

心胸 CT 血管成像

DOI: 10.13406/j.cnki.cyx.002106

能谱 CT 在肺动脉、肺静脉与肺结节融合成像中的应用探讨

余 娜,傅浪舟,王玉柱,李 季,钟丽娟,周新杰,周代全

(重庆医科大学附属第三医院(捷尔医院)放射科,重庆 401120)

【摘要】目的:通过对比分析探讨 CT 能谱技术在肺动脉、肺静脉与肺结节融合成像中的临床价值。**方法:**本院 56 例直径小于 3 cm 的肺磨玻璃(ground glass nodule,GGN)结节术前肺血管与结节融合成像的患者,随机分为对照组和观察组,每组 28 例;对照组使用 CT 常规扫描,观察组使用 CT 能谱扫描及能谱后处理技术,对比分析 2 组血管成像图像质量的优劣,另外观察组内用能谱扫描的数据分别生成一组 60 keV 和 74 keV 的单能量数据,进行组内对比。**结果:**28 例 60 keV 单能量成像观察组肺动脉、肺静脉及肺结节全部清晰显示,利用融合成像技术能明确展示三者的关系。对照组有 7 例不能完全显示远端供血及回流血管与肺结节的联系,另外 21 例虽能显示三者关系,但远端血管结构显示清晰度均不及 60 keV 单能量成像观察组,通过 CT 值、信噪比的客观评价和主观评分,观察组 60 keV 和对照组比较,及观察组内的 60 keV 和 74 keV 比较,差异均具有统计学意义($P<0.05$)。**结论:**能谱 CT 60 keV 单能量成像在肺动脉、肺静脉与肺结节融合成像中效果优于常规 CT 扫描。

【关键词】肺动脉;肺静脉;肺结节;能谱 CT;融合成像

【中图分类号】R445.3

【文献标志码】A

【收稿日期】2018-10-30

Application of dual-energy CT in the fusion imaging of pulmonary artery, pulmonary vein, and pulmonary nodules

Yu Na, Fu Langzhou, Wang Yuzhu, Li Ji, Zhong Lijuan, Zhou Xinjie, Zhou Daiquan

(Department of Radiology, The Third Affiliated Hospital of Chongqing Medical University (Gener Hospital))

【Abstract】Objective: To evaluate the clinical value of dual-energy CT in the fusion imaging of pulmonary artery, pulmonary vein, and pulmonary nodules. **Methods:** A total of 56 patients with <3 cm-diameter ground glass nodules (GGNs) who underwent preoperative pulmonary vascular fusion imaging were randomly divided into control group ($n=28$) and observation group ($n=28$). Routine CT scan was performed in the control group, and dual-energy CT scan and post-spectral processing were performed in the observation group. The quality of vascular images was compared between the two groups. Monoenergy data at 60 keV and 74 keV were generated from the scan data of the observation group for intra-group comparison. **Results:** The pulmonary artery, pulmonary vein, and pulmonary nodules were clearly displayed using 60 keV single energy imaging in 28 patients of the observation group. The relationship among the pulmonary artery, pulmonary vein, and pulmonary nodule could be clearly demonstrated by fusion imaging. The relationship among distal blood supply, reflux blood vessels, and pulmonary nodules could not be completely displayed for 7 patients in the control group. Although this relationship was visible in the other 21 patients, the structure of distal vessels was not as clear as that in the 60 keV single energy imaging group. Subjective evaluation and objective scores of the CT value and signal-to-noise ratio were significantly different between the 60 keV group and the control group, and between the 60 keV and 74 keV imaging data in the observation group (all $P<0.05$). **Conclusion:** Dual-energy CT imaging at 60 keV monoenergy provides superior fusion of the pulmonary artery, pulmonary vein, and pulmonary nodules to conventional CT scan.

