

心胸 CT 血管成像

DOI: 10.13406/j.cnki.cyx.002126

使用宽体探测器捕捉肺动静脉成像最佳时间的可行性研究

刘元芬, 薛蕴菁, 王莉莉, 陈光亮, 陈依林, 陈旭辉, 徐 雪, 段 青

(福建医科大学附属协和医院影像科, 福州 350001)

【摘要】目的:通过对比运用灌注的多期相 CTA 扫描和常规单期相 CTA 的图像质量和辐射剂量,探讨使用宽体探测器采用灌注的扫描方式捕捉肺动脉和肺静脉成像的最佳时间的应用价值。**方法:**对 108 例因磨玻璃样影(ground-glass opacity, GGO)拟行右上肺段切除术的患者行肺部增强检查。运用 Revolution CT,将患者分为 2 组:A 组,灌注方式扫描组,54 例;B 组,增强跟踪自动触发扫描组,54 例。A 组扫描方式为采用灌注方式扫描,患者行多模式 CT 检查,包括肺部 CT 平扫、CT 灌注(CT perfusion, CTP)。造影剂推注后,对感兴趣区 160 mm 层面内进行 CT 轴位扫描,扫描时相间隔为 2 s,直到肺静脉期结束则停止扫描。B 组扫描方式为采用常规增强跟踪自动触发方式。所有病例在肺动脉期和肺静脉期扫描图像中统一选取肺动脉主干、右肺动脉、右肺上叶动脉、右上肺尖段动脉和主动脉及其伴行静脉作为测量对象,测量其 CT 值和噪声(standard deviation, SD)值且计算 4 组 CT 值差,并用积分法评价 5、6 级肺动脉和肺静脉的显示情况。**结果:**除了 3 级($P=0.010$)和 4 级($P=0.003$)的 CTPA 肺动脉 CT 值存在统计学差异,其他 2 组 1~4 级肺动脉和肺静脉 CT 值差异均没有明显统计学意义($P>0.05$)。在 CTPA 中动脉及伴行静脉的 CT 值差,以及 CTPV 中肺静脉与伴行动脉的 CT 值差中, A 组在 CTPA 和 CTPV 中的差值明显高于 B 组,均 $P<0.05$ 。运用积分法来分析 5、6 级肺动脉及伴行肺静脉的显示情况,结果显示 2 组患者的肺动脉显示上均为 3 分,而 2 组在肺静脉细小分支上的显示存在统计学差异, A 组 3.00(3.00, 3.00), B 组 2.00 (1.75, 3.00)($Z=2.814$, $P=0.005$)。同时 2 组患者的肺动脉主干的 SD 值为 28.45 ± 3.47 和 29.47 ± 3.80 ($t=0.627$, $P=0.539$),在 CTPV 时候右上肺静脉的 SD 值为 27.27 ± 7.56 和 27.76 ± 6.44 ($t=0.156$, $P=0.878$),差异均没有统计学意义。**结论:**使用宽体探测器采用类似灌注的方式既能满足对肺动静脉 CT 值的要求,又能有效分离肺动静脉,对于临床开展 GGO 的胸腔镜肺段切除手术有明显帮助,值得临床推广。

【关键词】肺动脉;肺静脉;磨玻璃样影;灌注;宽体探测器**【中图分类号】**R81**【文献标志码】**A**【收稿日期】**2018-10-26

Optimal time for pulmonary arterial and venous imaging by a wide-area detector: a feasibility study

Liu Yuanfen, Xue Yunjing, Wang Lili, Chen Guangliang, Chen Yilin, Chen Xuhui, Xu Xue, Duan Qing

(Imaging Department, Fujian Medical University Union Hospital)

