



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

刘云福, 康天良, 张永县, 李伟, 许庆刚, 王新艳, 鲜军舫, 牛延涛

Study of Two-stage Injection of Contrast Agent in Combination with Bolus Tracking Technique in Computed Tomography Pulmonary Angiography

LIU Yunfu, KANG Tianliang, ZHANG Yongxian, LI Wei, XU Qinggang, WANG Xinyan, XIAN Junfang, and NIU Yantao

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.15953/j.ctta.2023.075>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

低对比剂注射方案在320排CT冠状动脉成像中的研究

Study on Low Contrast Agent Injection Adopted in 320-slice CT Coronary Angiography
CT理论与应用研究. 2018, 27(6): 693-699

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

冠状动脉CTA在冠状动脉-肺动脉瘘中诊断价值的回顾性研究

Coronary Artery CT Angiography in Coronary-pulmonary Fistula:A Retrospective Study
CT理论与应用研究. 2017, 26(4): 519-524

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

320排螺旋CT单次心动周期手动触发双低剂量CTCA的可行性研究

320-detector Row CT Double Low-dose CTCA with Manual Bolus Tracking: A Feasible Study
CT理论与应用研究. 2018, 27(5): 583-591

CT高浓度碘对比剂在克罗恩病中的应用效果

The Effect of High Iodine Concentration Contrast Media in Crohn's Disease Patients
CT理论与应用研究. 2020, 29(4): 488-494



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

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).

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

刘云福, 康天良, 张永县, 李伟, 许庆刚, 王新艳, 鲜军舫, 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: 探讨两段式对比剂注射结合团注跟踪技术在肺动脉 CTA 成像中的应用价值。方法: 收集 2022 年 7 月至 12 月在首都医科大学附属北京同仁医院因怀疑肺栓塞行肺动脉 CT 增强检查的 30 例患者为试验组, 使用两段式对比剂注射结合团注跟踪技术的方法。兴趣区 (ROI) 置于肺动脉主干, 设定阈值为 100 HU。对比剂和生理盐水注射顺序: ① 对比剂 10 mL; ② 生理盐水 30 mL; ③ 对比剂 20 mL; ④ 生理盐水 30 mL, 注射流率均为 5 mL/s。跟踪肺动脉主干 CT 值, 达到设定阈值后延迟 10 s 开始扫描。收集 2021 年 1 月至 2021 年 12 月间 30 例患者为对照组, 采用小剂量团注测试技术。先注射对比剂 10 mL + 生理盐水 30 mL 测量肺动脉主干达峰时间, 再注射对比剂 20 mL + 生理盐水 30 mL, 以达峰时间 + 1 s 作为延迟时间扫描。测量两组图像肺动脉、肺静脉、锁骨下静脉、升主动脉的 CT 值, 并对两组图像肺动脉图像质量和上腔静脉硬化伪影进行评分。两组图像血管 CT 值的比较采用独立样本 *t* 检验; 肺动脉图像质量评分、上腔静脉硬化伪影评分的比较采用非参数 Mann-Whitney U 检验。结果: 试验组左肺动脉、右肺上叶动脉、右肺中叶动脉、右肺下叶动脉、左肺上叶动脉、升主动脉 CT 值大于对照组, 差异有统计学意义; 试验组和对照组肺动脉主干、右肺动脉、左肺下叶动脉、右上肺静脉、右下肺静脉、左上肺静脉、左下肺静脉、锁骨下静脉、右侧动静脉 CT 值差值、左侧动静脉 CT 值差值差异无统计学意义; 试验组和对照组肺动脉影像质量评分差异无统计学意义; 试验组和对照组上腔静脉硬化伪影评分差异无统计学意义。结论: 肺动脉 CTA 检查使用两段式对比剂注射结合团注跟踪技术可获得稳定的图像质量, 且操作步骤简单易行, 过渡延迟时间适用于大多数 CT 设备, 值得在临床推广。

关键词: 体层摄影术; X 线计算机; 肺动脉; 对比剂

DOI:10.15953/j.ctta.2023.075 中图分类号: R814 文献标识码: A

急性肺栓塞 (pulmonary embolism, PE) 具有较高的发病率及病死率, 是常见的三大致死性心血管疾病之一。CT 肺动脉成像 (computed tomography pulmonary arteriography, CTPA) 是确诊 PE 影像学检查的首选方法^[1], 具有很高的敏感性和特异性。64 排以上 CT 扫描速度快, CTPA 的数据采集时间都可以控制在 3 s 以内, 准确把握肺动脉增强峰值时间是检查成功的关键。CTPA 扫描延迟时间的选择目前常用的方法有小剂量团注测试技术和对比剂团注跟踪技术, 小剂量团注测试技术操作步骤多, 受操作者个人经验影响较大, 对比剂团注跟踪技术受限于机器的过渡延迟时间 (即 ROI 到达阈值切换到正式扫描之间的时间), 易导致肺静脉过度强化影响肺动脉的观察。

