

对比剂分次团注联合能量成像获得CTU和CTA联合成像的应用研究

胡嘉诚, 刘云福, 王新艳, 王倩, 马梓轩, 张永县, 李伟, 刘荣, 牛延涛

Study on the Application of CTU and CTA Combined Imaging by Fractional Injection Combined of a Contrast Agent with Energy Imaging

HU Jiacheng, LIU Yunfu, WANG Xinyan, WANG Qian, MA Zixuan, ZHANG Yongxian, LI Wei, LIU Rong, and NIU Yantao

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.15953/j.ctta.2024.148>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

两段式对比剂注射结合团注跟踪技术在肺动脉CTA检查中的应用研究

Study of Two-stage Injection of Contrast Agent in Combination with Bolus Tracking Technique in Computed Tomography Pulmonary Angiography
CT理论与应用研究. 2023, 32(4): 531–538

低剂量对比剂联合低监测阈值在头颈部CTA中的应用

To Investigate the Application of Low-dose Contrast Agent Combined with Low Monitoring Threshold in CTA of the Head and Neck
CT理论与应用研究. 2019, 28(4): 455–461

对比剂注射方案优化联合低管电压在主动脉CTA中的探讨

Research on the Contrast Medium's Best Injection Combined with Low Tube Voltage in Aortic CTA
CT理论与应用研究. 2019, 28(4): 447–454

多期双流团注技术在冠脉CTA中评价右心室功能的应用

Application of Multi-stage Double-flow Mass Injection Technique in Evaluating Right Ventricular Function in Coronary CTA
CT理论与应用研究. 2020, 29(2): 229–240

个性化造影剂注射方案在提升肺动脉CTA生物应用安全性的价值研究

Study on the Value of Individualized Contrast Agent Injection Scheme in Improving the Biosafety of Pulmonary Artery CTA
CT理论与应用研究. 2021, 30(6): 777–783

颅内动脉瘤栓塞术后能谱CTA联合MAR的临床研究

Clinical Value of Spectral Imaging Combined with MAR for CTA after Embolization of Intracranial Aneurysms
CT理论与应用研究. 2024, 33(2): 182–188



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

胡嘉诚, 刘云福, 王新艳, 等. 对比剂分次团注联合能量成像获得 CTU 和 CTA 联合成像的应用研究[J]. CT 理论与应用研究(中英文), 2024, 33(6): 692-700. DOI:10.15953/j.ctta.2024.148.

HU J C, LIU Y F, WANG X Y, et al. Study on the Application of CTU and CTA Combined Imaging by Fractional Injection Combined of a Contrast Agent with Energy Imaging[J]. CT Theory and Applications, 2024, 33(6): 692-700. DOI:10.15953/j.ctta.2024.148. (in Chinese).

对比剂分次团注联合能量成像获得 CTU 和 CTA 联合成像的应用研究

胡嘉诚, 刘云福[✉], 王新艳, 王倩, 马梓轩, 张永县, 李伟, 刘荣, 牛延涛

首都医科大学附属北京同仁医院放射科, 北京 100730

摘要: 目的: 探讨对比剂分次团注结合双层探测器光谱 CT 50keV 虚拟单能量图像(VMI), 在 CT 泌尿系成像(CTU)与主动脉 CTA 联合成像中的应用价值。方法: 收集 2024 年 3 月至 4 月在首都医科大学附属北京同仁医院 Philips IQon 双层探测器光谱 CT 行 CTU 检查患者 32 例为试验组。使用对比剂分次团注及团注追踪技术; 扫描后重建常规 120kVp 混合能量图像为 A1 组; 光谱重建获得 50keV VMI 为 A2 组。收集 2023 年 12 月至 2024 年 3 月间在相同设备行 CTU 检查患者 32 例为对照组, 使用对比剂分离团注技术及团注追踪技术; 扫描后重建常规 120kVp 混合能量图像为 B 组。客观评价包括: 比较 3 组腹主动脉、双侧肾动脉的 CT 值、对比噪声比(CNR)、信噪比(SNR); 比较输尿管起始部平均 CT 值和中下部平均 CT 值, 并采用 Kruskal-Wallis 检验, 采用 Nemenyi 检验进行两两比较。试验组与对照组的有效辐射剂量比较采用 Wilcoxon 检验。主观评价由两名高年资影像医师分别对 3 组 CTA 及 CTU 图像进行 4 分法和 3 分法评价, 两名医师主观评分的一致性采用 Kappa 检验。结果: 客观评价指标中, A2 组分别与 A1 组和 B 组比较, 均有统计学差异; A1 组与 B 组仅双侧肾动脉 SNR 有统计学差异。两组有效辐射剂量有统计学差异, 试验组较对照组降低 15.1%。3 组 CTA、CTU 图像主观评价无统计学差异; 两名医师对 CTA 图像评分结果一致性非常好, 对 CTU 图像评分结果一致性好。结论: 利用对比剂分次团注行 CTU 检查时, 获得泌尿系及主动脉同时显影的融合图像, 不仅具有明确的解剖关系及相同的图像质量, 而且降低有效辐射剂量; 光谱重建获得的 50keV 虚拟单能量图像, 优化 CTU 及 CTA 图像质量, 具有临床价值。

关键词: CT 泌尿系成像; 双层探测器光谱 CT; 分次团注

DOI:10.15953/j.ctta.2024.148

中图分类号: R814

文献标识码: A

CT 泌尿系成像(CT urography, CTU)是泌尿系统常用的检查方法。国内专家共识^[1]中的扫描技术仅能提供单独的血管和泌尿系图像; 随着医疗领域对三维解剖学的需求日益增长, 术前对肾盂、输尿管及其血管的三维解剖结构的理解, 可以降低腔镜手术风险、优化临床决策, 为临床提供精确的病变评估, 辅助制定周密的手术方案^[2-3]; 而单独的 CTU 图像无法满足此临床需求。