【Key words】 pulmonary artery; pulmonary vein; pulmonary nodules; dual-energy CT; fusion imaging

作者介绍:余 娜, Email: 332344736@qq.com,

研究方向:胸腹部 CT 成像技术。

通信作者:周代全, Email: zhoudq77@sina.com。

优先出版: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1046.R.20190506.0918.002.html>

(2019-05-07)

现代微创技术、精准外科手术方式可行胸腔镜下肺段及肺亚段楔形切除,这种微创手术用于早期肺癌可以达到与肺叶切除相同的治疗效果^[1],为患者保留更多的肺功能。而术前对于血管与结节相关结构的影像学显示是术中精准定位的保证,常规 CT 血管成像质量受很多因素影响,尤其是血管分支远端结构的显示有时难以满足临床要求;能谱 CT 单能量成像能提高对比剂注射后血管与周围组织的密度差,从而提升 CT 血管成像质量^[2-3]。本文旨在探讨如何利用能谱 CT 扫描及其三维后处理技术来提升肺动脉、肺静脉的显示效果,以及如何清晰展示两者与肺结节之间的关系,为术前精准定位提供更丰富的影像学信息。

1 资料与方法

1.1 一般资料

收集本院 2018 年 2 月至 9 月共 56 例肺内小结节患者,均为常规 CT 平扫发现的直径小于 3 cm 的肺磨玻璃(ground glass nodule, GGN)结节(其中 51 例为单发结节,5 例为 2 个结节),并且均需要做胸腔镜下肺段或肺亚段切除手术。其中男 26 例,女 30 例,年龄 31~69 岁,行 CT 检查前随机分组(第一例病人为观察组,第二例则为对照组,第三例为观察组,以此类推,交替分组)分为观察组和对照组各 28 例,患者一般状况较好,能配合屏气,无碘对比剂过敏史及检查禁忌证(哮喘、高血压、糖尿病、心肾功能不全等)。

1.2 方法

1.2.1 扫描参数 采用美国 GE Revolution CT,观察组:能谱模式(gemstone spectral imaging, GSI)80 kV/140 kV 快速自动切换,管电流 280 mA,迭代重建(adaptive statistical iterative reconstruction, ASIR)50%,探测器宽度 80 mm,螺距(pitch)1.531:1,转速 0.5 s,扫描层厚、间距 5 mm,重建 0.625 mm Data 数据传至 AW4.7 工作站。对照组:普通模式(Assist)80~120 kV、200~370 mA 自动管电压管电流,迭代重建(ASIR)50%,探测器宽度 80 mm,螺距(pitch)1.531:1,转速 0.5 s,扫描层厚、间距 5 mm,重建 0.625 mm 薄层数据传至 AW4.7 工作站。

1.2.2 检查方法 观察组和对照组对比剂使用方案一致,注射通道为右侧肘正中静脉。先行小剂量团注测试扫描:对比剂 15 mL(欧乃派克,350 mgI/mL),生理盐水 20 mL,注射流速 4.5 mL/s,注射扫描后在肺动脉右干起始部及左心房(或肺静脉右干起始部)同层面各放置一个 ROI,分析时间-密度曲线,选择一个满足肺动脉 CT 值尽量高且与肺静脉 CT 值差异在 200 HU 以上的时间点作为血管扫描采集点;血管成像扫描:对比剂 45 mL(欧乃派克,350 mgI/mL),生理盐水 30 mL,注射流速 4.5 mL/s,扫描触发时间依据时间-密度曲线计算结果,为 8~10 s,9 s 居多,扫描范围从肺尖到肺底完成整个肺

部的扫描,图像采集过程中让患者吸气后屏气。

1.2.3 图像后处理方法 对照组:将 0.625 mm 数据导入 AW4.7 工作站,进入 Reformat 软件,在磨玻璃结节侧用 Any Structure 长出肺动脉主干及其较大分支,然后用 Small Vessels 长出细小分支,再用 Small Vessels 的 Remove 去掉多余的组织及肺静脉,得到纯粹的肺动脉图像(因为动脉和静脉 CT 值有较大差异,VR 颜色深浅不一致,所以颜色更深的为肺动脉,稍浅淡的则为肺静脉),保存至 Save Recall 临时状态;用 Any Structure 长出所有肺动脉和肺静脉,并用软件 Advanced Processing 减去已保存为临时状态的肺动脉,得到纯粹的肺静脉,保存至 Save Recall 临时状态;用 Small Vessels 长出磨玻璃结节;将三者分别染成红、蓝、绿色,最后融合在一起,观察各组织结构之间的相关性。

