 伍焕文. 低剂量碘佛醇CT尿路成像在小儿肾积水检查中的应用价值[J]. *实用临床医学*, 2019, 20(7): 69-70, 73.
- [37] 张月婷, 沈宏, 陈悦悦, 等. 医源性泌尿生殖道瘘及损伤的单中心10年数据分析并文献复习[J]. *临床泌尿外科杂志*, 2019, 34(6): 426-430.
- [38] 潘文静, 屈鹏飞, 闫锐. 低剂量对比剂CT尿路成像在妇产科术后泌尿系损伤中的诊断价值[J]. *临床医学研究与实践*, 2022, 7(6): 132-135.
- [39] 毕革文, 石才汇, 陈加军, 等. 能谱CT对泌尿系结石化学成分分析在体外震波碎石中的应用研究[J]. *微创医学*, 2017, 12(6): 778-780.

(收稿日期: 2023-10-19 修回日期: 2023-12-30)