本研究利用对比剂分次团注结合虚拟单能量图像(virtual monochromatic imaging, VMI)重建, 探索一种可以实现 CTU 与主动脉 CTA 同时成像的检查技术, 并研究该技术在降低辐射剂量方面的价值。

1 材料与方法

1.1 资料与分组

本研究通过首都医科大学附属北京同仁医院伦理委员会的批准(TREC2023-KY056)。收集 2024 年 3 月至 4 月在首都医科大学附属北京同仁医院行 CT 泌尿系成像(CTU)检查患者 32 例作为试验组, 其中男 23 例、女 9 例, 年龄 24~79 岁、平均(55±16)岁, 体重 50~90 kg、平均(69.8±10.6) kg, 身体质量指数(body mass index, BMI)为(24.46±2.89) kg/m²。扫描时采用对比剂分次团注及团注追踪技术, 获取 CTU 及主动脉 CTA 同时显影的融合图像并重建 50keV VMI。

收集 2023 年 12 月至 2024 年 3 月行 CT 泌尿系成像(CTU)检查患者 32 例作为对照组, 其中男

23 例、女 9 例，年龄 24~91 岁、平均 (53 ± 17) 岁，体重 50~95 kg、平均 (71.2 ± 13.3) kg，BMI 为 (24.76 ± 3.04) kg/m²。扫描时采用对比剂分离团注技术及团注追踪技术，获取单独的 CTU 图像及主动脉 CTA 图像。

排除标准。年龄 < 18 岁；体重小于 50 公斤及大于 100 公斤者；既往碘对比剂过敏者，癫痫、妊娠、甲状腺亢进及严重哮喘患者；严重心功能不全及肾功能不全；图像存在明显影响诊断的金属、呼吸运动等伪影。

1.2 检查方法及扫描参数

使用 Philips IQon 双层探测器光谱 CT 机和拜耳双筒高压注射器 (StellantD-CE 超级版)，采用对比剂浓度为 370 mg/mL (碘普罗胺注射液，拜耳)。患者仰卧于 CT 检查床上，双臂上举于头部上方，选择左侧或右侧肘静脉注射对比剂。

扫描参数：使用螺旋扫描方式，旋转时间 0.27 s，管电压 120 kV，使用 Philips IQon CT 自带管电流自动调制技术 (DoseRight)，DoseRight Index 选择 22；滤过核选择 Standard (B)，重建图像层厚、层间距均为 1 mm，视野 300~350 mm，依患者腹部大小调整，矩阵 512 × 512，窗宽窗位使用 350/40；参考有效管电流量 129 mAs/层，准直宽度为 64 × 0.625 mm，螺距 1.015，使用迭代重建 (iDose)，等级选择 3。所有患者均在扫描前嘱平静呼吸下吸气后屏气。

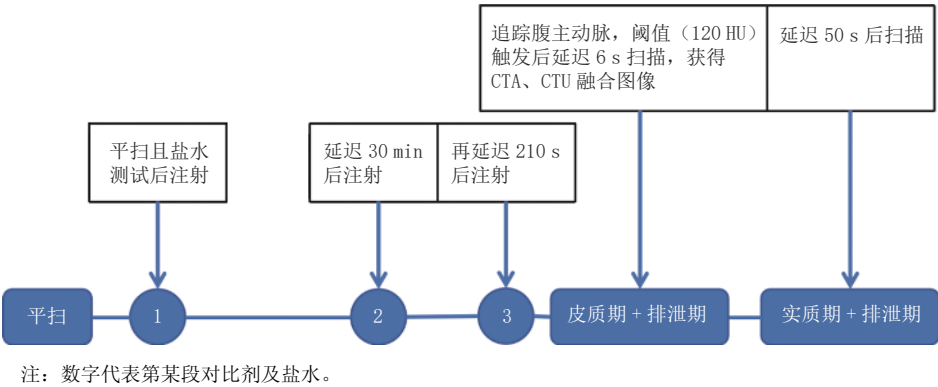
1.2.1 试验组患者的检查方法

对比剂总量依照患者体重计算 1.2 mL/kg，三段注射量比为 1 : 1 : 1，即每段对比剂注射量为 0.4 mL/kg，对比剂注射时间均为 10 s，每段对比剂注射前均以 10 mL 生理盐水测试注射，对比剂注射后均跟注 30 mL 生理盐水，生理盐水流率均与对比剂流率相同。

不同体重对比剂总量、每段对比剂用量及注射流率如表 1。扫描及对比剂注射步骤如图 1，扫描范围均由肾上极至耻骨联合。

表 1 不同体重使用对比剂总量、每段对比剂用量及注射流率
Table 1 The total amount of contrast agent, amount of contrast agent per segment, and injection flow rate used according to body weights

体重/kg	总对比剂量/mL	每段对比剂用量/mL	注射流率/(mL/s)
60	72	24	2.4
70	84	28	2.8
80	96	32	3.2
90	108	36	3.6



注：数字代表第某段对比剂及盐水。

图 1 试验组检查流程
Fig.1 Test group inspection process

1.2.2 对照组患者检查方法

对比剂总量为 80 mL, 分两段注射, 每段对比剂用量为 40 mL, 注射流率为 3.5 mL/s; 每段对比剂注射前均以 10 mL 生理盐水测试注射, 对比剂注射后均跟注 30 mL 生理盐水, 生理盐水流率均与对比剂流率相同。

