超声影像学 DOI：10.13406/j.cnki.cyxb.000382

双源螺旋 CT 大螺距 Flash 模式在肺动脉 CTA 成像技术中的应用

王思杭[1]，吕发金[1]，曾勇明[1]，彭　刚[1]，姚开情[1]，吕　亮[2]
（1. 重庆医科大学附属第一医院放射科，重庆　400016；2. 重庆市第三人民医院放射科，重庆　400014）

【摘　要】**目的**：探讨双源螺旋 CT 大螺距 Flash 模式、时间-密度曲线测试技术在肺动脉 CT 成像（computer tomography pulmonary angiography，CTPA）中运用的可行性。**方法**：将拟行 CTPA 检查的 60 例患者随机分为 2 组。对照组采用单源常规模式扫描，对比剂示踪技术。实验组采用双源大螺距 Flash 模式扫描，时间-密度曲线测试技术。对比剂均采用 400 mgI/ml 碘迈伦，其余扫描参数均相同。扫描结束后，将原始数据传至后处理工作站进行处理，分别采用图像质量评分及 CT 值、对比噪声比评价图像质量。**结果**：实验组及对照组共 60 例病人均成功完成 CTPA 检查，2 组一般资料如性别、年龄、身高、体质量均无明显统计学差异（P 值分别为 0.752，0.605，0.319，0.523）；实验组对比噪声比高于对照组（P 值分别为 0.028，0.030，0.001，0.012，0.020），2 组肺动脉干、左右上肺动脉、左右下肺动脉 CT 值均无统计学差异（P 值分别为 0.362，0.986，0.373，0.584，0.931），实验组升主动脉、左右上肺静脉、左右下肺静脉 CT 值均低于对照组，差异有统计学意义（P 值分别为 0.000，0.001，0.000，0.003，0.000），且实验组的图像质量评分优于对照组（χ^2=12.25，P=0.016；χ^2=7.53，P=0.023）；实验组对比剂用量（24 ml vs. 50 ml）和辐射剂量[（5.27 ± 1.94）mSv vs. 7.30 ± 2.73）mSv]低于对照组（P=0.011），实验组扫描时间明显短于对照组[（0.94 ± 0.07）s vs.（4.71 ± 0.37）s，P=0.000]。**结论**：在 CTPA 检查中，双源 CT 大螺距 Flash 模式、时间-密度曲线测试技术不仅能采集到理想的肺动脉影像，而且降低了患者的辐射剂量及对比剂用量，还有效缩短了患者的屏气时间。

【关键词】肺动脉；X 线计算机；对比剂；血管造影术
【中图分类号】R445.3　【文献标志码】A　【收稿日期】2014-03-10

Application of dual-source spiral CT with high-pitch flash mode in CT pulmonary angiography

Wang Sihang[1], Lyu Fajin[1], Zeng Yongming[1], Peng Gang[1], Yao Kaiqing[1], Lyu Liang[2]
(1. Department of Radiology, the First Affiliated Hospital of Chongqing Medical University; 2. Department of Radiology, the Third People's Hospital of Chongqing)

【Abstract】***Objective***: To explore the feasibility of dual-source spiral CT with high-pitch flash spiral mode as well as time-density curve in diagnosing the clinically suspected pulmonary embolism(PE). ***Methods***: Sixty patients planed to receive CT pulmonary angiography(CTPA) were randomly divided into two groups. Routine scan and bolus tracking monitoring were used in control group, while dual-source spiral CT with high-pitch flash spiral mode as well as time-density curve was used in experimental group. Contrast agents Iodine diftler with the concentration of 400 mgI/ml was applied in both groups. The parameter of CT scanning was the same in both groups. All CT original dates were transferred to Siemens workstation and were post-processed by VR, MIP, MPR and CPR technology. The CTPA image quality was evaluated based on score of image quality, CT value, and contrast to noise ratio(CNR). ***Results***: All patients in two groups completed CTPA successfully. There was no difference in baseline characters including sex, age, height and weight between the two groups(P=0.752, 0.605, 0.319, 0.523). CNR of experimental group was higher than that of control group(P=0.028, 0.030, 0.001, 0.012, 0.020). There was no difference in CT value of pulmonary artery trunk, RSPA, RIPA, LSPA and LIPA between the two groups(P=0.362, 0.986, 0.373, 0.584, 0.931), but CT value of the ascending aorta, RSPV, RIPV, LSPV and LIPV were lower in experimental group than in control group(P=0.000, 0.001, 0.000, 0.003, 0.000). Scores of image quality were better in experimental group than in control group(χ^2=12.25, P=0.016; χ^2=7.53, P=0.023). Both the contrast agents(24 ml vs. 50 ml) and radiation dose[(5.27 ± 1.94) mSv vs. (7.30 ± 2.73) mSv] were lower in experimental group than in control group(P=0.011). The scanning time was significantly shorter in experimental group than in control group[(0.94±0.07) s vs. (4.71 ± 0.37) s, P=0.000)]. ***Conclusion***: CTPA with flash spiral mode and time-density curve could collect the satisfied image, reduce patients' contrast agents and radiation dose, and decrease the breathless time.