本研究在两种技术的基础上, 通过改良对比剂注射方案, 即两段式对比剂同速注射的方法, 探讨一种获得优质 CTPA 成像效果的扫描技术。

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 (TREC2022-KY037)。收集 2022

收稿日期: 2023-03-23。

基金项目: 北京市医院管理局临床医学发展专项 (眼耳鼻喉影像 (ZYLX201704)); 北京市医院管理中心“登峰”计划专项 (DFL20190203)。

年 7 月至 12 月在首都医科大学附属北京同仁医院因怀疑肺栓塞行肺动脉 CT 增强检查的 30 例患者作为试验组, 其中男 17 例、女 13 例, 年龄 31~87 岁, 平均 (64 ± 16) 岁, 体重 53~84 kg, 平均 (66.0 ± 8.9) kg, 身体质量指数 (body mass index, BMI) 为 (24.03 ± 2.61) kg/m², 增强扫描时采用两段式对比剂同速注射结合团注跟踪技术的方法。

收集 2021 年 1 月至 2021 年 12 月间 30 例患者为对照组, 男 16 例、女 14 例, 年龄 34~85 岁, 平均 (61 ± 14) 岁, 体重 50~85 kg, 平均 (65.0 ± 10.5) kg, BMI 为 (23.51 ± 2.56) kg/m², 采用小剂量团注测试技术的方法。

排除标准: 肝肾功能不全及严重心功能不全; 既往碘对比剂过敏者, 妊娠、甲状腺亢进、癫痫及严重哮喘患者; 图像中存在金属、呼吸运动等伪影明显影响诊断; 体重大于 85 kg 的患者未纳入本研究。

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), 对比剂为碘普罗胺注射液 (拜耳医药保健有限公司), 碘浓度 370 mg/mL。患者仰卧于 CT 扫描床上, 双手上举, 放于头部上方, 根据患者情况选择左侧或右侧肘静脉注射对比剂。

试验组患者的监测兴趣区 (region of interest, ROI) 置于肺动脉主干, 设定阈值为 100 HU。对比剂和生理盐水注射顺序: ① 经 A 注射筒注射对比剂 10 mL; ② 经 B 筒注射生理盐水 30 mL; ③ 经 A 筒注射对比剂 20 mL; ④ 经 B 筒注射生理盐水 30 mL。上述注射步骤均按设定顺序由高压注射器自动无间隔完成, 对比剂和生理盐水注射速率均为 5 mL/s。在开始注射第 1 段对比剂时同时跟踪肺动脉主干 CT 值, 达到设定阈值后延迟 10 s 开始扫描 (图 1)。

对照组患者使用小剂量团注测试技术。监测 ROI 同样置于肺动脉主干, 注射速率 5 mL/s, 先经 A 筒注射对比剂 10 mL, 再经 B 筒注射生理盐水 30 mL, 注射开始同时不间断同层连续扫描, 每 1.5 s 扫描 1 次, 共扫描 15 次, 获得肺动脉主干 ROI 的时间-密度曲线, 测量增强峰值时间, 本研究中测得的肺动脉主干对比剂达峰时间为 7~13 s, 平均 (10.8 ± 0.8) s。以此达峰时间 + 1 s 作为延迟时间, 然后经 A 筒注射 20 mL 对比剂, 经 B 筒注射 30 mL 生理盐水, 以此延迟时间进行扫描。

CTPA 扫描参数: 使用螺旋扫描方式, 管电压 120 kV, 旋转时间 0.27 s, 使用 Philips IQon CT 自带管电流自动调制技术 (DoseRight), DoseRight Index 选择 22; 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), 迭代等级选择 3; 滤过核选择 Standard (B), 重建图像层厚 1 mm, 层间距 1 mm, 视野 300~350 mm, 依患者胸部大小调整, 矩阵 512×512 , 窗宽窗位使用 600/100。扫描范围从肺尖至膈顶, 所有患者均在扫描前嘱平静呼吸下呼气后屏气扫描。

1.3 图像后处理方法

将原始薄层图像传至 Philips 星云工作站, 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, 同时进行最大密度投影 (maximum intensity projection, MIP)。使用容积再现 (volume rendering, VR), 去骨, 结合 MIP 同时显示肺动脉各段分支。