扫描及对比剂注射步骤如图 2, 扫描范围除皮质期为双肾外, 其余各期均为肾上极至耻骨联合。

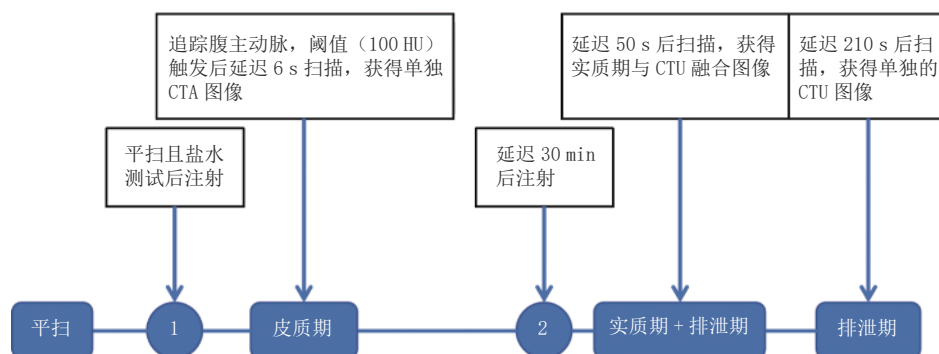


图 2 对照组检查流程

Fig.2 Control group inspection process

1.3 图像后处理方法

将原始图像传至 Philips 星云工作站, 对试验组 CTU、CTA 融合图像及对照组单独的 CTU、CTA 图像进行多平面重组 (multi planar reformation, MPR), 获得横断面、冠状面和矢状面图像, 使用容积再现 (volume rendering, VR), 去骨, 同时进行最大密度投影 (maximum intensity projection, MIP)。

利用双层探测器光谱 CT 的全息光谱图像 (spectral-based imaging, SBI) 数据包^[4], 在工作站保存试验组常规 120 kVp 混合能量图像为 A1 组, 保存 50 keV 虚拟单能量图像为 A2 组; 对照组常规 120 kVp 混合能量图像为 B 组。

1.4 图像质量评价

1.4.1 客观评价

(1) CTA 图像。测量 3 组图像腹部血管的 CT 值, 选取的感兴趣区 (region of interest, ROI) 包括腹主动脉 (腹腔干开口上方 1 cm) 及双侧肾动脉; 分别测量 A1 和 A2 组中双侧髂总动脉 CT 值, 取平均值; ROI 的选取不超过管径, 且避开血管壁, 血管中的钙化及粥样斑块。同时测量血管同层面邻近的肌肉 CT 值。每个 ROI 测量 3 次, 取均值记录, 以标准差 (SD) 作为噪声值, 计算各 ROI 的 CNR 及 SNR。

$$\text{CNR}_{\text{血管}} = (\text{CT}_{\text{ROI血管}} - \text{CT}_{\text{ROI肌肉}}) / \text{SD}_{\text{ROI肌肉}}, \quad (1)$$

$$\text{SNR}_{\text{血管}} = \text{CT}_{\text{ROI血管}} / \text{SD}_{\text{ROI血管}}。 \quad (2)$$

(2) CTU 图像。分别测量 3 组图像中两段输尿管的起始部及中下段 CT 值, 取平均值; ROI 的选取不超过管径, 且避开输尿管壁。测量膀胱正中位置和靠近腹侧部的 CT 值, 计算两者比值, 采用系统中复制粘贴的方法, ROI 面积为 120 mm²。

1.4.2 主观评价

由两名高年资影像医师对 3 组图像在工作站上采取独立, 盲法阅片方式评分。评分之前先对两名医师进行统一规范化培训, 评价内容及评分如下:

(1) CTA 图像。对腹主动脉全程、双侧肾动脉及分支进行 3 分评价。其中, 3 分: 噪声小, 无伪

影，解剖结构显示清晰可见，图像质量优；2 分：噪声较大，伪影较多，解剖结构部分模糊，部分清晰可见，图像质量中等；1 分：噪声大，伪影重，解剖结构显示模糊，图像质量差。图像评分 ≥ 2 分能满足诊断需要。

(2) CTU 图像。对输尿管全程三段进行 4 分评价^[5]，包括显影质量（显影长度及尿路管腔的扩张度）。其中，4 分：两侧输尿管全程充分显示，图像质量优；3 分：一侧输尿管上，中，下某一段显示不佳，图像质量良；2 分：两侧输尿管的某两段显示不佳，图像质量中等；1 分：两侧输尿管的一侧显示不佳或不显示，图像质量差。图像评分 ≥ 2 分能满足诊断需要。

1.5 辐射剂量

剂量长度乘积 (dose length product, DLP) 由计算机自动生成，计算并记录有效辐射剂量 (effective dose, ED)， $ED = DLP \times k$ ， k 为换算系数，根据国际放射防护委员会公布的标准 $k = 0.015$ 。

1.6 统计学处理

采用 SPSS 27.0 软件进行统计分析。采用 Shapiro-Wilk 检验对数据行正态性分析，符合正态分布的计量资料用 $(\bar{x} \pm s)$ 表示，不符合正态分布用 $M(Q_1, Q_3)$ 表示。试验组与对照组患者性别比较采用卡方检验；年龄、BMI 的比较采用独立样本 t 检验。3 组间腹主动脉、双侧肾动脉的 CT 值、CNR、SNR，输尿管起始部平均 CT 值和中下部平均 CT 值；A1 组、A2 组左和右髂动脉平均 CT 值与 A1 组腹主动脉 CT 值及 B 组腹主动脉 CT 值，采用 Kruskal-Wallis 检验，并采用 Nemenyi 检验进行两两比较。分别统计 3 组膀胱靠近腹侧部与膀胱正中 CT 值比的平均数。试验组与对照组的有效辐射剂量的比较采用 Wilcoxon 检验。3 组图像质量主观评分，采用单因素 ANOVA 检验。