【Key words】pulmonary artery; X-ray computer; contrast agent; angiography

作者介绍：王思杭，Email：dexter_wsh@163.com，
研究方向：电子计算机断层扫描血管成像技术。
通信作者：吕发金，Email：fajinlv@163.com。
基金项目：国家临床重点专科建设资助项目。
优先出版：http://www.cnki.net/kcms/doi/10.13406/j.cnki.cyxb.000382.html

肺动脉栓塞(pulmonary embolism,PE)指内源或外源性栓子栓塞肺动脉,造成肺动脉主干或其分支的广泛栓塞,同时并发广泛细小动脉痉挛,严重时可危及生命。由于缺乏特异性症状与体征,其诊断主要依赖影像学检查,CT 技术的发展使之成为一种更安全更可靠的诊断方法[1-2]。双源螺旋 CT 的出现大大缩短了扫描时间,使小剂量对比剂及低辐射剂量行肺动脉 CT 成像(computer tomography pulmonary angiography,CTPA)检查成为可能。目前双源 CT 大螺距 Flash 模式、时间-密度曲线测试技术运用在 CTPA 检查中尚较少报道。

1 资料与方法

1.1 一般资料

选择 2013 年 3 月至 5 月临床怀疑有肺动脉栓塞, 拟行 CTPA 检查的患者 60 例。将其随机分为对照组和实验组 2 组。对照组男 13 例,女 17 例;年龄(56.30 ± 13.80)岁;身高(162.20 ± 8.87) cm;体质量(63.90 ± 9.08) kg。实验组男 18 例,女 12 例;年龄(58.50 ± 12.82)岁;身高(164.90 ± 8.01) cm;体质量(62.00 ± 9.56) kg。其中临床症状表现为所有患者均有不同程度的呼吸困难,另外胸痛、咯血也为常见症状,少数患者有发热、咳嗽、晕厥表现,血中 D 二聚体检查均明显升高。排除标准为明显心肾功能异常、碘过敏史及妊娠妇女。

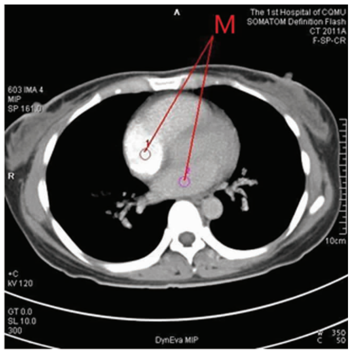
1.2 检查方法

1.2.1 检查前准备 检查前应充分进行沟通,并签署知情与用药同意书。去除患者胸前金属异物。同时对患者进行吸气与屏气训练,常规为平静呼吸下屏气,并注意吸气深度一致,以免造成吸气过多,影响图像的完整性。

1.2.2 使用设备及药品 采用德国西门子公司第二代双源炫速 CT(SOMATOM Definition DECT)机,MEDRAD STELLANT 高压双筒注射器。碘迈伦 400 mgI/ml 非离子型对比剂和生理盐水。