【Abstract】Objective: To explore the practical value of the optimal time for pulmonary arterial and venous imaging by a wide-area detector using perfusion scanning mode by comparing the image quality and radiation dose of multi-phase computed tomography angiography (CTA) and conventional single-phase CTA. **Methods:** Contrast-enhanced computed tomography (CT) of the lung was performed in 108 patients scheduled for right upper lung lobe resection due to ground-glass opacity (GGO). According to the examination results of the Revolution CT, the patients were divided into 2 groups (54 cases in each group): group A (using perfusion scanning) and group B (using automatic bolus tracking triggered by contrast enhancement). Patients in group A underwent multi-mode CT examination using perfusion scanning, including plain CT scan and CT perfusion (CTP) of the lung. After contrast agent injection, axial CT scan was performed on the 160 mm layer in a region of interest with a phase interval of 2 seconds until the end of pulmonary venous phase. Patients in group B underwent conventional CT using automatic bolus tracking triggered by contrast enhancement. The pulmonary trunk, right pulmonary artery, right upper lobe pulmonary artery, right apical pulmonary artery, aorta, and their accompanying veins were selected to be measured on the scanning images taken during the pulmonary arterial and venous phases for all the patients; the CT values and noise standard deviation (SD) were obtained from the measurement, and the differences in CT values between the four groups were calculated; meanwhile, an integral method was used for evaluation of visualization of grade 5 or 6

pulmonary arteries and veins. **Results:** There were no significant differences between the two groups in the CT values of grade 1-4 pulmonary arteries and veins, except grade 3 and 4 pulmonary arteries ($P=0.010$ and 0.003), on computed tomography pulmonary angiography (CTPA) ($P>0.05$). Compared with group B, group A had significantly larger CT value differences between

作者介绍: 刘元芬, Email: 15692054@qq.com,

研究方向: CT 影像技术。

通信作者: 薛蕴菁, Email: xueyunjing@126.com。

基金项目: 福建省卫计委青年资助项目 (编号: 2017-1-42)。

优先出版: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1046.R.20190510.1440.016.html>

(2019-05-13)

pulmonary arteries and their accompanying veins on CTPA and between pulmonary veins and their accompanying arteries on computed tomography pulmonary venography (CTPV) (all $P < 0.05$). In the evaluation of visualization of grade 5 or 6 pulmonary arteries and their accompanying veins by the integral method, the results showed that both groups had a score of 3 in the visualization of pulmonary arteries, but had significantly different scores in the visualization of small pulmonary venous branches (group A: $3.00[3.00, 3.00]$, group B: $2.00[1.75, 3.00]$, $Z=2.814$, $P=0.005$). Meanwhile, there were no significant differences between the two groups in the SD values of pulmonary trunk (group A: 28.45 ± 3.47 , group B: 29.47 ± 3.80 , $t=0.627$, $P=0.539$) or right upper pulmonary vein (group A: 27.27 ± 7.56 , group B: 27.76 ± 6.44 , $t=0.156$, $P=0.878$). **Conclusion:** The perfusion-like method used by a wide-area detector can not only meet the requirements for CT values of the pulmonary arteries and veins, but it can also effectively separate the pulmonary arteries from the veins, which is especially helpful for thoracoscopic pulmonary segmental resection due to GGO in clinical practice; therefore, it holds promise for clinical application.

【Key words】pulmonary artery; pulmonary vein; ground-glass opacity; perfusion; wide-area detector

近年来,表现为局灶性磨玻璃样影(ground-glass opacity, GGO)的早期肺癌发病率迅速升高,预计病灶为原位腺癌、微浸润腺癌或最大径小于 2 cm 的纯 GGO 可考虑亚肺叶切除^[1-2]。肺段支气管、血管的解剖变异繁多^[3],术前三维 CT 血管成像可以显示肺段的解剖结构以及肺段血管的变异,明确肺段结节的肺段归属,有助于制定手术计划^[4]。肺动脉和肺静脉的成像情况,关系到术前 CT 血管成像后处理时,肺动脉和肺静脉的分离和识别。本文采用宽体探测器,运用类似灌注的扫描方式与以往智能跟踪自动触发的方式来比较分析肺动脉和肺静脉在肺动脉期和肺静脉期的显示的异同点。

1 材料和方法

1.1 一般资料

2017 年 2 月至 2017 年 9 月对 108 例因 GGO 拟行右上肺段切除术的患者,通过其他术前检查排除合并其他肺部疾病的病例(均经过伦理委员会审核批准以及签署患者知情同意书)进行术前肺部增强检查。按 2 组男女人数均等将患者分为:A 组,灌注方式扫描组;B 组,增强跟踪自动触发扫描组。