两名医师间图像质量主观评价的一致性采用 Kappa 检验。Kappa 值 < 0.40 提示两者一致性差， $0.41 \sim 0.60$ 为一致性一般， $0.61 \sim 0.80$ 为一致性好， > 0.80 为一致性非常好。 $P < 0.05$ 为有统计学差异。

2 结果

2.1 一般资料分析

两组一般情况比较见表 2。试验组和对照组患者性别、年龄、BMI 均无统计学差异。

表 2 两组一般情况比较 ($\bar{x} \pm s$)
Table 2 Comparison of two general situation groups ($\bar{x} \pm s$)

项目	组别		统计检验	
	对照组	试验组	统计值	<i>P</i>
男/女	23/9	23/9	0.000	1.000
年龄/岁	53 $\pm$ 17	55 $\pm$ 16	0.021	0.885
BMI/(kg/m ²)	24.76 $\pm$ 3.04	24.46 $\pm$ 2.89	0.112	0.739

2.2 客观评价

3 组图像质量客观评价指标见表 3。3 组间腹主动脉、双侧肾动脉的 CT 值、CNR、SNR，输尿管起始部平均 CT 值和中下部平均 CT 值均有统计学差异，两两比较后，A2 组与 A1 组、B 组两组均有统计学差异，A2 组各指标均大于 A1 组和 B 组；A1 组与 B 组仅双侧肾动脉 SNR 有统计学差异，A1 组大于 B 组。A1 组、A2 组左、右髂动脉平均 CT 值与 A1 组腹主动脉 CT 值及 B 组腹主动脉 CT 值有统计学差异，两两比较后，仅 A2 组左、右髂动脉平均 CT 值与其他 3 组 CT 值有统计学差异，A2 组大于其他 3 组。3 组膀胱内靠近腹部侧与中部 CT 值比平均为 64.9%。

表 3 3 组图像质量客观评价 ($M(Q_1, Q_3)$)
Table 3 Objective evaluation of three image quality groups ($M(Q_1, Q_3)$)

项目		组别			统计检验	
		A1	A2	B	统计值	P
例数		32	32	32	-	-
腹主动脉	CT 值/HU	257.80 (221.30, 294.00)	518.95 (432.40, 598.95)	295.60 (260.55, 310.40)	65.937	<0.001
	CNR	11.96 (10.28, 15.36)	31.31 (28.04, 40.22)	10.76 (9.69, 12.46)	64.201	<0.001
	SNR	11.73 (10.24, 16.05)	27.50 (22.52, 35.90)	9.90 (8.38, 11.08)	66.155	<0.001
左肾动脉	CT 值/HU	233.20 (199.45, 266.75)	458.90 (383.40, 531.35)	269.85 (239.05, 291.20)	65.815	<0.001
	CNR	11.46 (8.92, 13.24)	30.50 (25.05, 37.48)	8.95 (7.51, 10.74)	66.008	<0.001
	SNR	12.25 (9.59, 16.85)	20.76 (15.95, 28.04)	8.13 (6.74, 10.77)	46.748	<0.001
右肾动脉	CT 值/HU	238.50 (193.30, 256.15)	449.55 (374.80, 544.55)	261.50 (239.05, 284.80)	59.555	<0.001
	CNR	11.36 (8.633, 14.23)	33.33 (24.98, 35.14)	9.15 (7.30, 10.05)	67.002	<0.001
	SNR	12.04 (9.73, 17.55)	21.51 (13.36, 27.54)	7.52 (6.45, 9.16)	49.132	<0.001
平均 CT 值/HU	输尿管起始部	428.42 (296.30, 610.72)	778.70 (567.45, 1112.50)	427.83 (334.68, 668.68)	24.193	<0.001
	输尿管中下部	417.50 (277.77, 666.50)	784.58 (589.95, 1020.45)	470.88 (334.28, 564.17)	25.260	<0.001
同层面膀胱内近腹部 CT 值与中部 CT 值比		0.75	0.66	0.54	-	-
左右髂动脉平均 CT 值/HU		258.58 (216.30, 296.45)	500.55 (409.08, 564.60)	-	70.196	<0.001
腹主动脉 CT 值/HU		257.80 (221.30, 294.00)	-	295.60 (260.55, 310.40)		

2.3 主观评价

3 组图像主观评价见表 4。3 组 CTA、CTU 图像质量评分无统计学差异；CTA 图像 Kappa 值为 0.97，评分结果一致性非常好；CTU 图像 Kappa 值为 0.63，评分结果一致性好。图 3 为不同扫描方法对结石显示的 MIP 图像及 A2 组、A1 组 VR 图像。

表 4 两名医师对 3 组 CTA、CTU 图像主观评分
Table 4 The subjective scores of CTA and CTU images of the three groups scored by two physicians

项目	组别	医师 1/例				医师 2/例			
		4 分	3 分	2 分	1 分	4 分	3 分	2 分	1 分
CTA 图像	A1	-	32	0	0	-	32	0	0
	A2	-	32	0	0	-	32	0	0
	B	-	31	1	0	-	32	0	0
CTU 图像	A1	19	8	5	0	12	14	6	0
	A2	19	8	5	0	13	13	6	0
	B	18	11	3	0	13	14	5	0