观察组:有文献研究报道,能谱 CT 单能量 60~65 keV 为重建肺动脉图像的最佳单能量数据^[4],而 70~75 keV 单能量数据重建的肺动脉图像更接近于常规混合能量的图像质量^[5]。因此本研究结合日常工作体会选用 60 keV 和 74 keV 两组单能量数据做组内对照(因为最有说服力的对照就是同一个病人分别行 CT 常规混合能量检查和能谱单能量检查,以此来比较两者的优劣,但是让同一病人分别做 2 次检查不符合医学伦理学,所以本研究根据文献提示,70~75 keV 单能量数据的图像更接近常规混合能量的图像质量。结合日常工作,选择 74 keV 和观察组 60 keV 作组内对照,类似于同一个病人的常规 CT 和能谱 CT 之间的比较)。将能谱扫描的 0.625 mm Data 数据导入 AW4.7 工作站,用能谱工具 Monochromatic 生成 1 组 60 keV 的单能量数据,再用能谱工具 Material Suppressed 生成 1 组碘抑制图像数据(iodine suppressed),即虚拟平扫图像数据,将 2 组数据用 Add/Sub 软件相减(60 keV 的单能量图像-虚拟平扫图像)得到 1 组减影数据,利用减影图像中血管周围组织对肺血管干扰较小的优势,能更为快速地长出肺动脉、肺静脉及肺结节的高质量 VR 图像,长血管方法和对照组一样,分别染成红、蓝、绿色,最后用 Merge Views 工具融合在一起。②用能谱工具 Monochromatic 生成 1 组 74 keV 的单能量数据,进入 Reformat 软件,数据及血管后处理方法同 60 keV 组,观察各组织结构之间的相关性。

1.2.4 图像评价方法 观察组与对照组分别采用主观和客观方法进行评价。

主观评价:由 2 位高年资的诊断医师对图像质量进行主观评价,依据肺动脉和肺静脉充盈显示情况将图像质量分为 4 级^[4-6]。1 级(1 分):肺动脉主干、肺叶动脉及肺段动脉强化充盈良好,3 级以下肺动脉分支显示差,肺动脉与周围血管分界不清,特别是上腔静脉干扰严重,基本不能进行诊断和评价;2 级(2 分):4 级分支,亚段肺动脉强化充盈良好,与周围组织与血管对比尚可,血管显示尚可;3 级(3 分):5 级分支血管显示基本清晰,与周围血管及软组织对比较好,能满足诊断;4 级(4 分):6 级及以上血管分支显示清晰,强化充盈良好,与周围血管及软组织对比好,能满足诊断。

客观评价:同一层面肺动脉主干层面放置 ROI,ROI 面积均为 50 mm²。观察组同一病人的单能量 60 keV 组与 74 keV 组图像的 CT 值、噪声值(SD)、信噪比(SNR)比较。观察组单能量 60 keV 组与对照组常规 CT 图像的 CT 值、噪声值(SD)、信噪比(SNR)比较。

1.3 统计学处理

本研究收集数据均采用 SPSS 21.0 软件进行统计学分析,所有计数资料均采用均数 ± 标准差($\bar{x} \pm s$)表示。60 keV 组与混合能量组之间采用独立样本的 *t* 检验,60 keV 组与 74 keV 组之间采用配对 *t* 检验,评分采用独立样本 *t* 检验。检验水准 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

2.1 主观评价结果

由 2 位高级医师对 28 例对照组和 28 例观察组(包含 60 keV 和 70 keV 两组单能量)图像质量分别评分,分别计算分数均值并用统计学分析(表 1~3)能谱 CT 扫描及后处理图像对于肺动脉和肺静脉远端 5 级以上分支血管的显示能力明显优于普通 CT 血管成像(图 1~3);同一病人 60 keV 和 70 keV 两组单能量血管成像质量比较,单能量 60 keV 数据

