

能谱CT单能量成像优化腹部增强中腹腔干成像质量的探究

赵思祺, 宫凤玲*, 陈 思

华北理工大学附属医院医学影像中心, 河北 唐山

收稿日期: 2024年2月27日; 录用日期: 2024年3月21日; 发布日期: 2024年3月27日

摘 要

目的: 比较在腹部增强扫描中能谱CT单能量图像质量和常规扫描图像质量, 探讨能谱CT单能量成像技术对腹腔干优化显示的应用价值。方法: 搜集110例行腹部CT增强扫描的患者, 随机分成两组, 能谱扫描组55例进行能谱增强扫描, 重建出50 keV、60 keV、70 keV的3组单能量图像和1组120 kVp-like混合能量图像; 常规扫描组55例采用常规增强扫描作为对照组。分别记录能谱扫描组四组和对照组各组腹腔干起始部及同层面竖脊肌的CT值, 计算SNR和CNR, 记录能谱扫描组和对照组的辐射剂量。结果: 单能量图像各组间的CT值、SNR、CNR差异有统计学意义($P < 0.001$), 且随着能级的降低, CT值、SNR、CNR呈递增趋势; 120 kVp-like和对照组的CT值、SNR、CNR差异无统计学意义($P > 0.05$); 70 keV和120 kVp-like的SNR、CNR差异无统计学意义($P > 0.05$); 50 keV图像主观评分最高, 与各组间差异有统计学意义($P < 0.001$)。结论: 与常规CT扫描相较, 能谱CT利用单能量成像进行血管成像时拥有更高的图像质量, 50 keV时腹腔干显示最佳, 拥有更高的CT值以及更好的SNR、CNR。

关键词

能谱CT, 单能量成像, 血管成像质量, 腹腔干

An Investigation of Single-Energy Imaging with Energy-Spectrum CT to Optimise the Quality of Abdominal Stem Imaging in Abdominal Enhancement

Siqi Zhao, Fengling Gong*, Si Chen

Medical Imaging Center, Affiliated Hospital of North China University of Science and Technology, Tangshan Hebei

*通讯作者。

文章引用: 赵思祺, 宫凤玲, 陈思. 能谱 CT 单能量成像优化腹部增强中腹腔干成像质量的探究[J]. 临床医学进展, 2024, 14(3): 1456-1461. DOI: 10.12677/acm.2024.143865

Abstract

Objective: To compare the quality of single-energy images of energy-spectrum CT with that of conventional scans in abdominal enhancement scanning, and to explore the application value of single-energy imaging technology of energy-spectrum CT for the optimal display of celiac axis. **Methods:** 110 cases of abdominal CT enhancement scanning were collected and randomly divided into two groups: 55 cases in the energy spectrum scanning group underwent energy spectrum enhancement scanning to reconstruct three sets of single-energy images of 50 keV, 60 keV, 70 keV and one set of 120 kVp-like mixed-energy images; 55 cases in the conventional scanning group were used in the conventional enhancement scanning as the control group. The CT values of the beginning of the celiac axis and the erector spinae muscle at the same level in each of the four groups of the energy spectrum scanning group and the control group were recorded respectively, the SNR and CNR were calculated, and the radiation doses in the energy spectrum scanning group and the control group were recorded. **Results:** The differences in CT values, SNR and CNR between the groups of single-energy images were statistically significant ($P < 0.001$) and tended to increase with decreasing energy levels; the differences in CT values, SNR and CNR between the 120 kVp-like and control groups were not statistically significant ($P > 0.05$); the 70 keV and 120 kVp-like SNR, CNR differences were not statistically significant ($P > 0.05$); 50 keV images had the highest subjective scores, with statistically significant differences between the groups ($P < 0.001$). **Conclusion:** Compared with conventional CT scanning, energy-spectrum CT has higher image quality when using single-energy imaging for vascular imaging, and the celiac axis is best displayed at 50 keV, with higher CT values and better SNR and CNR.

Keywords

Energy Spectrum CT, Single-Energy Imaging, Vascular Imaging Quality, Celiac Axis

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

腹部血管病变分为扩张性、狭窄及闭塞性、压迫性病变等等，通常以急腹症就诊，病程进展迅速且预后不良，很容易出现误诊及漏诊，及时发现病变血管给予有效治疗可以减轻患者痛苦，改善预后，具有重要的临床价值[1]。目前对于血管源性疾病的诊断方法主要包括超声、腹部 CT 增强扫描及 CT 血管造影(computed tomography angiography, CTA)、数字减影血管造影(digital subtraction angiography, DSA)等等[2]，其中腹部 CT 增强扫描以检查速度快、简便、无创的特点，被广泛应用于血管病变的诊断。近年来，随着影像技术的提升与发展[3]，能谱 CT 广泛应用于临床，与常规 MSCT 的混合能量成像相较，能谱 CT 的单能量成像拥有更高的图像质量、信噪比及对比噪声比[4] [5]，为影像诊断医师提供了更多病变相关线索。能谱 CT 单能量成像技术在头颈部、胸部、门脉系统血管及下肢血管病变中的诊断价值已经得到广泛认同[6] [7] [8] [9]，本次实验将针对腹部增强扫描展开研究，比较能谱 CT 单能量成像与常规扫描图像质量，旨在探究能谱 CT 单能量成像技术对腹腔干优化显示的应用价值，寻求在腹部增强扫描中腹腔干显示最佳的单能量级。