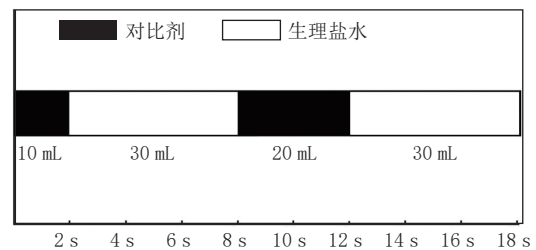


图 1 两段式对比剂注射方法, 注射速率均为 5 mL/s, 两段对比剂开始注射时间间隔 8 s, 第 1 段对比剂达到设定阈值后 10 s 相当于第 2 段对比剂达到阈值后 2 s

Fig. 1 In the two-stage injection method, the injection flow rate was 5 mL/s, and the interval between the start of the two-stage contrast injection was 8 s; 10 s after the first stage of contrast reaches the set threshold is equivalent to 2 s after the second stage of contrast reaches the threshold

1.4 图像质量评价

1.4.1 客观评价

两组影像均测量以下血管的 CT 值：肺动脉主干、右肺动脉、左肺动脉，肺动脉周围分支（右肺上叶动脉、右肺中叶动脉、右肺下叶动脉、左肺上叶动脉、左肺下叶动脉）、肺静脉（右上肺静脉、右下肺静脉、左上肺静脉、左下肺静脉）、注射对比剂侧的锁骨下静脉及升主动脉。如果存在肺栓塞，仅测量未受影响的血管。ROI 大小为 $0.05\sim 0.6\text{ cm}^2$ ，记录 CT 值，并计算同侧肺动脉与肺静脉的 CT 值差，公式为肺动脉 CT 值 - (同侧上肺静脉 CT 值 + 下肺静脉 CT 值) / 2。

1.4.2 主观评价

由 2 名具有 10 年以上诊断经验的副主任医师以盲法分别对试验组和对照组图像质量进行评价。

根据既往临床诊断经验以 4 分制标准评价肺动脉图像质量：4 分为肺动脉层面 CT 值 $\geq 250\text{ HU}$ ，肺动脉及分支血管均显示良好，但是肺动脉与肺静脉 CT 差值 $> 150\text{ HU}$ ，肺静脉略强化，不影响肺动脉分支的鉴别；3 分为肺动脉层面 CT 值 $\geq 250\text{ HU}$ ，肺动脉及分支血管均显示良好，但是肺动脉与肺静脉 CT 差值 $\leq 150\text{ HU}$ ，肺静脉明显强化，影响肺动脉分支的鉴别；2 分为 $150\text{ HU} < \text{肺动脉层面 CT 值} < 250\text{ HU}$ ，肺动脉二、三级血管显影不佳；1 分为肺动脉层面 CT 值 $\leq 150\text{ HU}$ ，说明肺动脉强化效果弱，无法明确诊断分支血管。

采用 4 分制评分法评价上腔静脉硬化伪影：4 分，无硬化伪影；3 分，硬化伪影可忽略；2 分，硬化伪影明显，但肺动脉可显示，尚能诊断；1 分，硬化伪影严重影响肺动脉的显示和诊断。

1.5 统计学处理

采用 SPSS 23.0 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、血管 CT 值的比较采用独立样本 t 检验；肺动脉图像质量评分、上腔静脉硬化伪影评分的比较采用非参数 Mann-Whitney U 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。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

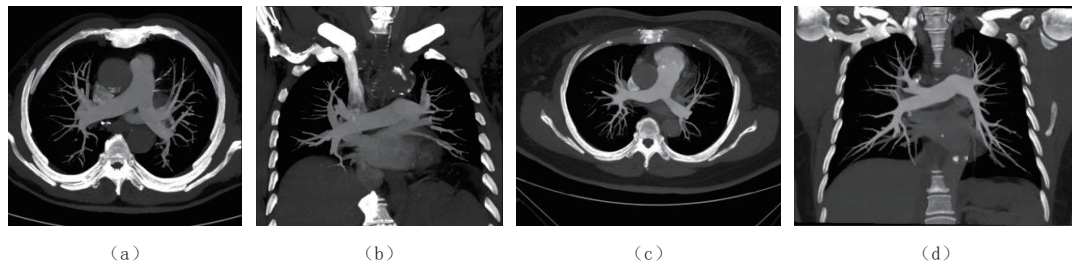
2.1 一般资料分析结果

试验组和对照组患者性别、年龄、BMI 差异均无统计学意义。试验组和对照组通过 CTPA 检查诊断为肺栓塞的分别为 3 例和 2 例。

试验组 30 例患者均获得良好的肺动脉强化效果，3 例患者出现肺静脉强化，干扰肺动脉的观察，而对照组有 8 例患者肺静脉强化明显。试验组肺静脉强化原因是跟踪 ROI 时因为呼吸运动 ROI 有的期相不在跟踪层面，导致 ROI 达到阈值时间延迟。对照组肺静脉强化原因主要是测试达峰时间误差或启动扫描延迟所致（图 2）。