1.2 检查方法及扫描参数

采用 GE 公司 Revolution CT 进行检查,患者均自然仰卧位,双手抱头,深吸气后屏气,增强后使用高压注射器经肘正中静脉注射 50 mL 碘佛醇(320 mgI/mL,江苏恒瑞制药公司生产),再注射 30 mL 生理盐水,注射流率为 5 mL/s。A 组扫描方式(与胸外科商讨所得)为采用灌注方式扫描,患者行多模式 CT 检查,包括肺部 CT 平扫、CTP。CTP 在 CT 平扫的基础上,选取包含右上肺 GGO 病灶和右上肺动脉主干的层面为扫描范围进行检查。扫描条件:80 kV, 100~400 mA,噪声指数(NI)为 15,扫描层厚 0.625 mm,层间隔 0.625 mm,重建层厚 1 mm,层间隔 1 mm,灌注扫描具体时间和期相扫描方式为宽体探测器 Axial 扫描模式,旋转时间 0.5 s,探测器宽

度 160 mm,Asir-V 为 60%。造影剂推注 8 s 开始,对感兴趣区 160 mm 范围的层面内进行连续 CT 轴位扫描,扫描时时间间隔为 2 s,直到肺静脉期结束则停止扫描。B 组扫描方式(常规胸外科肺部增强要求)为采用增强跟踪自动触发方式,测试区域设定于肺动脉主干,KV assist, 100~400 mA,NI 为 10,螺距 0.992。扫描方式为螺旋 CT 扫描模式,旋转时间 0.35 s,探测器宽度为 80 mm,Asir-V 为 60%。注射对比剂 2 s 后测试开始启动,当肺动脉主干的 CT 值达到 250HU 时机器开始启动扫描,本机默认最短启动到开始扫描时间为 1.7 s,对患者进行头足方向采集,获得肺动脉增强扫描图像。延迟 4.4 s 后,对患者进行再次图像采集,获得肺静脉增强扫描图像。

A、B 两组全部患者数据经 ADW4.6 工作站由高年资放射技师做影像后处理,包括最大密度投影(maximum intensity projection, MIP)、多平面重组(multiplane reorganization, MPR)显示病灶位置及容积再现(volume reproduction, VR)三维显示肺动脉和肺静脉与结节的关系。

1.3 测量数据及统计方法

所有病例在肺动脉期(肺动脉 CT 值最高的期相)和肺静脉期(肺静脉 CT 值较高且肺动静脉 CT 差值最大的期相)两期扫描图像中均于肺动脉 1~4 级分支(肺动脉与相应的肺段支气管伴行,分别分布于各同名肺段,分级也同肺段分级)^[5]其伴行肺静脉中选取感兴趣区并测量其 CT 值,该组病例统一选取肺动脉主干、右肺动脉、右肺上叶动脉、右上肺尖段动脉和主动脉及其伴行静脉作为测量对象且分别计算 4 组 CT 值差,同时测量在 CTPA 时候肺动脉主干的 SD 值和 CTPV 时候右上肺静脉的 SD 值。

5、6 级肺动脉及伴行肺静脉的显示情况同样选取右上肺尖段分别采用积分法进行分析。按可见和不可见来记分,2 支可见记 3 分,1 支可见记 2 分,2 支均不可见记 1 分(如 5 级已为 1 分,其下 6 级均各记 1 分),以此评测两组病例右上肺尖段的分数。由 2 位高年资放射医师在不知分组情况下采用逐层跟踪法共同进行评测。

辐射剂量:剂量长度乘积(dose length product, DLP)由计算机自动得出。有效辐射剂量(effective dose, ED)根据公式计算, $ED=K \times DLP$,其中 K 为转换因子,采用欧洲 CT 质量标准指南提出的胸部平均值为 0.014 mSv/(mGy·cm)。

