

论 著

双层探测器光谱CT单能级对肝硬化患者门静脉血管成像的可行性研究*

张婷婷^{1,2} 刘 雪³ 张道思⁴周 林² 夏春潮^{1,*}

1.四川大学华西医院放射科

(四川 成都 610041)

2.成都医学院第三附属医院·成都市郫都区

人民医院放射科 (四川 成都 610041)

3.西藏林芝市人民医院放射科

(西藏 林芝 860100)

4.遵义医科大学第二附属医院影像科

(贵州 遵义 563000)

【摘要】目的 利用双层探测器光谱CT对肝硬化患者行常规上腹部血管成像,探讨其单能级(40keV)对门静脉血管成像的图像质量及其临床应用价值。方法 回顾性分析四川大学华西医院2023年1月-2023年7月临床确诊为肝硬化且利用双层探测器光谱CT行常规上腹部血管成像的30例患者的影像资料,利用IntelliSpace Portal软件对门脉期图像重建获得120KVp混合能量图像和(40、55、70keV)的单能级图像。测量4组门静脉图像的噪声(SD)、信噪比(SNR)和对比噪声比(CNR),由两位医生对图像整体质量进行评分评价。结果 40keV组门静脉的CT值,SNR和CNR及图像质量主观评分均高于其余组,差异有统计学意义($P<0.01$),40keV组的门静脉噪声(24.94 ± 8.54)均高于120KVp组(21.42 ± 5.49)及其余VMI组。两位医师评分的一致性较好(kappa值为0.775、0.824)。结论 肝硬化患者行双层探测器光谱CT常规上腹部血管成像,40keV时门静脉图像质量最佳,有助于门静脉疾病的诊断。

【关键词】双层探测器; CT; 肝硬化; 门静脉

【中图分类号】R657.3+1

【文献标识码】A

【基金项目】四川省医学会(恒瑞)科研基金
专项科研课题(2021HR68)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2024.12.030

Feasibility Study of Double-layer Detector Spectral CT Single-energy Level for Portal Vein Vascular Imaging in Patients with Cirrhosis*

ZHANG Ting-ting^{1,2}, LIU Xue³, ZHANG Dao-en⁴, ZHOU Lin², XIA Chun-chao^{1,*}

1.Department of Radiology, West China Hospital, Sichuan University, Chengdu 610041, Sichuan Province, China

2.Department of Radiology, The Third Affiliated Hospital of Chengdu Medical College, Chengdu Pidu District People's Hospital, Chengdu 610041, Sichuan Province, China

3.Department of Radiology, Nyingchi People's Hospital, Nyingchi 860100, Tibet, China

4.Department of Medical Imaging, The Second Affiliated Hospital of Zunyi Medical University, Zunyi 563000, Guizhou Province, China

ABSTRACT

Objective To investigate the image quality of virtual monoenergetic images (VMIs) of portal vein angiography and the clinical application value by using dual-layer detector spectral CT (DLCT) for routine upper abdominal angiography in cirrhotic patients. **Methods** We retrospectively analyzed 30 patients with liver cirrhosis who underwent routine upper abdominal angiography DLCT examination from January 2023 to July 2023. Conventional polyenergetic images (PEIs) and VMIs at 40–70 keV (VMI40,55,70, 15-keV increments) were generated from portal venous phase (PVP).The noise, CT values, signal-to-noise ratio (SNR) and contrast-to-noise ratio (CNR) of PVP in four groups were measured, and the overall image quality was scored and evaluated by two radiologists. **Results** The CT values (555.92 ± 181.39), SNR (19.02 ± 10.2) and CNR (28.01 ± 15.24) of portal vein in VMI40 were higher than the other three groups. The difference was statistically significant ($P<0.01$). The portal vein noise in 40keV group (24.94 ± 8.54) was higher than that in 120KVp group (21.42 ± 5.49) and other VMI groups. The scores of the two physicians were consistent (kappa values were 0.775 and 0.824). The agreement of the scores of the two radiologists was good (kappa values of 0.775 and 0.824). **Conclusion** The virtual monoenergetic 40 keV portal vein images showed the best images quality from conventional upper abdominal angiography with dual-layer detector spectral CT in cirrhotic patients, which can meet the clinical diagnostic requirements and be valuable in the diagnosis of portal vein disease.