2.2 客观评价

试验组和对照组所测量血管 CT 值见表 1，其中左肺动脉、右肺上叶动脉、右肺中叶动脉、右肺下叶动脉、左肺上叶动脉、升主动脉 CT 值差异有统计学意义，试验组 CT 值大于对照组；肺动脉主干、右肺动脉、左肺下叶动脉、右上肺静脉、右下肺静脉、左上肺静脉、左下肺静脉、锁骨下静脉、右侧动静脉 CT 值差值、左侧动静脉 CT 值差值差异无统计学意义。



注：(a)和(b)为对照组患者，(a)横轴位厚层 MIP 图像，(b)冠状位厚层 MIP 图像，因扫描启动过晚导致肺静脉强化，肺动脉与肺静脉 CT 值差值小于 150HU，图像质量评分为 3 分；(c)和(d)为试验组患者，(c)横轴位厚层 MIP 图像，(d)冠状位厚层 MIP 图像，肺静脉略显影，肺动脉处于强化峰值，与肺静脉有良好的对比，CT 值差值大于 150HU，图像质量评分为 4 分。

图 2 对照组患者使用小剂量团注测试技术，试验组患者使用两段式对比剂注射结合团注跟踪技术
Fig.2 The control groups, using the test bolus technique, and the experimental groups, using a two-stage injection of contrast agent combined with bolus tracking technique

表 1 试验组和对照组测量血管的平均值、最小值和最大值的比较
Table 1 Comparison of mean, minimum, and maximum values of measured vessels between the experimental and control groups

测量血管	CT 值/HU		统计检验	
	试验组 $\bar{x} \pm s$ (min~max)	对照组 $\bar{x} \pm s$ (min~max)	t	P
肺动脉主干	340 ± 50 (264~431)	312 ± 65 (183~483)	1.86	0.067
右肺动脉	339 ± 51 (251~435)	313 ± 58 (180~463)	1.86	0.068
左肺动脉	345 ± 54 (252~431)	314 ± 57 (188~466)	2.21	0.031
右肺上叶动脉	367 ± 62 (281~498)	329 ± 61 (185~497)	2.40	0.020
右肺中叶动脉	359 ± 61 (269~468)	322 ± 58 (202~472)	2.39	0.020
右肺下叶动脉	363 ± 58 (268~511)	329 ± 61 (206~469)	2.19	0.033
左肺上叶动脉	362 ± 54 (258~441)	330 ± 59 (197~467)	2.18	0.033
左肺下叶动脉	362 ± 57 (259~457)	332 ± 63 (195~474)	1.89	0.064
右上肺静脉	137 ± 39 (85~225)	128 ± 57 (40~263)	0.74	0.462
右下肺静脉	132 ± 30 (86~192)	122 ± 53 (45~225)	0.86	0.392
左上肺静脉	137 ± 37 (89~226)	134 ± 56 (42~265)	0.20	0.841
左下肺静脉	135 ± 35 (91~228)	124 ± 52 (40~244)	0.90	0.375
锁骨下静脉	935 ± 250 (469~1728)	840 ± 303 (317~1645)	1.32	0.193
升主动脉	120 ± 21 (84~165)	71 ± 19 (44~120)	9.50	0.000
右侧动静脉 CT 值差值	204 ± 57 (86~289)	188 ± 89 (-17~374)	0.87	0.389
左侧动静脉 CT 值差值	210 ± 61 (70~301)	184 ± 86 (6~376)	1.31	0.195

注： $\bar{x} \pm s$ 为平均值 ± 标准差，min 为最小值，max 为最大值。

表 2 两名医师对试验组和对照组肺动脉影像质量、上腔静脉伪影评分分布和一致性分析结果
Table 2 Distribution and consistency of pulmonary artery image quality and superior vena sclerotic artifact scores analyzed by two physicians in the experimental and control groups