统计学分析:首先对数据进行正态性检验,采用 Kolmogorov-Smirnov 检验方法。符合正态分布的数据采用 t 检验进行差异性分析,不符合正态分布的数据采用秩和检验进行差异性分析。两位放射医师诊断的一致性分析采用 Kappa 检验。统计软件采用 SPSS 18.0,检验水准 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

2.1 A 和 B 组被检者一般资料比较

2 组一般资料比较,差异没有统计学意义。A 组 54 例患者,年龄范围为 31~68 岁,平均年龄(58.7 ± 12.8)岁,BMI 为(24.4 ± 2.4) kg/m^2 。B 组 54 例患者,年龄范围为 26~73 岁,平均年龄(56.5 ± 13.1)岁,BMI 为(24.2 ± 2.5) kg/m^2 ($t_{\text{年龄}}=0.89$, $P_{\text{年龄}}=0.56$; $t_{\text{BMI}}=0.08$, $P_{\text{BMI}}=0.94$)。

2.2 A 和 B 组 CT 值的比较

2 组 1~4 级肺动脉和肺静脉(样本数均为 54 例)大部分显示良好,除了 3 级和 4 级的 CTPA 肺动脉 CT 值 $P<0.05$,差异具有统计学意义,其他 CTPA 肺动脉及 CTPV 肺静脉 CT 值均没有明显统计学差异。见表 1。

2.3 A 和 B 组 CT 值差的比较

在 CTPA 中肺动脉主干与升主动脉的 CT 差值、右肺动脉、右肺上叶动脉、右上肺尖段动脉与其伴行静脉的 CT 值差,以及 CTPV 中以上血管的肺静脉与肺动脉的 CT 值差(表 2)。A 组在 CTPA 和 CTPV 中的差值明显高于 B 组(均 $P<0.05$),差异有统计学意义。

2.4 A 和 B 组有效辐射剂量的比较

A 组患者的有效辐射剂量(effective dose, ED)为(2.28 ± 0.63) $\text{mSv}^2/(\text{mGy} \cdot \text{cm})$,B 组为(1.99 ± 0.57) $\text{mSv}^2/(\text{mGy} \cdot \text{cm})$ ($t=1.48$, $P=0.299$),2 组患者的 ED 值没有统计学差异。

2.5 运用积分法对 5 级和 6 级肺血管显示情况的比较

由 2 位高年资放射医师在不知分组情况下采用逐层跟踪法共同进行评测,2 名诊断医师图像质量评估的一致性采

用 Kappa 检验, $\kappa=0.823$, $P=0.00$ 。运用积分法来分析 5、6 级肺动脉及伴行肺静脉的显示情况,结果显示 2 组患者的肺动脉显示均为 3 分,而肺静脉的显示上,A 组 3.00 (3.00, 3.00), B 组 2.00 (1.75, 3.00),数据不符合正态分布,采用秩和检验,2 组在肺静脉细小分支上的差异存在统计学意义($Z=2.814$, $P=0.005$)(图 1)。

2.6 A 和 B 组 SD 值的比较

A 组和 B 组在 CTPA 时候肺动脉主干的 SD 值为 28.45 ± 3.47 和 29.47 ± 3.80 ($t=0.627$, $P=0.539$),在 CTPV 时候右上肺静脉的 SD 值为 27.27 ± 7.56 和 27.76 ± 6.44 ($t=0.156$, $P=0.878$),均没有统计学差异。