1.2.3 扫描方案 患者体位:采取仰卧位足先进方式,身体置于床面中间,双手上举抱头。扫描方向:从足至头。扫描范围:肺底至肺尖,包括整个肺野。对照组:模式选择:选择单源常规螺旋扫描模式。采取自动毫安秒(Care Does4D)和自动管电压调制(Care kV)进行曝光,参考剂量设定为:180 mAs,100 kV。螺距:1.0。准直器宽度:(128 × 0.6) mm。扫描层厚:5 mm,层间隔:5 mm。重建层厚 1 mm,层间隔 0.5 mm。注射方案:肘静脉内团注,速率为 4 ml/s,对比剂用量为 50 ml,对比剂注射完成后以相同速率注射 20 ml 生理盐水冲管,运用对比剂示踪术,监测层面选择在气管分叉下 1 cm,监测点放置在肺动脉主干,当阈值达到 60 Hu 时自动触发扫描,扫描延迟为 4 s。实验组:选择双源大螺距 Flash 扫描模式。采取自动毫安秒(Care Does4D)和自动管电压调制(Care kV)进行曝光,参考剂量设定为:180 mAs,100 kV。螺距:3.0。准直器宽度:128 × 0.6 mm。扫描层厚:5mm,层间隔:5 mm。重建层厚 1 mm,层间隔 0.5 mm。注射方案:作小剂量时间-密度曲线测试时,先以 4 ml/s 速率注射 4 ml 对比剂再以相同速率注射 16 ml 生理盐水冲管,运用小剂量时间-密度曲线测试法,测试位置选择在左右心房层面,注药后 3 s 开始监测,当左房达峰后,停止曝光。分别放置兴趣点(region of interest,ROI)于左右心房,测得各自达峰时间为 Tla,Tra(图 1、2)。计算肺动脉最佳显影时间 Tp=Tra+(Tla–Tra)/2,以 Tp+ 1s 作为扫描延迟时间。正式注射时,用相同速率注射 20 ml 对比剂,随后用 20 ml 生理盐水冲管。

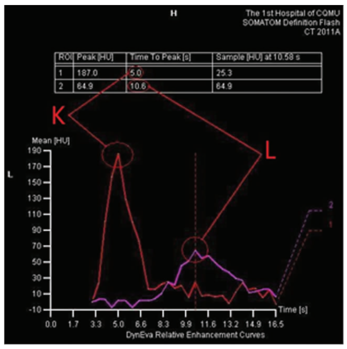
1.2.4 图像后处理 将原始数据传至西门子后处理工作站(syngo MultiModality Workplace,Software:syngoMMWP,Version:VE40A)进行图像后处理,后处理技术采用容积再现(volume rendering,VR),最大密度投影(maximum intensity projection,MIP),多平面重组(multi planar reconstruction,MPR)和曲面重建(curved planar reformation,CPR)。



M1(红色小圈)为右心房兴趣区位置,M2(粉色小圈)为左心房兴趣区位置

图 1 实验组小剂量时间 – 密度曲线测试技术,兴趣区的选择

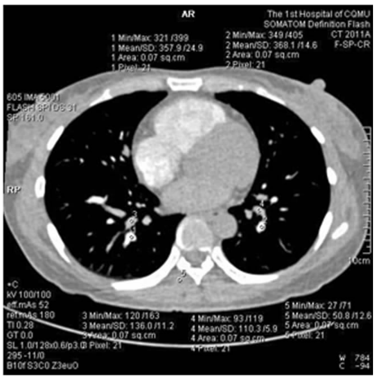
Fig.1 Region of interest selection of time-density curve in experimental group



K为右心房达峰时间 5.0 s 及峰值曲线,L 为左心房达峰时间 10.6 s 及峰值曲线。证明 4 ml 对比剂 1 s 内团注同样能够使左右心房产生峰值,保证了达峰时间的准确

图 2 左右心房兴趣区各自的达峰时间与峰值曲线图

Fig.2 Peak time and peak curve of the ROI of left atrium and right atrium



左右下肺动脉及相邻肺静脉 CT 值的测量，以及背景噪声测量的区域，ROI 为 0.05-1.00 cm²

图 3 图像质量客观评价

Fig.3 Objective evaluation of image quality

1.3 图像质量评价

1.3.1 主观评价 由 3 位经验丰富的影像医师在不知使用何种扫描方法的情况下，对图像质量进行评价。当意见不一致时，协商统一评分。图像评分标准：肺动脉未见明显强化记 1 分。肺动脉段及亚段稍有强化，相邻肺静脉强化明显记 2分。肺动脉段及亚段与相邻肺静脉同样强化记 3 分。肺动脉段及亚段明显强化，但相邻肺静脉未见强化记 4 分。肺动脉段及亚段明显强化且相邻肺静脉稍有强化记 5 分。