血管后处理图像质量明显优于单能量 74 keV(图 4);单能量 60 keV 数据后处理血管重建图像对于血管远端细小分支的显示能力更好,6 级分支清晰显示占 85.71%(24 例),特别对于浅表磨玻璃结节与远端肺血管关系的融合显示优势更明显,常规 CT 扫描血管后处理肺动静脉末梢显示欠佳,图像融合后不能清晰展示浅表结节与远端供血及回流血管的关系。

表 1 60 keV 与 74 keV 的主观评分

	60 keV (n=28)	74 keV (n=28)	<i>t</i> 值	<i>P</i> 值
评分	3.88 ± 0.32	2.96 ± 0.69	5.461	0.000

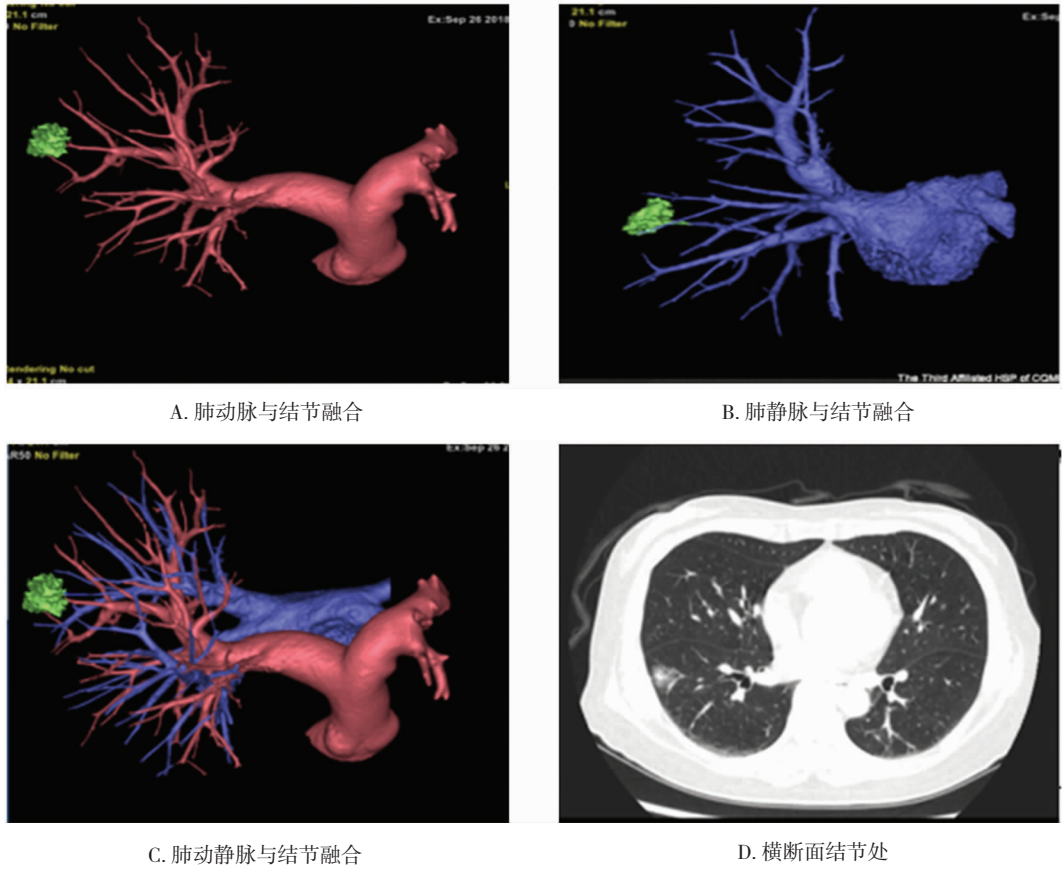
表 2 60 keV 与混合能量的主观评分

	60 keV (n=28)	混合能量 (n=28)	<i>t</i> 值	<i>P</i> 值
评分	3.88 ± 0.32	2.82 ± 0.68	7.377	0.000