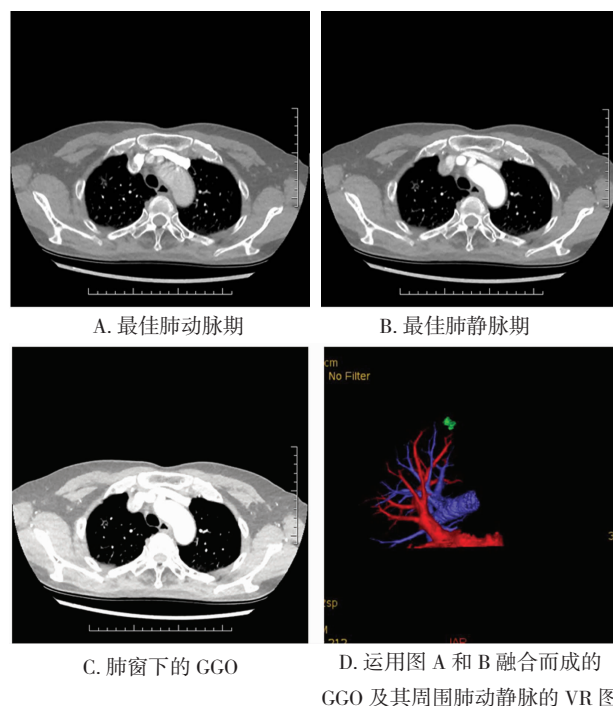


图 1 拟行 GGO 肺段切除术患者运用类似灌注扫描得到的示例图

表 1 CTPA 肺动脉及 CTPV 肺静脉 CT 值

分级	CTPA肺动脉 CT 值 (HU)		t 值	P 值	CTPV肺静脉 CT 值 (HU)		t 值	P 值
	A 组	B 组			A 组	B 组		
1级	425.14 ± 90.05	462.56 ± 96.72	0.89	0.382	326.11 ± 52.56	316.25 ± 118.65	0.24	0.813
2级	424.52 ± 96.09	483.46 ± 108.76	1.28	0.215	288.43 ± 43.39	291.94 ± 115.82	0.09	0.929
3级	357.93 ± 96.99	480.58 ± 97.81	2.88	0.010	288.69 ± 50.34	291.36 ± 111.23	0.06	0.946
4级	296.50 ± 109.88	443.83 ± 79.40	3.43	0.003	256.44 ± 39.03	282.96 ± 99.78	0.78	0.444

表 2 CTPA 和 CTPV 中肺动脉与肺静脉的 CT 差值

分级	CTPA肺动静脉 CT 差值 (HU)		t 值	P 值	CTPV 肺静动脉 CT 差值 (HU)		t 值	P 值
	A 组	B 组			A 组	B 组		
1级	350.27 ± 73.67	141.24 ± 117.81	4.75	0.002	214.22 ± 51.97	127.45 ± 91.54	2.60	0.018
2级	356.92 ± 74.64	165.79 ± 118.39	4.31	0.004	356.92 ± 74.64	105.57 ± 90.49	1.94	0.048
3级	310.00 ± 104.47	168.04 ± 105.94	3.01	0.007	173.81 ± 56.76	110.11 ± 81.18	2.03	0.041
4级	229.71 ± 125.51	127.47 ± 75.57	2.20	0.041	154.70 ± 53.49	114.61 ± 77.41	1.34	0.047

3 讨论

磨玻璃样影 (ground-glass opacity, GGO) 是在胸部 CT 上表现为肺密度云雾样增高, 但不掩盖支气管和肺血管结构的磨玻璃样阴影。近年来, 表现为局灶性 GGO 的早期肺癌发病率迅速升高, 由于解剖较为复杂、变异多、辨认血管较为困难, 胸腔镜肺段切除术的技术较肺叶切除术更加精细复杂。术前肺部 CT 血管成像^[6]、三维重建将平面的图像整合成立体形式, 全面直观地显示肺小结节精确的空间位置, 了解肺血管的走行、分支和变异情况, 拟定手术切除范围。

优质的肺动脉期图像, 应该满足肺动脉明显增强而肺静脉增强不明显, 同时主动脉内无增强, 以利于区分肺动脉和肺静脉, 提高后处理肺结节和肺动静脉关系时候的效率和质量。同理, 优质的肺静脉期图像应该满足左房肺静脉明显增强而肺动脉对比剂已退出, 提高左房及肺静脉相关解剖结构的测量及后处理准确性。由于肺动脉循环很快, 循环时间仅 2~4 s, 可利用的增强时间窗非常窄, 且个体心功能有差异, 因此准确掌握肺动、静脉增强峰值时间非常关键。