得分为 1、2 分的图像判定为达不到诊断要求，并将 3~5 分肺动脉充盈良好的图像进行进一步质量评价。评价标准：上腔静脉有过多对比剂残留并产生硬化伪影和/或呼吸、血管搏动产生较大的运动伪影影响到肺动脉的观察记 1 分。上腔静脉有对比剂残留但未产生硬化伪影和/或呼吸、血管搏动产生轻微的运动伪影但不影响肺动脉的观察记 2 分。上腔静脉有较少或无对比剂残留且未见明显呼吸、血管搏动产生的运动伪影记 3 分。

1.3.2 客观评价 分别测量 2 组图像的肺动脉干，双侧上、下肺动脉亚段 CT 值，ROI 为 0.05~1.00 cm²。比较 20 ml 对比剂与 50 ml 对比剂用量下，肺动脉的强化程度有无差异。

利用对比噪声比（contrast-to-noise rate，CNR）对 2 组图像质量进行评价，分别测量肺动脉干与升主动脉的 CT 值，测量肺动脉亚段与相邻肺静脉的 CT 值以及测量同一层面背部肌肉组织的噪声，ROI 为 0.05~1.00 cm²（图 3）。公式 CNR=|ROIa-ROIb|/SDc，ROIa 为所测量肺动脉的 CT 值，ROIb 为与 ROIa 相邻血管的 CT 值，SDc 为背景噪声，选取 ROIa 和 ROIb同一层面背部肌肉组织的噪声作为背景噪声，计算对比噪声比。

1.4 扫描时间、对比剂用量与辐射剂量评价

分别比较 2 组病例各自的扫描时间、对比剂用量与辐射剂量。扫描时间为 CT 机分别用常规单源与大螺距 Flash 模式扫描完整个胸部所给出的实际曝光时间，该时间也为患者有效屏气时间。对比剂用量为患者完成本次检查对比剂使用的总量。辐射剂量为患者完成本次检查 CT 机自动生成的剂量报告中总的辐射剂量（total dose-length-product，DLP）乘以权重因子所得出的有效辐射剂量（effective dose，ED）。公式 ED=DLP × k(mSv)，k 为胸部权重因子，k=0.014(mSv/mGy·cm)。

1.5 统计学方法

本组资料通过 SPSS 16.0 软件处理系统进行统计分析，计量资料以均数 ± 标准差（$\bar{x} \pm s$）表示，2 组间计量资料比较采用 t 检验，检验水准 α=0.05。

2 结 果

2.1 一般资料

本次研究中，共 60 例患者进行 CTPA 检查，2 组间性别（男 13 例，女 17 例 vs.男 18 例，女 12 例，P=0.752）、年龄[（56.30 ± 13.80）岁 vs.（58.50 ± 12.82）岁，P=0.605]、身高[（162.20 ± 8.87）cm vs.（164.90 ± 8.01）cm，P=0.319]、体质量[（63.90 ± 9.08）kg vs.（62.00 ± 9.56）kg，P=0.523]均无统计学差异。60 例患者中肺栓塞者 27 例，肺动脉扫描未见异常者 33 例，其中肺动脉主干部分栓塞 3 例，左肺动脉干栓塞 3 例，右肺动脉干栓塞 4 例，左右肺动脉主干以下分支栓塞者 17 例，肺动脉受累以双侧多见，左右无明显差别，下叶多于上叶，肺内合并症中，肺梗死灶形成 2 例，肺动脉高压 5 例，胸腔少量积液 4 例，胸膜增厚 3 例。2 种扫描方法均可确定肺动脉栓子的形态、大小、位置，明确肺栓塞的诊断。

2.2 扫描时间、辐射剂量与对比剂用量

2 组间扫描时间、辐射剂量与对比剂用量的对比见表 1。

表 1 2 组间扫描时间、辐射剂量与对比剂用量的对比

Tab.1 Comparison of the scanning time, radiation dose and contrast agents between the two groups

组别	扫描时间（s）	辐射剂量（mSv）	对比剂用量（ml）
对照组	4.71 ± 0.37	7.30 ± 2.73	50
实验组	0.94 ± 0.07	5.27 ± 1.94	24
t 值	44.623	2.706	–
P 值	0.000	0.011	–

2.3 图像质量

3 位放射科医师在不知使用何种扫描方法的情况下对 2 组图像进行评分结果如下（表 2、3）。

表 2 2 组图像质量主观评分结果的比较

Tab.2 Comparison of the scores of image quality between the two groups

组别	1分	2分	3分	4分	5分
对照组（%）	0	1（3.3%）	20（66.7%）	3（10%）	6（20%）
实验组（%）	0	1（3.3%）	2（6.7%）	6（20%）	21（70%）