2.4 辐射剂量

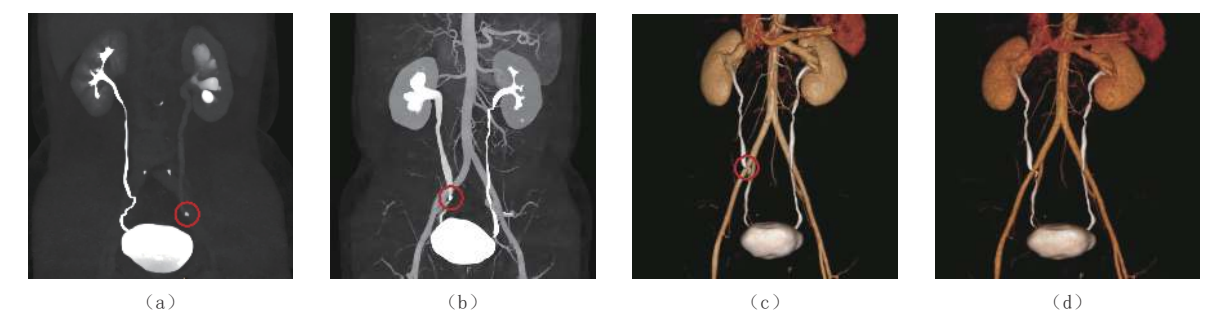
试验组与对照组有效辐射剂量统计见表 5，两组 ED 有统计学差异，试验组较对照组降低 15.1%。

3 讨论

医学图像融合技术是一种将来自相同或不同成像模态的图像组合成单一图像的方法，目的是增强图像内容并提供更多有关疾病的信息，以便于更准确地诊断和治疗计划的制定；但图像融合是个复杂过程，包括预处理、配准、融合及评价^[6]，其缺点是对组织配准精度要求很高^[7]。

泌尿系 CTU 检查通常先进行皮质期 CTA 扫描，然后进行排泄期 CTU 扫描，由于人的呼吸、胃肠

蠕动等多种生理活动的存在，使用传统的图像融合技术将 CTA 图像和 CTU 图像融合就会存在一定的误差。有学者研究，在肺动脉 CTA 检查中，使用对比剂分段注射的方法，在肺动脉显影的同时，胸主动脉也显影^[8]，因此可以通过分段注射对比剂一次扫描获得不同期相血管的融合成像。有国外学者通过改变对比剂注射方式，首次进行 CTA、CTU 同时成像^[9]，获取零误差的 CTA、CTU 融合图像，这样的联合扫描方式在影像诊断及临床手术制定等方面具有重要的应用价值^[10]。但由于对比剂用量为固定值，同时其研究中指出实质期图像的优秀率仅为 59%，需要调整扫描时间。近年，国内也有 CTA、CTU 联合成像的成功病例^[11]。减少扫描次数并获得 CTA、CTU 融合图像及实质期图像是扫描及注射方案的优化方向。



注：(a) 为 B 组 CTU 单独显影的 MIP 像（男，48 岁，BMI 为 22.68），显示左输尿管结石（红圈处），(b) 为 A2 组 CTA、CTU 同时显影的 MIP 图像（男，43 岁，BMI 为 25.26），显示右侧输尿管与髂动脉交界处结石（红圈处）；(c)、(d) 分别为 A2 组、A1 组同一患者 VR 图像（男，25 岁，BMI 为 23.18）；试验组采用对比剂分次团注方式，达到 CTA、CTU 同时显影的效果，显示由于髂动脉压迫导致输尿管狭窄（红圈处），A2 组 CT 值高，显示细节丰富。

图 3 不同扫描方法对结石显示的 MIP 图像及 A2 组、A1 组 VR 图像

Fig.3 MIP images of different scanning methods for the display of stones and VR images of group A2 and group A1

表 5 两组有效辐射剂量比较
Table 5 Comparison of effective radiation doses between the two groups

组别	对照组	试验组	统计值	P
ED/mSv	33.59 (27.44, 45.27)	28.81 (24.96, 33.37)	-2.041	0.041

本研究对照组两段式对比剂注射方案借鉴了王鹤等^[12]的研究，在此基础上改进，两段对比剂目的是：第 1 段首先是用于肾动脉的成像，后期用于输尿管和膀胱的显影，第 2 段主要用于实质期成像。由于两段对比剂间隔 30min，第 2 段对比剂处于实质期时，第 1 段对比剂处于排泄期，这样设计的初衷是将实质期和排泄期同期扫描，可以减少一次扫描而减少辐射剂量，但在实际操作中发现此期输尿管显影欠佳，原因可能是第 1 段对比剂主要集中于膀胱，输尿管内的对比剂较少，因此需要在此期之后再延迟 210s，使得第 2 段对比剂处于排泄期时再进行扫描。

鉴于此原因，本研究试验组将对比剂分为三段注射，第 1 段对比剂注射后主要用于膀胱的充盈显影，第 2 段对比剂主要用于输尿管的显影，第 3 段对比剂主要用于腹主动脉的显影及实质期成像。在第 2 段对比剂注射后 30min，膀胱已经显影，在第 2 段对比剂注射后 210s 后，输尿管已经显影，此时注射第 3 段对比剂进行动脉期扫描，就可以获得输尿管、膀胱和腹主动脉同时显影的融合图像。

如图 3 (a) 和图 3 (b) 所示，分别为两种方法扫描后的 MIP 图像，均显示输尿管结石，但试验组的融合图像显示了输尿管第 2 狭窄处，与髂动脉交界处的结石，解剖关系清晰。有研究表明在 CTU 检查中，实质期图像增加了对尿路上皮肿瘤的敏感性，而尿路上皮肿瘤常见于膀胱，所以对整个泌尿系实质期的扫描是必要的，有助于完整的肿瘤分期和相关病灶的评估^[13]；因此在第 3 段对比剂注射 50s 后进行扫描获取实质期图像，试验组方案较对照组减少一次扫描，可降低 15.1% 的有效辐射剂量。