Keywords: Double-layer Detector; CT; Cirrhosis; Portal Vein

肝硬化是由各种病因引起的肝脏弥漫性损害的疾病,其主要并发症之一是门静脉高压,门静脉系统的血流受到阻碍或血流量出现异常增加,导致门静脉及其分支的静力压上升,并且伴随着侧支循环的建立^[1]。CT血管造影(CT angiography, CTA)通过注射对比剂及不同时相的扫描,可以清晰展示肝脏静脉血管及其分支在不同时期的血管形态^[2]。高质量的肝门静脉图像质量是肝脏手术成功的先决条件,对于肝硬化切除术,远端门静脉结构可以促进病变的定位和有限的切除^[3]。门静脉CT成像技术(computed tomography portal venography, CTPV)是门静脉高压的常规影像评估方法^[4]。目前,已有文献报道能谱CT对虚拟单能量图像(virtual monoenergetic image, VMI)的处理能提高门静脉血管成像质量^[5],近年来新出现的双层探测器光谱CT,成像原理和图像后处理均有别于以往的能谱CT。有研究发现双层探测器光谱CT门静脉成像的最佳单能级在40keV。而本研究中使用的二代双层探测器光谱CT,比一代具有更宽的探测器与更高的空间分辨率^[6]。因此,本研究回顾性分析常规上腹部血管增强扫描的肝硬化患者影像资料,探讨二代双层探测器光谱CT单能级成像(40keV)门静脉血管成像可行性研究。

1 资料与方法

1.1 一般资料 回顾性收集2023年1月至2023年7月在四川大学华西医院双层探测器光谱CT行常规上腹部血管成像的肝硬化患者30例,其中男性23例,女性7例,年龄26~81岁,平均年龄(48 ± 6.5)岁。

纳入标准:临床诊断为各种类型的肝硬化伴有门静脉高压患者;布加综合征患者。排除标准:有肝脏手术史,年龄 <18 岁,图像伪影重。本研究为回顾性分析,豁免患者签署知情同意书。

1.2 检查设备与方法 采用Spectral CT 7500 (Philips公司)对患者行上腹部血管增强扫描,对比剂采用双筒高压注射器经肘静脉注射,对比剂使用碘迈伦(400mg/mL),对比剂注射剂量为1.5mL/kg,注射流速5mL/s,随后以相同注射流速注射生理盐水30mL。动脉期扫描采用触发监测扫描技术,监测层面位于腹主动脉起始部,触发阈值设置为150HU,动脉期后15s行门静脉血管成像。具体扫描参数为:管电压120kVp,自动管电流技术,探测器宽度 128×0.625 mm,层厚1mm,扫描视野 $36\text{cm}\times 36\text{cm}$,球管转速0.75s,扫描范围从膈顶到肾下极。在Phil IntelliSpace Portal后处理工作站中对全息光

【第一作者】张婷婷,女,主管技师,主要研究方向:MRI和CT新技术及其临床应用。E-mail: 252374778@qq.com

【通讯作者】夏春潮,男,主任技师,主要研究方向:人工智能在医学影像技术中的应用,CT、MRI和PRT/MR新技术及其临床应用。E-mail: xischunchao@wchscu.cn

谱图像(spectral-based imaging, SBI)数据包进行重建, 获得不同能级的40、55、70keV单能图像(Spectral 4)和120KVp(idose 4)常规混合能量图, 重建层厚为1.0mm的门脉期横断面图像。

1.3 图像后处理及分析 所有数据均传到Phil IntelliSpace Portal后处理工作站进行主客观评价。客观评价: 在四组不同能级的图像中, 选择第一肝门处的门静脉主干区域勾画感兴趣区(region of interest, ROI), ROI面积为30.00-40.00mm², 测量门静脉CT值, 标准差(standard deviation, SD), 并在同一层面的肝实质上测量CT值和竖脊肌标准差(SD)。计算信噪比(signal noise ratio, SNR)和对比噪声比(contrast noise ratio, CNR), SNR=CT门静脉/SD, CNR=(CT门静脉-CT肝实质)/竖脊肌SD。