表 3 2 组图像质量进一步评分结果的比较

Tab.3 Comparison of further scores of image quality between the two groups

组别	1分	2分	3分
对照组（%）	17（58.6%）	9（31.0%）	3（10.4%）
实验组（%）	7（24.1%）	14（48.3%）	8（27.6%）

表 4　2 组间所测量血管的 CT 值和对比噪声比的比较

Tab.4　Comparison of the CT value and contrast to noise ratio（CNR）between the two groups

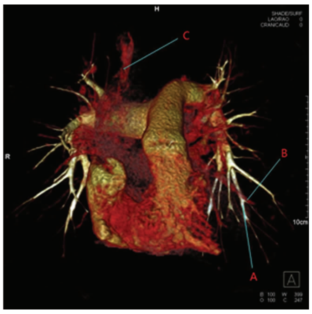
组别	肺动脉干 CT 值(HU)	左上肺动脉 CT 值(HU)	右上肺动脉 CT 值(HU)	左下肺动脉 CT 值(HU)	右下肺动脉 CT 值(HU)
对照组	349.50 ± 79.76	382.95 ± 70.25	392.70 ± 80.14	378.45 ± 53.90	369.20 ± 84.36
实验组	375.25 ± 95.88	382.55 ± 75.43	372.25 ± 62.24	388.60 ± 61.97	366.00 ± 77.36
t 值	−0.923	0.017	0.901	−0.553	0.125
P 值	0.362	0.986	0.373	0.584	0.901
组别	升主动脉 CT 值（HU）	左上肺静脉 CT 值（HU）	右上肺静脉 CT 值（HU）	左下肺静脉 CT 值（HU）	右下肺静脉 CT 值（HU）
对照组	264.70 ± 105.72	308.50 ± 133.73	326.90 ± 136.10	263.35 ± 144.30	295.95 ± 117.53
实验组	122.55 ± 66.58	177.55 ± 74.90	159.90 ± 72.44	168.45 ± 68.52	154.55 ± 73.73
t 值	5.088	3.821	4.844	3.185	4.558
P 值	0.000	0.001	0.000	0.003	0.000
组别	肺动脉干 CNR 值	左上肺动脉 CNR 值	右上肺动脉 CNR 值	左下肺动脉 CNR 值	右下肺动脉 CNR 值
对照组	7.52 ± 6.33	6.26 ± 4.12	5.53 ± 4.97	6.46 ± 4.67	5.66 ± 4.33
实验组	11.91 ± 5.82	9.75 ± 5.53	11.58 ± 5.82	11.46 ± 7.05	9.24 ± 4.97
t 值	−2.278	−2.265	−3.530	−2.646	−2.432
P 值	0.028	0.030	0.001	0.012	0.020

2组图像质量客观评价的比较：对照组与实验组相比，肺动脉干、左右上肺动脉、左右下肺动脉 CT 值均无明显差异；同时实验组左右上肺静脉、左右下肺静脉 CT 值均低于对照组，差异有统计学意义。对比噪声比方面，实验组对比噪声比高于对照组，且有统计学意义（表 4）。

2 组患者均有 1 例扫描失败，余病例肺动脉各节段均能良好显示，图像质量可满足诊断要求，但实验组肺静脉增强显著低于肺动脉，上腔静脉对比剂的浓度也不高，并且最大限度减少心脏、大血管搏动以及呼吸所产生的运动伪影，图像质量高于对照组且放宽了受检者的屏气要求（图 4~6）。

2.4　实验组 30 例患者的扫描延迟时间

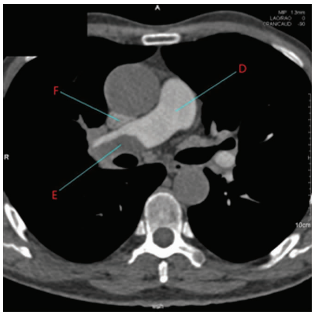
本次研究中，实验组 30 例患者中成功完成 CTPA 检查的为 29 例，1 例因扫描延迟时间错误导致失败。小剂量时间–密度测试出右房峰值时间最快为 4 s，最慢为 7.4 s，平均时间为（5.30 ± 0.91）s。肺循环最快为 2.5 s，最慢为 8.2 s，平均时间为（5.64 ± 1.27）s。由此可算出延迟时间最长为 11.1 s，最短为 6.35 s，平均时间为（9.13 ± 1.11）s（图 10）。