表 3 74 keV 与混合能量的主观评分

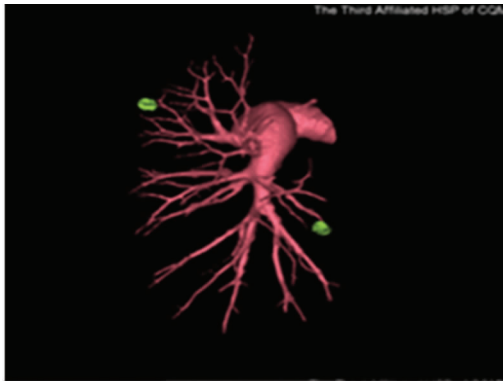
	74 keV (n=28)	混合能量 (n=28)	<i>t</i> 值	<i>P</i> 值
评分	2.96 ± 0.69	2.82 ± 0.68	0.777	0.562

注:60 keV 与 74 keV 比较, $P=0.000$,说明 60 keV 图像质量明显优于 74 keV;60 keV 与混合能量比较, $P=0.000$,说明 60 keV 图像质量明显优于混合能量;74 keV 与混合能量比较, $P=0.562$,说明 74 keV 与混合能量图像质量无统计学差异

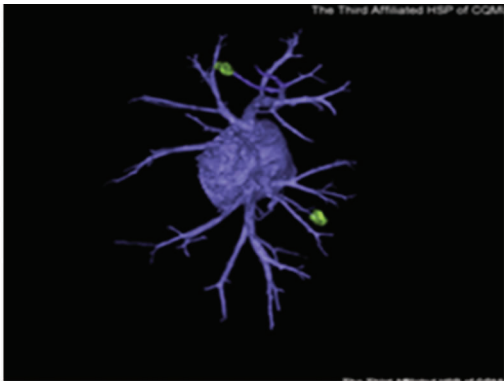


注:清晰显示远端肺动脉、肺静脉与肺结节的关系

图 1 单能量 60 keV 重建三维融合图像



A. 肺动脉与 2 个结节融合



B. 肺静脉与 2 个结节融合



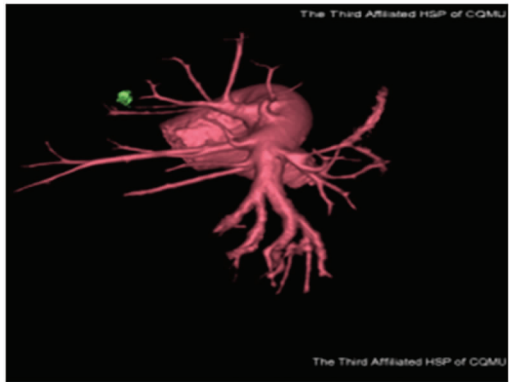
C. 横断面结节处



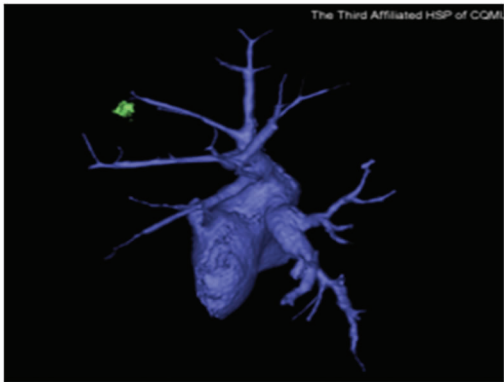
D. 横断面结节处

注:同侧肺部 2 个磨玻璃结节,分别显示远端肺动脉、肺静脉与结节间的关系;上叶浅表结节也能清楚显示

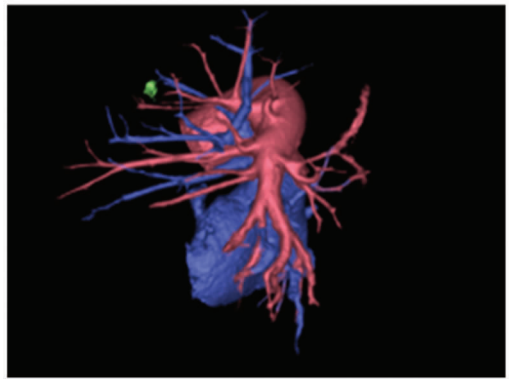
图 2 单能量 60 keV 重建三维融合图像



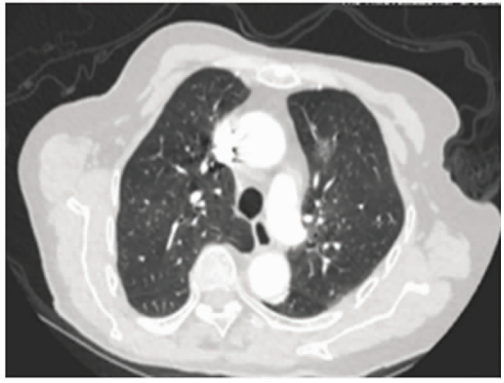
A. 肺动脉与结节融合



B. 肺静脉与结节融合