主观评价: 由2位中级以上职称, 从事腹部CT影像诊断的放射科医师采用双盲法对120KVp常规混合能量图和40keV组图像质量进行5分制评分^[7], 其中评分≥3分满足临床诊断要求。

表1 门静脉成像图像质量5分制评分^[7]

门静脉图像	
5分	门静脉血管强化明显, 边界清晰, 与肝实质对比优, 门静脉5级分支显示良好
4分	门静脉边界显示稍毛糙, 与肝实质对比良好, 门静脉4级分支显示良好
3分	门静脉边界较清楚, 与肝实质对比中等, 门静脉3级分支显示良好
2分	门静脉边界不清楚, 与肝实质对比较差, 门静脉2级分支显示良好
1分	门静脉强化不佳, 边界模糊, 与肝实质对比极差, 仅肝内门脉1级分支显示

1.4 统计学方法 采用SPSS 27.0统计学软件, 对图像质量进行主观及客观评价指标进行比较分析, 计量资料以均数±标准差($\bar{x} \pm s$)表示, 组间差异采用Friedman检验, 若存在组间差异则采用配对t检验进行两两比较。对于主观评分的比较, 我们采用了多组独立样本的秩和检验, 也就是Kruskal-Wallis H检验。我们认为, 当P值小于0.05时, 这些差异在统计学上是显著的。两名医师主观评分一致性评估采用 kappa检验, K值<0.40, 一致性差; 0.40 <K 值<0.75, 一致性良好, K值>0.75, 一致性好。

2 结果

30例肝硬化患者经病理证实活检5例, 临床症状、实验室检查及影像学检查证实25例。其中门静脉高压伴侧枝循环13例。各组间的门静脉CT值、肝实质CT值、门静脉SD值、门静脉SNR、门静脉-肝实质CNR值见表2, 各组之间各个参数具有统计学差异(P<0.01)。40keV门静脉CT值、肝实质CT值、SNR及门静脉-肝实质CNR值均高于其余VIM组及120KVp。各组噪声达到统计学意义(P<0.01), 40keV门静脉噪声高于其他VIM及120KVp。40keV组的评分均(≥3分)满足临床诊断要求, 而120KVp组有5例评分(<2分)不满足诊断要求(图1)。40keV图像质量评分(4.3±0.8)高于120KVp(3.6±1.13), 差异有统计学意义。两位医师的主观评分一致性较好, Kappa值分别为0.864和0.775。

表2 30例患者门静脉成像各组图像客观评价结果

	门静脉CT值(HU)	肝实质CT值(HU)	门静脉SD	竖脊肌SD	门静脉SNR	门静脉CNR
40keV	555.92±181.39	172.25±56.77	24.94±8.54	14.45±3.47	19.02±10.2	28.01±15.24
55keV	317.89±100.68	115.15±30.54	23.29±7	12.66±3.89	14.21±4.74	13.64±4.68
70keV	201.44±59.66	88±17	20.18±4.17	12.17±3.45	10.21±3.15	9.59±3.12
120LVp	182.45±49.97	91.18±16.87	21.42±5.49	15.29±2.9	7.87±2.74	6.21±3.52
F	82.84	69.52	34.96	30.83	53.40	76.52
P值	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01