A为肺动脉，B 为相邻肺静脉，两者之间 CT 值相差较大，区分明显。C 为未经过处理修剪的上腔静脉 VR 影像

图 4　实验组肺动脉正前位 VR 图像

Fig.4　Anteroposterior VR image of the pulmonary artery in experiment group



图中 D 为肺动脉干，未见明显大血管搏动伪影。E 为右肺动脉干栓子，两者之间差异较大，形成良好对比的充盈缺损 CT 征象。F 为上腔静脉，对比剂残留较少，无硬化伪影形成，图像质量较图 7~9 好

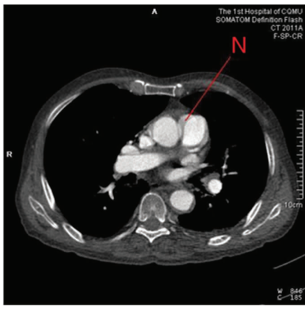
图 5　实验组肺动脉轴位图像

Fig.5　Axial image of the pulmonary artery in experiment group

图中 G 为肺动脉远端细小栓子，20 ml 对比剂同样能使肺动脉远端显影良好。对照组虽然图像质量多数情况下也可满足诊断的需要，但扫描时间长，血管搏动产生的运动伪影及呼吸伪影均无法避免（图 7、8），对于配合不佳的急诊患者来说图像质量更加降低，增加了诊断的难度

图 6　实验组肺动脉 CPR 图像

Fig.6　CPR image of the pulmonary artery in experiment group



N为大血管搏动所产生的伪影

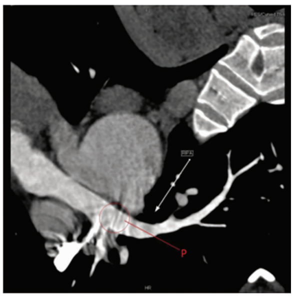
图 7　对照组肺动脉轴位图像

Fig.7　Axial image of the pulmonary artery in control group

O为屏气不佳产生的呼吸伪影

图 8　为对照组肺动脉薄层 MIP 图像

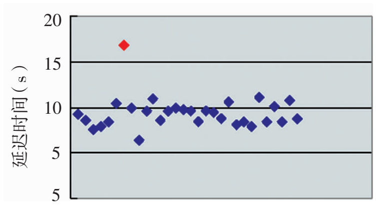
Fig.8　Thin layer MIP image of the pulmonary artery in control group



P为上腔静脉过多对比剂残留产生的硬化伪影

图 9　为对照组肺动脉 CPR 图像

Fig.9　CPR image of the pulmonary artery in control group



图中蓝色方格为 29 例患者成功完成 CTPA 检查的延迟时间，红色方格为失败病例延迟时间

图 10　30 例患者延迟时间分布图

Fig.10　Distribution of delaying time of the 30 patients

3　讨　论

在临床工作中，CTPA 检查要获得满意的血管三维图像，准确的扫描延迟时间是关键因素[3-4]。扫描过早，肺动脉密度较低，栓子不易被显示，导致漏诊。扫描过晚，全心系统以及肺静脉显影的干扰，导致肺动静脉不易区分，小的栓子被掩盖，可引发误诊。固定时间扫描方法简单易行，但忽略了个体差异的存在，已被淘汰。本研究对单源常规模式扫描，对比剂示踪技术及双源大螺距 Flash 模式扫描，时间-密度曲线测试技术两种方法进行了对比研究，从而找出一种成功率高，能更好地保证肺动脉显影清晰、周围血管干扰较小且辐射剂量低、对比剂用量少的扫描方法。