GE 公司推出的新一代的 CT 设备 RevolutionCT 突破临床禁忌, 探测器宽达 16 cm^[7], 一次就可以完整覆盖整个心脏区域, 而且时间分辨率高达 29 ms。只要一次对比剂注射, 可以通过容积轴扫和非对称采样技术, 完成肺部 160 mm 的器官的解剖成像、4D 动态成像和动态灌注成像。运用肺部灌注的序列^[8], 可以利用灌注的时间分辨率, 通过数次轴扫捕捉到肺动、静脉的成像最佳时间。

本研究中, 2 组 1~4 级肺动脉和肺静脉大部分显示良好, 除了 3 级和 4 级的 CTPA 肺动脉 CT 值存在统计学差异, 其他 CTPA 肺动脉及 CTPV 肺静脉 CT 值均没有明显统计学差异, 说明 2 种方法在肺动静脉的显示上没有统计学差异。而在 CTPA 中肺动脉主干与升主动脉的 CT 差值、右肺动脉、右肺上叶动脉、右上肺尖段动脉与其伴行静脉的 CT 值差, 以及 CTPV 中以上血管的肺静脉与肺动脉的 CT 值差值上, A 组在 CTPA 和 CTPV 中的差值明显高于 B

组。说明 A 组对于肺动脉和肺静脉的区分显示好于 B 组。而且运用积分法来分析 5、6 级肺动脉及伴行肺静脉的显示 A 组在肺静脉细小分支上的显示上明显比 B 组清晰。说明运用灌注的序列来捕捉和分离肺动静脉和传统方法比, 有一定的可行性。2 组的 ED 值和 SD 值没有统计学差异, 说明这种方法可以克服传统灌注扫描带来的辐射剂量高和噪声大的缺点。

本研究的创新点在于运用 Revolution CT 在灌注扫描上的优势, 采用灌注的方式, 一次注射药物在与传统扫描同等剂量中捕捉到肺动脉和肺静脉的最佳时相和图像质量, 同时也存在由于轴位灌注扫描所带来的无法扫描整个肺部的缺点。另外由于入主的 GGO 病例均距离上腔静脉较远, 针对上腔静脉对比剂硬化伪影产生的影响暂不做考虑。总之, 使用宽体探测器采用类似灌注的方式既能满足对肺动静脉 CT 值的要求, 又能有效分离肺动静脉, 对于临床开展 GGO 的胸腔镜肺段切除手术有明显帮助, 值得临床推广。

参 考 文 献

- [1] 姜格宁, 谢冬. 表现为磨玻璃样影的早期肺癌[J]. 中华外科杂志, 2015, 10(53): 790-793.
- [2] Kato H, Oizumi H, Suzuki J, et al. Thoracoscopic anatomical lung segmentectomy using 3D computed tomography simulation without tumour markings for non-palpable and non-visualized small lung nodules[J]. Interact Cardiovasc Thorac Surg, 2017, 25(3): 434-441.
- [3] 吴卫兵, 唐立钧, 朱全, 等. 3D-CTA 重建肺血管、支气管在胸腔镜复杂肺段切除中的应用[J]. 中华胸心血管外科杂志, 2015, 31(11): 649-652.
- [4] 万维佳, 胡道予, 林晨, 等. 预注射双点监测法行肺动静脉 CT 血管成像的可行性研究[J]. 放射学实践, 2012, 27(9): 960-962.
- [5] 刘树伟, 王怀经. 肺内管道断层解剖学研究进展[J]. 中华解剖与临床杂志, 2005, 10(3): 244-245.
- [6] 谭群友, 赵绍宏, 王芳泽. 螺旋 CT 血管造影判断肺癌与中央肺动静脉的关系[J]. 中华放射学杂志, 2000, 34(11): 742-745.
- [7] 赵莹, 刘爱连, 刘静红, 等. 肾上腺腺瘤宽体探测器 CT 灌注成像特点[J]. 中国医学影像技术, 2017, 33(11): 1674-1679.
- [8] 吴苏蒙, 宋云龙, 王萍, 等. 宽体探测器 CT 双低剂量孤立性肺结节双灌注成像的应用[J]. 医学影像学杂志, 2018, 28(3): 409-412.

(责任编辑: 唐秋姗)