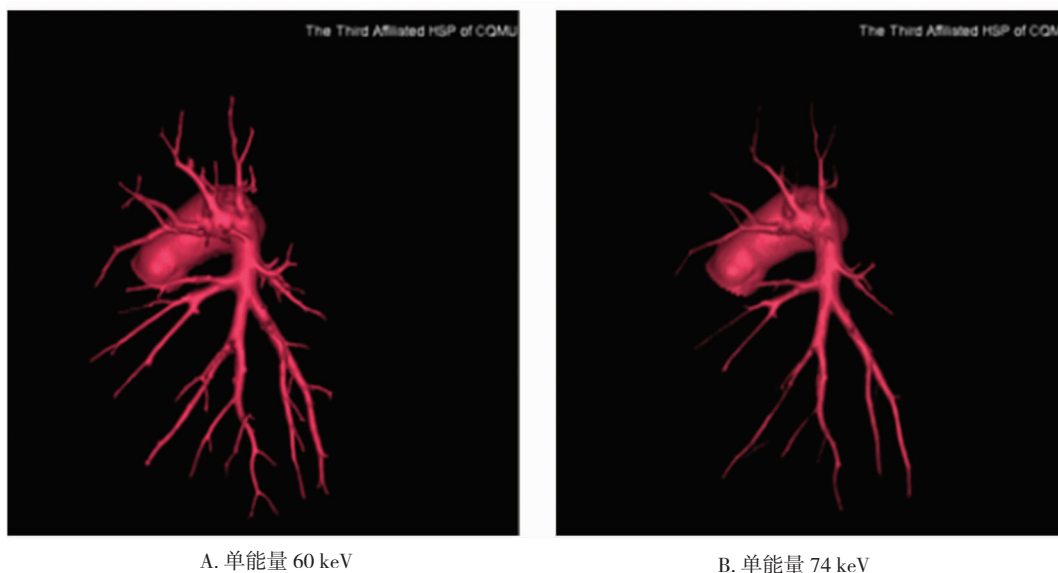
C. 肺动静脉与结节融合



D. 横断面结节处

注:血管末梢显示欠佳,肺动脉和肺静脉远端与肺结节间的血管连接显示不清晰

图 3 常规 CT 混合能量扫描重建三维融合图像



注:同一患者单能量 60 keV 与 74 keV 肺动脉重建图像质量比较,60 keV 图像远端血管及细小分支显示均优于 74 keV 图像

图 4 单能量 60 keV 与 74 keV 血管重建图像比较

2.2 客观评价

采用配对 t 检验对同一病人 60 keV 与 74 keV 两组不同单能量图像的 CT 值、SD(噪声值)和 SNR(信噪比)进行比较分析。CT 值和 SNR 分析的 P 值均为 0.000 ($P < 0.05$),差异具有统计学意义,SD 分析的 P 值为 0.970 ($P > 0.05$),差异不具有统计学意义。说明 60 keV 组图像在显著提高血管 CT 值的同时不会增加图像的噪声值,肺部血管和周围组织结构对比加大,从而有利于重建出更清晰的血管图像。见表 4。

表 4 观察组 28 例单能量同一病人 60 keV 与 74 keV 比较

组别	CT值	SD值	SNR
60 keV ($n=28$)	727.80 $\pm$ 31.92	26.00 $\pm$ 12.32	32.40 $\pm$ 10.54
74 keV ($n=28$)	503.38 $\pm$ 18.33	26.09 $\pm$ 3.81	19.64 $\pm$ 2.63
t 值	28.434	-0.037	6.405
P 值	0.000	0.970	0.000