大螺距 Flash 模式为双源 CT 特有的扫描模式，双球管、双探测器的同时使用大大缩短了扫描时间，而极短的扫描时间为小剂量对比剂 CTPA 检查提供了可能，一般体形患者的肺部扫描时间为 1 s 左右，按注射流速 5 ml/s 计算，20 ml 对比剂完全可满足肺动脉增强要求[5]。本研究中实验组仅使用了 24 ml 对比剂（4 ml 为小剂量测试时使用，余 20ml 为正式扫描时使用），与对照组（50 ml 对比剂）相比肺动脉干、左右上肺动脉、左右下肺动脉 CT 值均无明显统计学差异。但计算较为困难的是对比剂从注射部位随血流到达右心与肺循环的时间，且个体差异较大。因而在实验组设计了小剂量对比剂测试试验注射，利用时间-密度曲线测试法能够大致得出对比剂由右心至左心所需的肺循环时间（Tla-Tra），用该时间除以 2 再加上右房峰值时间则可算出肺动脉显影最佳时间（Tra+（Tla-Tra）/2），在实际工作中，正式扫描时对比剂用量相对较多导致峰值延后，为了使肺动脉及远端充分显影，加上 1s 经验值作为延迟时间。采用此种方法扫描的 30 例患者，29 例获得满意图像，肺动脉显影清晰、肺静脉显影弱，能满足诊断要求。这种方法克服了固定时间扫描方法中因个体差异造成的影响，且扫描时间、辐射剂量及对比剂用量均低于对照组。如今 CTPA 检查已广泛应用于临床，参照国际防护委员会提出的“合理使用低剂量（as low as reasonably achievable，ALARA）”原则和欧洲泌尿生殖放射学会的“对比剂指南”，患者所受的辐射剂量以及对比剂带来的副作用仍是临床关注的重点。大螺距 Flash 模式仅在 1s 左右就能完成对患者的整个胸部扫描，极大的缩短了扫描时间，有效减少了对比剂的用量，从而使患者所受的辐射剂量和对比剂带来的肾脏损伤降低到最小，减少了过敏反应和对比剂肾病（contrast induced nephropathy，CIN）发生的可能性，Bauer 等的研究[6]也证明了这点。

理想的 CTPA 影像，不但肺动脉的各级分支应有很好的对比剂充盈，而且肺静脉的增强应低于肺动脉，以利于肺动静脉的影像区分，而如果肺动脉显影、肺静脉不显影则无法证明肺动脉及远端已充分显影。同时右心房与上腔静脉内的对比剂浓度也不应过高，以免形成硬化伪影影响肺动脉分支的观察（图 4-6）。临床工作中遇到更多的是肺动静脉同时显影的病例，给肺动脉病变的诊断造成了一定的干扰。CTPA 检查成功的关键在于扫描时靶血管内对比剂浓度处于高峰期[7]。实验组小剂量时间-密度曲线测试能够在 1 s 内完成对比剂的注射，使血管

里对比剂浓度达到最高，即使右房射血分数不好的患者，同样能够使左房产生峰值，保证了达峰时间的准确性。而对照组因扫描速度较慢，需要更多的对比剂支持，且用固定阈值触发扫描，对于循环较快的患者，肺静脉可能会充分显影，而对于循环较慢的患者，肺动脉远端可能会显影不全。在 CTPA 检查中，上腔静脉残留的高浓度对比剂所产生的硬化伪影往往会影响肺动脉的观察[8]。对照组采用 50 ml 对比剂，以 4 ml/s 速率注射，需 13 s 才能注射完毕，因此启动扫描时仍有大量对比剂残留在上腔静脉内。而在实验组中 20 ml 对比剂以相同速率注射，5 s 就能完成，有较多的时间来冲管，使得上腔静脉不会有过多的对比剂残留(图 5)。对照组由于注射时间长，较难形成肺动脉与肺静脉间的密度对比，本实验结果显示：实验组左上肺动脉、右上肺动脉、左下肺动脉及右下肺动脉的对比噪声比均高于对照组，且实验组左右上肺静脉、左右下肺静脉 CT 值均低于对照组，差异有统计学意义，进一步证实了双源大螺距 Flash 模式扫描，时间–密度曲线测试技术更加利于肺动静脉影像的区分。而且张燕等证实[9]，由于扫描时间长，上肺与下肺动脉的对比剂浓度有差别，影响开始扫描部分肺动脉的观察，对 3~4 级肺动脉分支内栓塞检出的敏感性较低。该研究采用图像质量评分作为主观评价标准，实验组评分高于对照组，相对于单源常规模式下对比剂示踪技术，双源大螺距 Flash 模式下时间–密度曲线测试技术可以得到更加理想的 CTPA 影像。由于 50 ml 对比剂用量较大，在启动扫描时没有足够的时间冲管，导致上腔静脉有过多的对比剂残留，从而产生的硬化伪影(P)，影响到对肺动脉的观察。