组别	医师 1/例				医师 2/例				评分 (M(Q1,tQ3))	一致性分析	
	4分	3分	2分	1分	4分	3分	2分	1分		Kappa 值	P
肺动脉图像质量评分											
试验组	22	8	0	0	23	7	0	0	4.0 (3.5, 4.0)	0.73	<0.001
对照组	15	13	2	0	19	11	0	0	3.75 (3.0, 4.0)	0.62	<0.001
上腔静脉硬化伪影评分											
试验组	4	22	4	0	2	24	4	0	3.0 (3.0, 3.0)	0.66	<0.001
对照组	2	24	4	0	2	19	9	0	3.0 (2.5, 3.0)	0.63	<0.001

2.3 主观评价

两名医师对试验组和对照组肺动脉影像质量、上腔静脉硬化伪影评分结果见表 2。两名医师间评分结果一致性好 (Kappa 值均 > 0.61, 表 2)。试验组和对照组肺动脉影像质量评分差异无统计学意义; 试验组和对照组上腔静脉硬化伪影评分差异无统计学意义。

3 讨论

优质的 CTPA 图像是肺动脉及分支充分强化, 肺静脉略强化, 并与肺动脉有良好的对比, 以区分肺动脉和肺静脉, 同时上腔静脉没有对比剂硬化伪影或硬化伪影极少, 不影响肺动脉的观察^[2], 这决定了 CTPA 要在肺动脉达到峰值时, 上腔静脉内对比剂峰值已过, 同时要在肺静脉充分强化前完成扫描, 由于肺动脉循环很快, 肺动脉到肺静脉的循环时间仅 2~3 s, 可利用的增强时间窗非常窄, 这就要求对比剂的注射时间短, 同时扫描速度要快, 而 64 排 CT 基本可以将肺动脉扫描时间控制在 3 s, 因此对比剂用量不需要太多, 根据既往研究^[2], 按照注射流率 5 mL/s, 20 mL 对比剂完全可以满足肺动脉增强要求, 但是较短的对比剂注射时间对肺动脉增强峰值的把握提出了较高的要求, 准确确定 CTPA 扫描延迟时间异常关键。

延迟时间的选择目前常用的方法有小剂量团注测试技术和对比剂团注跟踪技术, 小剂量团注测试技术能够有效地反映肺循环信息, 有利于把握准确的扫描时机^[2-4], 但是操作步骤多, 且受操作环境及人为因素影响较大, 对比剂启动注射与 CT 启动扫描的一致性很难做到绝对一致, 由此产生的误差影响了预实验测试肺动脉增强峰值时间的准确性, 并且有的机器并不具备测试达峰时间的程序。对比剂团注跟踪技术作为一种简单有效地方法, 普遍应用于各种 CT 血管成像^[5-6], 相较于小剂量团注测试技术, 对比剂团注跟踪技术更具个性化^[7], 受患者个体循环差异影响小。

过渡延迟时间是对比剂团注跟踪技术中一个重要的参数, 指的是 ROI 到达阈值切换到正式扫描之间的时间, 这段时间内设备需要完成扫描前准备工作 (扫描床移动到扫描起始位置) 以及向患者发出检查所需要的呼吸指令, 此时间也与设备本身有关, 一般在 4~7 s。多数研究将 ROI 置于肺动脉主干^[8-9], 由于此时间大于肺循环时间, 这就导致肺静脉强化, 影响肺动脉的观察, 同时需要更多的对比剂注射时间以及对比剂用量。

针对此问题, 有研究将上腔静脉及头臂干静脉设为 ROI^[10-11], 虽然肺静脉不成像但是受心功能影响较大, 容易造成检查失败。也有学者使用 3 期团注法对比剂注射方案^[12]或多期双流混合注射方案^[13], 以肺动脉主干为 ROI, 第 I 期注射混合液的对比剂浓度低, 起到达阈值触发扫描的作用, 同时注射混合液所用时间抵消触发后启动扫描的时间, 第 II 期对比剂到达时开始扫描, 第 I 期混合液进入肺静脉强化程度低, 对肺动脉的观察不会造成影响, 提高了检查的成功率。此方案虽然第一期混合液与第 II 期对比剂注射流率一致, 但是对比剂浓度不一致, 两期对比剂的相对注射流率不一致, 其达峰时间不一样, 混合液达到设定阈值的时间过晚仍会导致检查失败发生。