三段式注射的优点。① 注射剂量按照患者体质量计算^[14]，比起 CT 检查专家共识中 CTU 推荐的固定剂量更为严谨；注射流率也根据对比剂量调整，使得阈值触发后能有一个合适的平台期。② 分

段减量注射对比剂,降低短期内注射大量对比剂对肾脏的损害,同时与传统四期扫描相比注射了更多的生理盐水,本方案中生理盐水用量占对比剂用量的 111%~167%,可以快速降低血液内对比剂浓度,有效减少毒性^[15]。首次注射的 40% 对比剂大部分在 30 min 后就被水化并排泄至膀胱,同时在完成检查后会被排出,进一步降低了对比剂带来的风险。③ 零误差的 CTU、CTA 融合图像;相比于医学图像处理实现图像融合,三段式注射配合扫描方案更方便、高效且没有误差。

对照组扫描方案中皮质期仅扫描双肾,但 A1 组和 B 组腹主动脉 CT 值与 A1 组双侧髂动脉平均 CT 值比较后并无统计学差异,说明对比剂流经髂动脉处与上部血管图像质量一致,统计目的是做 CTA 主观评价时,即使 B 组缺少髂动脉的显示,其腹主动脉的图像质量也可以代表髂动脉图像质量与其他两组比较。A1 组与 B 组图像主观评分无统计学差异,客观评价中仅 A1 组双侧肾动脉 SNR 优于 B 组,其他客观评价指标无统计学差异,虽然说明两组图像质量基本相同,但是 A1 组的腹主动脉、双侧肾动脉 CT 值的中位数要低于 B 组。

有研究表明主动脉 CT 值要 ≥ 250 HU 可达到诊断标准^[16],A1 组仅主动脉平均 CT 值达标,双侧肾动脉平均 CT 值在 230 HU 左右,B 组三段血管平均 CT 值均达标,数据表明 A1 组血管系统相对于 B 组血管系统在 CT 值方面有缺陷,分析原因为三段式注射相比两段式注射,第 3 段注射量不足,导致仅腹主动脉获得足够充盈,分支未达标;而应用能谱 CT 重建虚拟单能量图像可弥补这一缺陷,由于低能量段虚拟单能量图像增加了碘对 X 线的吸收,因此含碘组织的对比度明显提高^[17],如血管和强化的病变组织,适用于对比剂充盈不佳时的优化^[18]。图 3(c) 相比图 3(d),CT 值高,显示细节丰富。

A2 组图像质量均高于其他两组证实了虚拟单能量图像的优势。光谱重建能级选择 50 keV 是因为 50 keV 与 120 kVp 标准采集方法相比具有同样的图像质量,且对比剂在肾血管和尿路中平均 CT 值相同或更高^[19],也有研究显示 40~50 keV 时腹腔干、肾上腺动脉、肾动脉及肠系膜上动脉显示最佳^[20]。

本研究的不足及后续改进。① 个别病例泌尿系增强显影不充分,有两种类型。第一,泌尿系增强两期显影均不充分,考虑为患者体重过小,注射总量不够;第二,膀胱中部 CT 值明显高于靠近腹侧部 CT 值,缺失三分之一以上,考虑为患者仰卧位或憋尿不足,导致对比剂不能充盈整个膀胱。② 体重 > 100 kg,体重 < 50 kg 及年龄 < 18 岁患者未入组。按体重的对比剂用量是否足够或超出,有待研究。后续的改进中可以调整对比剂用量的比例,且在限定范围内提高总量;在进行最后一期扫描前嘱咐患者改为俯卧位,以作为前一期膀胱显影不充分的补充;展望四段式的注射方式,能将皮质期、实质期、排泄期输尿管、膀胱融合在一期显影。

综上,在行 CT 泌尿系成像 (CTU) 时,利用对比剂分次团注结合团注追踪技术,可获得主动脉与泌尿系同时显影的融合图像,能够为临床提供两者明确的位置关系,同时具有相同图像质量且降低辐射剂量,对比剂用量及流率因人而异;再结合双层探测器光谱 CT 的 50 keV 虚拟单能量图像,使图像质量加强。良好的图像质量、相对低的辐射剂量同时操作简单,为临床提供一个新模式,具有临床价值。

参考文献

- [1] 中华医学会影像技术分会,中华医学会放射学分会. CT 检查技术专家共识[J]. 中华放射学杂志, 2016, 50(12): 916-928. DOI:10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2016.12.004.
- [2] 丁宁,王彬,许开元,等. 多排螺旋 CT 同步肾动脉和肾盂输尿管显影在腔镜手术中的临床价值[J]. 中华腔镜泌尿外科杂志(电子版), 2011, 5(3): 213-217. DOI:10.3877/cma.j.issn.1674-3253.2011.03.011.
DING N, WANG B, XU K Y, et al. Clinical value of multiple-slice spiral CT synchronous imaging of renal arteries, renal pelves and ureters in endoscopic surgeries[J]. Chinese Journal of Endourology (Electronic Edition), 2011, 5(3): 213-217. DOI:10.3877/cma.j.issn.1674-3253.2011.03.011. (in Chinese).
- [3] 张小平,李兴国,刘承杏,等. 肾盂输尿管连接部与肾血管关系及其临床意义[J]. 中国临床解剖学杂志, 2006, 24(2): 153-156. DOI:10.3969/j.issn.1001-165X.2006.02.012.
ZHANG X P, LI X G, LIU C X, et al. The relationship between ureteropelvic junction and the vessels of kidney and its clinical significance[J]. Chinese Journal of Clinical Anatomy, 2006, 24(2): 153-156. DOI:10.3969/j.issn.1001-165X.2006.02.012. (in Chinese).