采用独立样本 t 检验对 60 keV 单能量与常规 CT 混合能量成像的图像质量比较,CT 值 $P=0.006$ ($P < 0.05$),SD 值 $P=0.01$ ($P < 0.05$),SNR 值 $P=0.005$ ($P < 0.05$),差异均具有统计学意义,其统计学结果与表一所述结果一致。见表 5。

表 5 观察组 28 例单能量 60 keV 与对照组混合能量比较

组别	CT值	SD值	SNR
60 keV ($n=28$)	727.80 $\pm$ 31.92	26.00 $\pm$ 12.32	32.40 $\pm$ 10.54
混合能量 ($n=28$)	539.60 $\pm$ 50.88	28.68 $\pm$ 5.98	19.90 $\pm$ 6.48
t 值	8.154	-7.177	8.537
P 值	0.006	0.010	0.005

以上 2 种分析结果说明,能谱单能量 60 keV 图像对肺动脉、肺静脉及肺结节融合成像的图像质量明显优于另外 2 组图像。

3 讨论

由于肺循环阻力小、血液流速较体循环快,且肺脏的呼吸运动是影响血管成像质量的关键因素,因此很难在呼吸控制的条件下分别采集到良好的肺动脉和肺静脉期数据。本研究采用一次扫描获得一组密度差最大的肺动脉和肺静脉图像数据,利用后处理软件分别重建出肺动脉和肺静脉图像。

肺部磨玻璃样结节胸腔镜术前定位目前文献报道的方法有多种,如在 CT 引导下穿刺注入碘油加墨水混合液对结节染色或注入 PVB 染色^[7-8],或者在 CT 引导下注入聚乳酸注射液定位^[9],以上方法均为有创定位,而能谱 CT 肺动脉、肺静脉、肺结节融合成像为无创性检查,定位准确且更加安全简便。本院 56 例磨玻璃结节患者均进行胸腔镜手术,病理结果 3 例为良性结节、10 例原位癌、8 例为微腺癌、35 例为浸润性腺癌,说明磨玻璃样结节恶性率较高;目前有很多文献研究和分析肺部磨玻璃样结节性质^[10-11],均提示恶性率高,所以早期进行胸腔镜微创手术有较高的临床价值。而能谱 CT 肺动脉、肺静脉及肺结节融合成像技术为临床术前精准定位提供了非常有价值的影像学定位手段。

与常规 CT 扫描相比,能谱 CT 单能量图像具有更好的图像质量和信噪比^[2-3]。能谱单能量图像数据

常规共有 101 个能级(40~140 keV),在血管成像中电子伏特越低血管 CT 值越大,肺血管与周围组织 CT 值的差越大,更利于血管成像,特别对于肺部末梢血管的显示低 keV 有较大的优势;但是并非 40 keV 图像质量最好,因为低于 60 keV 的单能量图像的噪声(SD)值增加的比例更大,所以信噪比(SNR)反而降低,因此 60~65 keV 为肺动脉最佳单能量值^[4],而 70~75 keV 单能量数据重建的肺动脉图像更接近于常规混合能量的图像质量^[5],本研究结合日常工作体会选用 60 keV 和 74 keV 两组单能量数据作为组内观察对照。本文选用 60 keV 能谱数据重建血管图像取得了很好的效果,同时与常规 CT 扫描相比能谱扫描的辐射剂量无明显增加^[12]。本方案中常规扫描剂量为 4.57~7.02 mGy,能谱扫描的剂量为 5.26~7.33 mGy,两者差异并无统计学意义。

本文采用低对比剂用量低辐射剂量能谱扫描方案。首先在小剂量团注测试图像上同层面的肺动脉和肺静脉放置两个同样面积的 ROI,分别测出肺动脉和肺静脉的时间-密度曲线,选取肺动脉、肺静脉密度差异最大的时间点作为血管扫描的触发点,通常肺动脉 CT 值要高于肺静脉 CT 值 200 HU,采用一次扫描同时获取肺动脉和肺静脉数据。另外,在图像三维重建前利用能谱数据特性先对原始数据进行减影处理,再使用减影数据分别对肺动脉和肺静脉进行血管重建,最后将肺动脉和肺静脉与肺结节融合成像;减影数据有较大的 CT 值差异,在重建操作中长血管的时候能更好的分辨出肺动脉和肺静脉,大大提高了肺动脉和肺静脉重建的图像质量,在融合图像中能更清晰的显示肺血管远端与肺结节的关系,为临床术前精准定位提供了有力的帮助,并且仅需一次血管扫描从而大大降低了病人的辐射剂量。