本研究借鉴 CT 血管成像中小剂量团注测试技术的一些研究^[2-4, 7, 14-15], 这些研究测试达峰时间的小剂量对比剂与进行正式扫描的对比剂都使用了相同的浓度和相同的注射流率。基于此, 本研究跟踪肺动脉主干的 CT 值, 将测试达峰时间的小剂量对比剂和正式扫描的对比剂以相同注射流率 (5 mL/s) 分两段注射, 中间注射相同流率生理盐水以抵消过渡延迟时间, 注射方法是先注射 2 s 的对比剂, 然后注射 6 s 生理盐水, 再注射 4 s 对比剂, 然后注射 6 s 生理盐水, 过渡延迟时间设为 10 s。由于两段对比剂的开始注射时间间隔是 8 s, 且注射流率相同, 第 1 段对比剂达到设定阈值后 8 s, 第 2 段对比剂也将达到设定阈值, 在此基础上再延迟 2 s 扫描, 相当于第 2 段对比剂达到设定阈值后 2 s 开始扫描, 此时第 2 段对比剂刚好完成一次肺循环, 不会对肺静脉产生明显强化, 而第 1 段对比剂达到设定阈值后 10 s, 大部分已经循环出肺静脉。此方法间接实现了将过渡延迟时间设定为 2 s, 解决了多数设备过渡延迟时间过长的问题, 节省了对比剂用量, 提高了检查的成功率。

本研究中, 试验组部分肺动脉血管 CT 值高于对照组, 其他肺动脉血管 CT 值及锁骨下静脉 CT 值、肺静脉 CT 值、动静脉 CT 值差值均与对照组无差异, 且两组图像在肺动脉图像质量和上腔静脉硬化伪影评分方面均无差异。本研究中, 试验组升主动脉的 CT 值高于对照组, 这与第 1 段对比剂流入胸主动脉导致胸主动脉部分强化有关, 本研究中升主动脉 CT 值均 < 165 HU, 不影响肺动脉的观察。同时本研究在扫描前嘱患者平静呼吸呼气末屏气, 以减少因为过度吸气导致下腔静脉血大量回流入右心房, 稀释右心腔对比剂产生肺动脉强化不佳的情况^[16-18]。

综上, 本研究在进行肺动脉 CTA 检查时使用两段式对比剂同速注射结合团注跟踪技术, 可获得稳定的图像质量, 其图像质量不低于传统的小剂量团注测试技术, 且团注跟踪技术操作简单易行, 受操作者个人影响较小。同时本研究通过在两段对比剂中间注射生理盐水抵消过渡延迟时间的方法, 将过渡延迟时间设定为 10 s, 适用于大多数机器, 值得在临床上推广。

本研究的不足: ① 第一段对比剂在 10 s 后大部分流入胸主动脉, 导致胸主动脉强化, 更有部分心功能不佳患者, 第一段对比剂在 10 s 仍残留于肺静脉, 影响肺动脉观察, 这种情况要增加两段对比剂之间的生理盐水注射时间, 同时增加过渡延迟时间, 使第 1 段对比剂有充足的时间循环流出, 而过渡延迟时间只需设定为两段对比剂开始注射间隔时间 + 2 s 即可; ② 本研究第 2 段对比剂用量为 20 mL, 注射时间为 4 s, 要求设备扫描快, 适用于将扫描时间控制在 2~3 s 的设备, 如果设备扫描速度过慢, 要适当增加第 2 段对比剂的用量; ③ 本研究未将超重人群纳入, 对于超重人群, 20 mL 对比剂是否适用需要进一步研究。