- [4] 中华放射学杂志双层探测器光谱 CT 临床应用协作组. 双层探测器光谱 CT 临床应用中国专家共识 (第一版)[J]. *中华放射学杂志*, 2020, 54(7): 635-643. DOI:10.3760/cma.j.cn112149-20200513-00679. Chinese Journal of Radiology Cooperative Group of Clinical Application of Dual-layer Spectral Detector CT. China expert consensus on clinical application of dual-layer spectral detector CT[J]. *Chinese Journal of Radiology*, 2020, 54(7): 635-643. DOI:10.3760/cma.j.cn112149-20200513-00679. (in Chinese).
- [5] 范瑜, 殷焱, 王文晶, 等. 分离团注技术在 CTU 检查中的优势[J]. *医学影像学杂志*, 2012, 22(9): 1547-1549. DOI:10.3969/j.issn.1006-9011.2012.09.048. FAN Y, YIN Y, WANG W J, et al. Advantage of separate bolus injection technique in CT urograph[J]. *Journal of Medical Imaging*, 2012, 22(9): 1547-1549. DOI:10.3969/j.issn.1006-9011.2012.09.048. (in Chinese).
- [6] 贾紫婷. 多模态医学图像融合的关键技术研究[J]. *计算机时代*, 2020, (7): 4-6, 11. DOI:10.16644/j.cnki.cn33-1094/tp.2020.07.002. JIA Z T. Overview of key technologies of multimodal medical image fusion[J]. *Computer Era*, 2020(7): 4-6, 11. DOI:10.16644/j.cnki.cn33-1094/tp.2020.07.002. (in Chinese).
- [7] 顾恒乐, 聂生东. 多模医学图像配准和融合方法及其临床应用进展[J]. *中华放射肿瘤学杂志*, 2016, 25(8): 902-906. DOI:10.3760/cma.j.issn.1004-4221.2016.08.024. GU H L, NIE S D. Research advance in multi-modality medical image registration and fusion methods and their clinical application[J]. *Chinese Journal of Radiation Oncology*, 2016, 25(8): 902-906. DOI:10.3760/cma.j.issn.1004-4221.2016.08.024. (in Chinese).
- [8] 刘云福, 康天良, 张永县, 等. 两段式对比剂注射结合团注跟踪技术在肺动脉 CTA 检查中的应用研究[J]. *CT 理论与应用研究*, 2023, 32(4): 531-538. DOI:10.15953/j.ctta.2023.075. LIU Y F, KANG T L, ZHANG Y X, et al. Study of two-stage injection of contrast agent in combination with bolus tracking technique in computed tomography pulmonary angiography[J]. *CT Theory and Applications*, 2023, 32(4): 531-538. DOI:10.15953/j.ctta.2023.075. (in Chinese).
- [9] KEKELIDZE M, DWARKASING R S, DIJKSHOORN M L, et al. Kidney and urinary tract imaging: Triple-bolusmultidetector CT urography as a one-stop shop—protocol design, opacification, and image quality analysis[J]. *Radiology*, 2010, 255(2): 508-516. DOI:10.1148/radiol.09082074.
- [10] 卢向彬, 周鑫, 史浩. CTA、CTU 联合应用在泌尿系统疾病中的应用价值研究[J]. *医学影像学杂志*, 2013, 23(7): 1089-1091, 1110. DOI:10.3969/j.issn.1006-9011.2013.07.033. LU X B, ZHOU X, SHI H. Value of CTA combined with CTU in the urogenital system diseases[J]. *Journal of Medical Imaging*, 2013, 23(7): 1089-1091, 1110. DOI:10.3969/j.issn.1006-9011.2013.07.033. (in Chinese).
- [11] 姜文龙, 杨艺, 吴志斌, 等. 结合能谱纯化与 ADMIRE 技术的一站式泌尿系 CTA 和 CTU 成像 1 例[DB/OL]. 中国临床案例成果数据库, 2023, 5(1): E02343-E02343. DOI:10.3760/cma.j.cmcr.2023.e02343. JIANG W L, YANG Y, WU Z B, et al. A case of one-stop urological CTA and CTU imaging in combination with energy spectrum purification and ADMIRE technology was studied[DB/OL]. Chinese Medical Case Repository, 2023, 5(1): E02343-E02343. DOI:10.3760/cma.j.cmcr.2023.e02343. (in Chinese).
- [12] 王鹤, 孙晓伟, 王继琛, 等. 正常集合系统分次团注双期与传统单次团注多期 CT 泌尿系造影的比较[J]. *中国医学影像技术*, 2009, 25(11): 2076-2080. DOI:10.3321/j.issn:1003-3289.2009.11.039. WANG H, SUN X W, WANG J C, et al. Comparasion of split-bolus2-phase CT urography and classical single bolus CT urography in normal collecting system[J]. *Chinese Journal of Medical Imaging Technology*, 2009, 25(11): 2076-2080. DOI:10.3321/j.issn:1003-3289.2009.11.039. (in Chinese).
- [13] KAREN C, FIONA C, LEJLA A, et al. CT urography: How to optimize the technique[J]. *Abdominal Radiology*, 2019, 44(12): 3786-3799. DOI:10.1007/s00261-019-02111-2.
- [14] 中华医学会放射学分会对比剂安全使用工作组. 碘对比剂使用指南 (第 2 版)[J]. *中华医学杂志*, 2014, 94(43): 3363-3369. DOI:10.3760/cma.j.issn.0376-2491.2014.43.003.
- [15] WANG Z Q, SONG Y P, A G, et al. Role of hydration in contrast-induced nephropathy in patients who underwent primary percutaneous coronary intervention[J]. *International Heart Journal*, 2019, 60(5): 1077-1082. DOI:10.1536/ihj.18-725.
- [16] 中华医学会放射学分会心胸学组. 主动脉夹层 CT 血管成像标注专家共识[J]. *中华放射学杂志*, 2024, 58(3): 250-257. DOI:10.3760/cma.j.cn112149-20230719-00010. Cardiothoracic Group of Chinese Society of Radiology of Chinese Medical Association. Expert consensus on CT angiography annotation of aortic dissection[J]. *Chinese Journal of Radiology*, 2024, 58(3): 250-257. DOI:10.3760/cma.j.cn112149-20230719-00010. (in Chinese).
- [17] RAJIAH P, ABBARA S, HALLIBURTON S S. Spectral detector CT for cardiovascular applications[J]. *Diagnostic and Interventional Radiology*, 2017, 23(3): 187-193. DOI:10.5152/dir.2016.16255.
- [18] 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. DOI:10.3760/cma.j.cn112149-20220118-00051. Chinese Society of Radiology of Chinese Medical Association, Chinese Radiologist Association, Research Center of Clinical Medical Imaging of Anhui Province. China expert consensus on clinical application of multi-energy CT[J]. *Chinese Journal of Radiology*, 2022, 56(5): 476-487. DOI:10.3760/