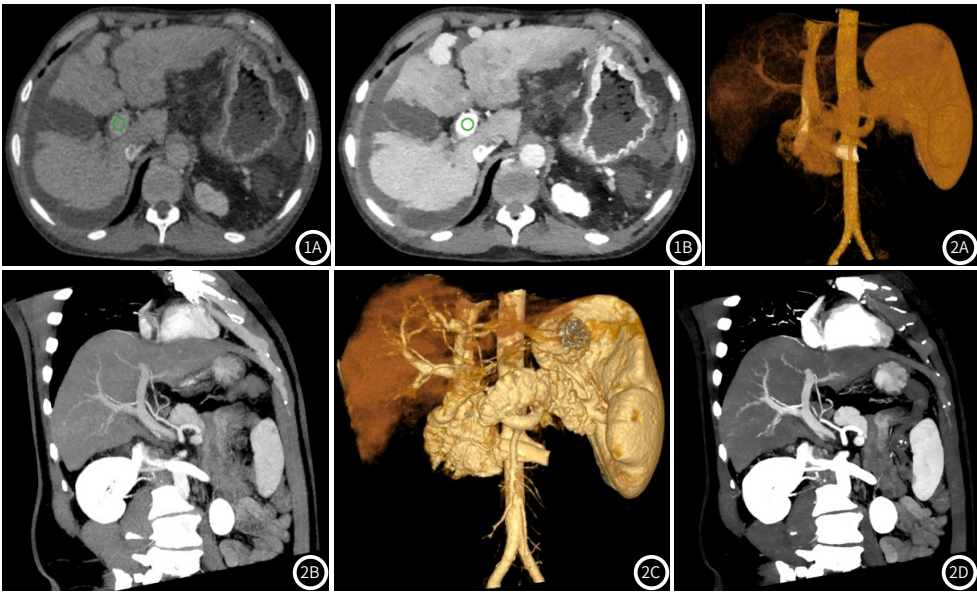


图1A-图1B 男, 56岁, 乙型肝炎肝硬化, 门静脉的ROI位于门静脉主干, ROI面积33.49mm²。图1A 120KVp CT值114.2HU, 门静脉SD 23, 同层肝实质CT值100HU, 肝实质SD 18。图1B 40keV CT值316.8HU, 门静脉SD 22.7, 肝实质210.1HU, 肝实质SD15.6。
图2A-图2C 男, 48岁, 肝硬化门脉高压。A、B为120KVp图像进行VR重建和MIP重建, 门静脉边界模糊, 与肝实质对比较差。2C、2D为40keV图像进行VR重建和MIP重建, 门静脉强化明显, 边界锐利, 与肝实质对比良好。

3 讨论

肝硬化发展过程中血流动力学改变可能会导致门静脉和体循环之间的侧支循环通道扩张和激活,门静脉血流阻力增加。导致进入门静脉内的对比剂峰值浓度较低,而门静脉成像的图像质量主要取决于门静脉内对比剂浓度,对比剂浓度可能受对比剂剂量、注射速率、血流速率、扫描延迟时间和扫描模式以及心脏功能等的影响^[8]。这些因素容易导致门静脉血管图像模糊,与周围组织对比度不高。能谱CT单能量成像技术的应用,解决了这一大难题。有研究表明,在55keV时,门脉高压患者的门静脉图像质量最佳^[9]。本研究中,40keV单能级图像成像门静脉CT值、SNR及CNR最高,门静脉的血管结构显示的更加突出,增加了门静脉和肝实质的CNR,较之前的研究结果更令人满意,这可能与能量CT的低能量VMI,更接近碘的K边缘(33keV),使得碘的衰减不断提高,含碘组织的对比度不断提高^[10]。

值得注意的是,在过去基于球馆电压切换的能谱CT研究中,发现图像噪声在低能级时显著上升,使得低能级时门静脉的SNR、CNR低于高能级^[11]。但在本研究中,我们发现采用40keV单能级图像SNR及CNR更高。双层探测器光谱CT区别于传统CT,其特色在于配备上下两层空间对等的探测器,能够分离X射线中的高、低能成分。该技术不仅能在每次扫描中采集到常规CT图像数据,还能从任意常规扫描中提取全息光谱图像(SBI)数据包。利用后处理工作站,SBI可重建为常规图像及涵盖40~200keV范围的161组能谱多参数图像,同时运用反相关噪声降噪技术,显著提升图像质量并降低噪声^[12-13]。单能量成像技术能有效提高图像对比噪声比(CNR),从而达到提高小病灶的检出、增强不同组织的对比以及提升血管强化的作用^[14]。