参考文献

- [1] 中华医学会呼吸病学分会肺栓塞与肺血管病学组, 中国医师协会呼吸医师分会肺栓塞与肺血管病工作委员会, 全国肺栓塞与肺血管病防治协作组. 肺血栓栓塞症诊治与预防指南[J]. *中华医学杂志*, 2018, 98(14): 1060-1087.
- [2] 刘建新, 孙红霞, 唐光健, 等. 多层螺旋 CT 低剂量对比剂肺动脉成像[J]. *中国医学影像技术*, 2006, 22(7): 1012-1014. DOI:10.3321/j.issn:1003-3289.2006.07.013.
LIU J X, SUN H X, TANG G J, et al. Multi slice spiral CT pulmonary artery angiography with low dose contrast medium[J]. *Chinese Journal of Medical Imaging Technology*, 2006, 22(7): 1012-1014. DOI:10.3321/j.issn:1003-3289.2006.07.013. (in Chinese).
- [3] 张文明, 陈彬, 胡吉波, 等. 比较团注对比剂跟踪技术和小剂量团注测试技术在双能量 CT 肺灌注扫描中的应用[J]. *中华放射学杂志*, 2013, 47(10): 892-897. DOI:10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2013.10.006.
ZHANG W M, CHEN B, HU J B, et al. Comparison of test bolus and bolus tracking techniques for dual-energy CT lung perfusion scan[J]. *Chinese Journal of Radiology*, 2013, 47(10): 892-897. DOI:10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2013.10.006. (in Chinese).
- [4] RODRIGUES J C L, MATHIAS H, NEGUS I S, et al. Intravenous contrast medium administration at 128 multidetector row CT pulmonary angiography: Bolus tracking versus test bolus and the implications for diagnostic quality and effective dose[J]. *Clinical Radiology*, 2012, 67(11): 1053-1060. DOI:10.1016/j.crad.2012.02.010.
- [5] YU J, LIN S S, LU H, et al. Optimize scan timing in abdominal multiphase CT: Bolus tracking with an individualized post-trigger delay[J]. *European Journal of Radiology*, 2022, 148: 110139. DOI:10.1016/j.ejrad.2021.110139.
- [6] CHIBA A, HARADA K, OHASHI Y, et al. Evaluation of computed tomography arterial portography scan timing using different bolus tracking methods[J]. *Radiological Physics and Technology*, 2020, 13(1): 92-97. DOI:10.1007/s12194-020-00556-5.
- [7] HENZLER T, MEYER M, REICHERT M, et al. Dual-energy CT angiography of the lungs: Comparison of test bolus and bolus tracking techniques for the determination of scan delay[J]. *European Journal of Radiology*, 2012, 81(1): 132-138. DOI:10.1016/j.ejrad.2010.06.023.
- [8] GOBLE E W, ABDULKARIM J A. CT pulmonary angiography using a reduced volume of high-concentration iodinated contrast medium and multiphasic injection to achieve dose reduction[J]. *Clinical Radiology*, 2014, 69(1): 36-40. DOI:10.1016/j.crad.2013.07.023.

- [9] 中华医学会放射学分会心胸学组. 急性肺血栓栓塞放射学检查技术方案与诊断共识[J]. *中华放射学杂志*, 2012, 46(12): 1066-1070.
- [10] 周运锋, 史河水, 吴爱兰, 等. 选择 MSCT 肺动脉血管成像触发点位置及后处理技术[J]. *中国医学影像技术*, 2010, 26(8): 1561-1564. DOI:10.13929/j.1003-3289.2010.08.030.
ZHOU Y F, SHI H S, WU A L, et al. Choice of triggering position and post-processing technique in multi-slice CT pulmonary angiography[J]. *Chinese Journal of Medical Imaging Technology*, 2010, 26(8): 1561-1564. DOI:10.13929/j.1003-3289.2010.08.030. (in Chinese).
- [11] 刘建新, 刘剑, 王霄英, 等. 对比剂智能跟踪与预试验肺动脉 MSCT 成像的对比研究[J]. *放射学实践*, 2008, 23(12): 1380-1382. DOI:10.3969/j.issn.1000-0313.2008.12.025.
LIU J X, LIU J, WANG X Y, et al. Multi-slice CT pulmonary arteriography: Comparison of bolus tracking with pretest time-density curve technique[J]. *Radiologic Practice*, 2008, 23(12): 1380-1382. DOI:10.3969/j.issn.1000-0313.2008.12.025. (in Chinese).
- [12] 崔晨, 刘建新, 王霄英, 等. 三期团注法对比剂注射方案在肺动脉 CTA 检查中的应用研究[J]. *放射学实践*, 2013, 28(5): 493-495. DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2013.05.005.
CUI C, LIU J X, WANG X Y, et al. Application of optimized contrast agent injection in CT pulmonary angiography[J]. *Radiologic Practice*, 2013, 28(5): 493-495. DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2013.05.005. (in Chinese).
- [13] 刘荣华, 徐宇崇, 万维佳. 64 排 CT 多期双流混合注射跟踪法在肺动脉成像中的应用[J]. *放射学实践*, 2014, 29(12): 1478-1480. DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2014.12.034.
LIU R H, XU Y C, WAN W J. Dual-flow multiphase injection technique with contrast medium-saline mixture for pulmonary angiography using 64-row multi-detector computed tomography[J]. *Radiologic Practice*, 2014, 29(12): 1478-1480. DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2014.12.034. (in Chinese).
- [14] DAS K, BISWAS S, ROUGHLEY S, et al. 3D CT cerebral angiography technique using a 320-detector machine with a time-density curve and low contrast medium volume: Comparison with fixed time delay technique[J]. *Clinical Radiology*, 2014, 69(3): e129-e135. DOI:10.1016/j.crad.2013.10.021.
- [15] BISWAS S, CHANDRAN A, ROUGHLEY S, et al. Cerebral CT venography using a 320-MDCT scanner with a time-density curve technique and low volume of contrast agent: Comparison with fixed time-delay technique[J]. *American Journal of Roentgenology*, 2015, 205(6): 1269-1275. DOI:10.2214/AJR.14.14200.
- [16] MORTIMER A M, SINGH R K, HUGHES J, et al. Use of expiratory CT pulmonary angiography to reduce inspiration and breath-hold associated artefact: Contrast dynamics and implications for scan protocol[J]. *Clinical Radiology*, 2011, 66(12): 1159-66. DOI:10.1016/j.crad.2011.06.012.
- [17] RACZECK P, MINKO P, GRAEBER S, et al. Influence of respiratory position on contrast attenuation in pulmonary CT angiography: A prospective randomized clinical trial[J]. *American Journal of Roentgenology*, 2016, 206(3): 481-486. DOI:10.2214/AJR.15.15176.
- [18] 黄书然, 姜鑫, 王洪杰, 等. 平静呼吸轻屏气在改善肺动脉 CT 强化效果中的应用研究[J]. *放射学实践*, 2022, 37(2): 186-190. DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2022.02.009.
HUANG S R, JIANG X, WANG H J, et al. The application of "breath holding at ease" in improving the CT enhancement effect of pulmonary artery[J]. *Radiologic Practice*, 2022, 37(2): 186-190. DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2022.02.009. (in Chinese).