cma. j. cn112149-20220118-00051. (in Chinese).

- [19] MICHAELA C, MAURIZIO C, NICOLÒ R, et al. Computed tomography urography: State of the art and beyond[J]. *Tomography*, 2023, 9(3): 909–930. DOI:10.3390/tomography9030075.
- [20] 谢馥淳, 侯阳. 双层探测器光谱 CT 在外周血管成像中的应用进展[J]. *中华放射学杂志*, 2021, 55(12): 1341–1344. DOI:10.3760/cma. j. cn112149-20210816-00760.
- XIE F C, HOU Y. Application advantages of dual-layer spectral detector CT in peripheral vessels[J]. *Chinese Journal of Radiology*, 2021, 55(12): 1341–1344. DOI:10.3760/cma. j. cn112149-20210816-00760. (in Chinese).

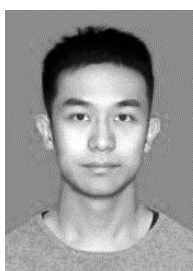
Study on the Application of CTU and CTA Combined Imaging by Fractional Injection Combined of a Contrast Agent with Energy Imaging

HU Jiacheng, LIU Yunfu[✉], WANG Xinyan, WANG Qian,
MA Zixuan, ZHANG Yongxian, LI Wei, LIU Rong, NIU Yantao

Department of Radiology, Beijing Tongren Hospital, Capital Medical University, Beijing 100730, China

Abstract: Objective: This study aimed to investigate the application value of fractional bolus injection of a contrast agent combined with double-layer detector spectral CT 50 keV virtual monoenergetic imaging (VMI) in combined imaging of computed tomography urography (CTU) and aortic CT angiography (CTA). Methods: The experimental group included 32 patients who underwent spectral CTU with a Philips IQon dual-layer detector at Beijing Tongren Hospital, Capital Medical University, between March and April 2024. Using fractional bolus injection of a contrast agent and bolus tracking technology, the conventional 120 kVp mixed energy image was reconstructed after scanning for group A1; the 50 keV VMI obtained by spectral reconstruction was group A2. The control group included 32 patients who underwent CTU examination between December 2023 and March 2024 using the same equipment, and the contrast agent split bolus and group injection tracking techniques were used. After scanning, the conventional 120 kVp mixed energy image was reconstructed for group B. The objective evaluation included the CT value, contrast-to-noise ratio (CNR), and signal-to-noise ratio (SNR) of the abdominal aorta and bilateral renal arteries, which were compared among the three groups. The Kruskal–Wallis and Nemenyi tests were used to compare the average CT values of the initial, middle, and lower parts of the ureter. Wilcoxon test was used to compare the effective radiation dose between the experimental and control groups. Subjective evaluation was performed by two senior radiologists on the three groups of CTU and CTA images using the 4- and 3-point methods, respectively. The consistency of the subjective scores of the two radiologists was analyzed using the Kappa test. Results: Among the objective evaluation indices, there were statistically significant differences among groups A2, A1, and B. There was a significant difference in the SNR of the bilateral renal arteries between groups A1 and B. The effective radiation dose of the experimental group was 15.1% lower than that of the control group, which was significantly different. There was no significant difference in the subjective evaluation of the CTA and CTU images among the three groups. The consistency of the CTA and CTU image scoring results between the two physicians was excellent and good, respectively. Conclusion: If CTU examination was performed by fractional injection of a contrast agent, fusion images of the urinary system and aorta were obtained, which not only had a clear anatomical relationship and the same image quality, but also reduced the effective radiation dose. The 50keV virtual monoenergetic image obtained by spectral reconstruction optimizes the image quality of CTU and CTA and has clinical value.

Keywords: computed tomography urography; double-layer detector spectral CT; fractionated injection



作者简介: 胡嘉诚, 男, 首都医科大学附属北京同仁医院主管技师, 主要从事头颈部、腹部 CT 扫描和图像后处理方面的研究, E-mail: jiachenghu_go@163.com; 刘云福[✉], 男, 首都医科大学附属北京同仁医院副主任技师, 主要从事头颈部 CT、MRI 扫描和图像后处理, E-mail: bzliuyf@163.com。