本次实验中，2 组均有 1 例扫描图像达不到诊断要求。经分析，对照组失败原因：对比剂示踪扫描时，由于呼吸幅度较大、心脏及大血管搏动导致监测区域偏离出肺动脉干，阈值虽已达到，但未能成功自动触发扫描。最后启动扫描时，时相已过，肺动脉 CT 值密度较低，而肺静脉及左心系统充分显影。然而实验组采用时间–密度曲线测试，可准确算出延迟时间，CT 机会在预先设定的延迟时间后自动启动扫描，而不会发生误触发导致扫描失败，个性化扫描较对照组强。实验中发现在使用对比剂示踪扫描时，监测区域应尽量放在肺动脉干中心，监测面积不宜过大或过小，为肺动脉干的 1/4–1/3 为佳。启动模式改用手动触发可避免心脏搏动和呼吸动度较大导致的延迟触发，也可避免上腔静脉对比剂浓度较高产生的硬化伪影提早触发。同时可观察峰值曲线的变化和对比剂剩余量等情况，超过设定阈值后选择恰当的时机启动扫描，从而可提高图像质量。实验组失败原因：用小剂量时间–密度曲线测试时，由于监测层面选择不佳，心脏搏动导致层面偏离左、右房，使测得的峰值时间不准确，延迟时间过长导致扫描失败。研究发现由于心脏搏动无法避免，应尽量选择两心房的中心靠上层面监测。本研究中，用小剂量时间–密度测试出延迟时间平均为(9.15 ± 1.09) s，如果最后算出的延迟时间与该值偏离太远，则提醒操作者层面选择或兴趣区是否有偏差使得延迟时间不准确(图 10)。

在实验组中，监测层面选择在左右心房，忽略了对比剂流经右室的时间，原因在于该时间极短，而能够同时观察左房右室情况的层面难以选择，且右室血池容量较大，4 ml 对比剂难以充填整个心腔，无法测得峰值时间。由于忽略了对比剂流经右室的时间，使得肺动脉最佳显影时间存在一定的偏差，需要进一步优化监测层面与兴趣区的选择来减小误差。

综上所述，双源大螺距 Flash 模式扫描、时间–密度曲线测试技术不但实现了较低的对比剂剂量及低辐射剂量，还可以得到较佳的肺动脉影像，值得临床推广和应用。但本研究中肺动脉显影最佳时间的计算方法没有考虑病理状态下整个肺循环血流动力学的改变，而肺栓塞的病人常合并肺动脉高压，此类患者肺动脉循环的时间可能并非为肺循环时间的一半，需要不断的临床实践来完善。

参 考 文 献

[1] Estrada–Y–Martin RM，Oldham SA.CTPA as the gold standard for the diagnosis of pulmonary embolism[J].Int J Comput Assist Radiol Surg，2011，6(4)：557–563.

[2] Klok FA，Mos IC，Kroft LJ，et al.Computed tomography pulmonary angiography as a single imaging test to rule out pulmonary embolism[J]. Curr Opin Pulm Med，2011，17(5)：380–386.

[3] 秦海燕，申宝忠，王　丹.64 层螺旋 CTPA 对肺动脉栓塞的诊断价值[J].中国医学影像技术，2008，24(1)：144–145.

[4] 毛家仁，唐晓军，谭仲俊，等.多层螺旋 CT 血管造影在肺部疾病介入治疗中的应用价值[J].中国介入影像与治疗学，2008，5(1)：42–44.

[5] 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.

[6] Bauer RW，Schell B，Beeres M，et al.High–pitch dual–source computed tomography pulmonary angiography in freely breathing patients [J].J Thorac Imaging，2012，27(6)：376–381.

[7] 唐晓军，刘佳鹏，谭仲俊.CT 血管三维成像对上腹部肿瘤介入治疗的指导价值[J].介入放射学杂志，2007，16(6)：375–377.

[8] 蔡　欣，邓　宇.多层螺旋 CT 在肺栓塞诊断中的应用[J].中国医学影像技术，2005，21(4)：562–564.

[9] 张　燕，金征宇，张竹花，等.多层螺旋 CT 对周围肺动脉显示能力的研究[J].临床放射学杂志，2005，24(10)：38–43.

（责任编辑：唐宗顺）