Study of Two-stage Injection of Contrast Agent in Combination with Bolus Tracking Technique in Computed Tomography Pulmonary Angiography

LIU Yunfu, KANG Tianliang, ZHANG Yongxian, LI Wei,
XU Qinggang, WANG Xinyan, XIAN Junfang, NIU Yantao[✉]

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

Abstract: Objective: To investigate the utility of a two-stage injection of contrast agent combined with a bolus tracking technique in computed tomography (CT) pulmonary angiography. Methods: We recruited 30 patients undergoing CT pulmonary angiography due to suspected pulmonary embolism at Beijing Tongren Hospital affiliated to Capital Medical University from February to April 2022 as the experimental group, using a two-stage injection of contrast agent combined with bolus tracking technique. The region of interest (ROI) was placed in the pulmonary trunk with a threshold of 100HU. Contrast agent and normal saline injection sequence: (1) contrast agent 10 mL; (2) normal saline 30 mL; (3) contrast agent 20 mL; (4) normal saline 30 mL; the injection rate for all was 5 mL/s. The CT value of the pulmonary trunk was tracked, and scanning was delayed for 10 s after reaching the set threshold. Using the test bolus technique, we recruited 30 patients from January to December 2021 as the control group. First, 10 mL of contrast plus 30 mL of normal saline was injected to measure the peak time of the main pulmonary artery. Then, 20 mL of contrast plus 30 mL of normal saline was injected, and the peak time + 1 s was used as the delay time for the scan. CT values were measured for the pulmonary artery, pulmonary vein, subclavian vein, and ascending aorta in both groups. Both groups scored the quality of the pulmonary artery images and the sclerotic artifacts of the superior vena cava. We compared the CT values of the vessels in the two groups using independent sample t-tests. We compared the pulmonary artery image quality scores and the sclerotic artifact scores of the superior vena cava using a non-parametric Mann–Whitney U-test. Results: CT values of the left pulmonary artery, right upper lobe artery, right middle lobe artery, right lower lobe artery, left upper lobe artery, and ascending aorta of the experimental group were higher than those of the control group, and the difference was statistically significant. There was no significant difference in the main pulmonary artery, right pulmonary artery, left inferior pulmonary artery, right upper pulmonary vein, right lower pulmonary vein, left upper pulmonary vein, left lower pulmonary vein, subclavian vein, right arteriovenous difference, and left arteriovenous difference between both groups. Also, there was no significant difference in pulmonary artery image quality scores between both groups, likewise in the sclerosis artifact score of superior vena cava sclerosis. Conclusions: The two-stage contrast agent injection with the bolus tracking technique for CT pulmonary angiography provides stable image quality with a simple and easy procedure. The transition delay time suits most CT devices and deserves a clinical generalization.

Keywords: tomography; X-ray computed; pulmonary artery; contrast agent



作者简介: 刘云福, 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 CT、MRI 扫描和图像后处理, E-mail: bzliuyf@163.com; 牛延涛[✉], 男, 首都医科大学附属北京同仁医院主任技师, 主要从事医学影像技术基础理论和质量控制, E-mail: ytniu163@163.com。