此前,王世伟^[15]等人研究发现双层探测器CT40keV单能级成像显示正常门静脉成像质量最佳,研究所使用的IQon CT的成像原理是在不改变射线球管数量和射线能量的情况下,通过两层探测器结构分别获得穿过人体的低能和高能射线,并利用两个能量段的信息重建能谱数据^[16]。我们的发现与之前的研究结果一致,本研究中VMI组图像的客观指标(CT值、CNR及SNR)均显著高于常规120KVp,以40keV时最高,门静脉CT值高达(555.92±181.39),虽然噪声略增加,但门静脉-肝实质CNR明显高于常规120KV及其他VMI组。本研究使用的二代双层探测器光谱CT,采用球面探测器,探测器采样率翻倍以及更快的扫描床,缩短了扫描时间。说明40keV图像对肝硬化患者门静脉显示有优势,它可以提高血管和软组织的CT值,增加血管与肝实质之间的密度差,客观显示血管。本研究结果显示采用常规腹部血管扫描参数,选择40keV单能级图像,从而获得CNR最好的的门静脉图像,对比度和噪声达到最好的平衡,更好的显示门静脉图像及其分支。本研究仍有不足之处,第一,如样本量较少,且没有针对不同病因的肝硬化;第二、肝硬化个体差异较大。

综上所述,采用双层探测器光谱CT对肝硬化患者行常规上腹部血管增强扫描方案,通过重建40 keV单能级图像,能获得较高SNR和CNR,且满足临床诊断要求的门静脉血管图像。

参考文献

- [1] 徐小元, 丁惠国, 令狐思强, 等. 肝硬化门静脉高压食管胃静脉曲张出血的防治指南[J]. 临床肝胆病杂志, 2023, 39 (3): 527-538.
- [2] 贺文, 于淑霞, 何青. 多层螺旋CT门静脉造影诊断肝硬化门静脉高压[J]. 中国医学影像技术, 2005 (1): 93-99.
- [3] Wang Q, Shi G, Liu X, et al. Optimal contrast of computed tomography portal venography using dual-energy computed tomography[J]. J Comput Assist Tomogr, 2013, 37 (2): 142-148.
- [4] 单嫻, 赵连晖, 马红, 等. 肝硬化的定义、病因及流行病学[J]. 临床肝胆病杂志, 2021, 37 (1): 14-16.
- [5] 邓星星. 能谱CT单能量成像与常规增强CT对门静脉血管成像图像质量的对比研究[J]. 中国当代医药, 2022, 29 (7): 107-110.
- [6] Longarino FK, Kowalewski A, Tessonier T, et al. Potential of a second-generation dual-layer spectral CT for dose calculation in particle therapy treatment planning[J]. Front Oncol, 2022, 12: 853495.
- [7] 黄瑞岁, 丁可, 尹华, 等. 门脉期能谱CT技术对提高肝硬化门静脉成像质量的研究[J]. 中国临床医学影像杂志, 2017, 28 (5): 341-344.
- [8] 丁毅, 宋彬, 孙照临, 等. 门静脉CT成像技术中门静脉增强峰值时间的相关影响因素[J]. 中国医师杂志, 2022, (5): 645-648.
- [9] 柳维娜, 董健, 王仁贵. 宽体探测器能谱CT最佳单能量成像在肝门静脉与肝静脉成像中的应用价值研究[J]. 中国医学装备, 2020, 17 (4): 83-86.
- [10] 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, (5): 476-487.
- [11] Kalisz K, Rassouli N, Dhanantwari A, et al. Noise characteristics of virtual monoenergetic images from a novel detector-based spectral CT scanner[J]. Eur J Radiol, 2018, 98: 118-125.
- [12] Rajiah P, Parakh A, Kay F, et al. Update on multienergy CT: physics, principles, and applications[J]. Radiographics, 2020, 40 (5): 1284-1308.
- [13] Yin XP, Gao BL, Li CY, et al. Optimal monochromatic imaging of spectral computed tomography potentially improves the quality of hepatic vascular imaging[J]. Korean J Radiol, 2018, 19 (4): 578-584.
- [14] McCollough CH, Leng S, Yu L, et al. Dual- and multi-energy CT: principles, technical approaches, and clinical applications[J]. Radiology, 2015, 276 (3): 637-653.
- [15] 王世伟, 李金锋, 邹颖, 等. 双层探测器能谱CT单能级成像对门静脉成像质量的影响[J]. 中国临床医学影像杂志, 2020, 31 (6): 425-428, 433.
- [16] 吕品, 陈露, 夏连坤, 等. 基于双层探测器CT比较肺动脉CTA虚拟单能量与混合能量的图像质量[J]. 中国CT和MRI杂志, 2023, 21 (2): 76-78.

(收稿日期: 2024-01-17)

(校对编辑: 姚丽娜)