本文采用的扫描方案需要肺动脉和肺静脉 CT 值达到一定的差异,而并非 CT 值越高越好,如果肺动脉和肺静脉 CT 值都很高,后处理时则不易区分清楚,所以要求肺静脉 CT 值低于肺动脉 CT 值 200 HU,有时会导致肺静脉充盈不够完美;但与我们之前采用的肺动脉期和肺静脉期数据分别采集的方法比较,由于减弱了呼吸控制的影响图像质量和检查成

功率均大为提高,而且减去了一次采集的辐射剂量。尽管如此,本方案中血管扫描的最佳触发时间点还有进一步探讨和完善的空间。

参 考 文 献

- [1] Schuchert MJ, Pettiford BL, Keeley S, et al. Anatomic segmentectomy in the treatment of stage I non-small cell lung cancer[J]. *Ann Thorac Surg*, 2007, 84(3): 926-932.
- [2] Patel BN, Thomas JV, Lockhart ME, et al. Single-source dual-energy spectral multidetector CT of pancreatic adenocarcinoma: optimization of energy level viewing significantly increases lesion contrast[J]. *Clin Radiol*, 2013, 68(2): 148-154.
- [3] Wang XP, Wang B, Hou P, et al. Screening and comparison of polychromatic and monochromatic image reconstruction of abdominal arterial energy spectrum CT[J]. *Journal of Biological Regulators and Homeostatic Agents*, 2017, 31(1): 189-194.
- [4] 李又洁, 高宗辉, 王明超, 等. 宝石 CT 肺动脉能谱成像最佳单能量图像的选择[J]. *中国医学计算机成像杂志*, 2018, 24(4): 306-310.
- [5] Matsumoto K, Jinzaki M, Tanami Y, et al. Virtual monochromatic spectral imaging with fast kilovoltage switching: improved image quality as compared with that obtained with conventional 120-kVp CT[J]. *Radiology*, 2011, 259(1): 257-262.
- [6] Lacomis JM, Wigginton W, Fuhrman C, et al. Multi-detector row CT of the left atrium and pulmonary veins before radio-frequency catheter ablation for atrial fibrillation[J]. *Radiographics*, 2003, 23: 35-48.
- [7] Kim KS, Beck KS, Lee KY. CT localization for a patient with a ground-glass opacity pulmonary nodule expecting thoracoscopy: a mixture of lipiodol and India ink[J]. *J Thorac Dis*, 2017, 9(4): E349-353.
- [8] Lin MW, Tseng YH, Lee YF, et al. Computed tomography-guided patent blue vital dye localization of pulmonary nodules in uniportal thoracoscopy[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2016, 152(2): 535-544.e2.
- [9] Hu M, Zhi X, Zhang J. Preoperative computed tomography-guided percutaneous localization of ground glass pulmonary opacity with poly-lactic acid injection[J]. *Thorac Cancer*, 2015, 6(4): 553-556.
- [10] Ye T, Deng L, Xiang J, et al. Predictors of pathologic tumor invasion and prognosis for ground glass opacity featured lung adenocarcinoma[J]. *Ann Thorac Surg*, 2018, 106(6): 1682-1690.
- [11] Bongiolatti S, Corzani R, Borgianni S, et al. Long-term results after surgical treatment of the dominant lung adenocarcinoma associated with ground-glass opacities[J]. *J Thorac Dis*, 2018, 10(8): 4838-4848.
- [12] 赵永霞, 左紫薇, 索红娜, 等. 肾动脉 CT 血管成像中采用常规扫描和能谱成像扫描方案对图像质量和辐射剂量的影响[J]. *中华放射学杂志*, 2017, 51(4): 304-307.

(责任编辑:唐秋姗)