2. 材料与方法

2.1. 研究对象及纳入标准

选取 2022 年 9 月~2023 年 12 月于我院行腹部 CT 增强扫描的患者 110 例, 随机分成两组, 每组各 55 例, 实验组采用能谱扫描, 对照组采用常规扫描。纳入及排除标准如下:

纳入标准: (1) 无碘对比剂及含碘食物过敏史; (2) 患者均能接受 CT 增强检查且均签署知情同意书; (3) 患者的影像图像需符合诊断要求; (4) 临床资料完整。

排除标准: (1) 对碘对比剂过敏; (2) 患者的影像图像质量差, 不符合诊断要求; (3) 临床资料不完整; (4) 本次检查前 7 天内有消化道钡餐检查或肠道内仍有钡剂残留者; (5) 凝血功能障碍者、自身免疫性疾病患者、心肝肾严重疾病患者以及精神疾病患者。

2.2. 研究方法

2.2.1. 扫描方法

采用 GE Revolution CT 扫描仪。扫描范围自膈顶从横膈至耻骨下支。采用 GSI Perfusion 软件和常规软件进行连续动态扫描, 扫描包括动脉期及静脉期。增强扫描参数: 管电压为高低能量(40~140 kVp)瞬间切换, 管电流 260 mA, 螺距 0.984, 矩阵 512×512 , 层厚 1.25 mm, 间隔 1.25 mm。对比剂碘海醇(300 mgI/mL)采用高压注射器经肘静脉以 3.5 ml/s 的速度注射, 注射剂量 1.5 ml/kg, 注射对比剂后 20 s、60 s 后行动脉期、静脉期扫描。

2.2.2. 图像后处理

能谱组图像传至 ADW 4.7 工作站, GSI Viewer 软件重建, 重组出层厚及层间距为 0.625 mm、能量为 50 keV、60 keV、70 keV 的 3 组单能量能级图像和 1 组常规 120 kVp-like 图像。所有患者图像后处理均使用 ADW 4.7 工作站进行, 包括表面重建、最大密度投影(maximum intensity projections, MIP)、曲面重组(curved multiplanar reformats, CPR)及三维容积再现(3D volume rendered technique, VR)等。

2.2.3. 辐射剂量

扫描完成后, 剂量长度乘积(dose length product, DLP)由 Revolution CT 机自动生成, 有效辐射剂量(effective dose, ED)可通过公式算出, $ED = DLP \times k$, k 为腹部剂量因子, 根据国际放射防护委员会公布的标准, 取值 0.015。

2.2.4. 图像质量评价

图像客观评价: 由 1 名从事诊断工作经验丰富的医师分别在腹腔干起始部及同层面右侧竖脊肌设置感兴趣区(Regions of interest, ROI), 记录 CT 值及标准差(Standard Deviation, SD)值, 以竖脊肌的 SD 作为背景噪声。设置 ROI 时要注意置于血管及肌肉中央, ROI 至少覆盖血管管腔面积的 2/3。计算每组图像肠系膜上动脉的对比噪声比(contrast to noise ratio, CNR)、信噪比(signal to noise ratio, SNR): $CNR = (CT \text{ 目标血管} - CT \text{ 同层面肌肉}) / SD \text{ 肌肉}$, $SNR = CT \text{ 血管} / SD \text{ 肌肉}$ 。

图像主观评价: 由 2 位 5 年以上工作经验的医师分布独立观察重建后图像, 并对图像进行主观评分, 意见不一致协商确定。以肠系膜上动脉主干及分支的清晰度和锐利度为指令评价标准, 按照 5 分的等级标准进行划分。评分量化如下: 1 分, 血管边缘模糊不能分辨; 2 分, 血管边缘不锐利但尚能分辨; 3 分, 血管尚清楚且能够分辨血管边缘; 4 分, 血管清晰、边缘基本光滑; 5 分, 血管显示很清晰且边缘锐利。

2.2.5. 统计学方法

应用 Excel 2010 建立数据库, 应用 SPSS 19.0 进行数据录入及分析, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

对两组患者的性别进行卡方检验。对年龄、心率、血压、休克指数等一般情况以及辐射剂量进行正态性检验,符合正态分布的用均数 \pm 标准差表示,两组间比较采用独立样本 T 检验;不符合正态分布的用中位数(上,下四分位数表示)表示,两组间比较采用 Mann-Whitney U 检验。对客观图像质量指标(血管及同层竖脊肌 CT 值、SNR、CNR)、主观评分各组间采用单因素方差分析。方差分析的结果有统计学意义的继续进行组间的多重比较,方差齐采用 LSD 法进行两两比较,方差不齐的采用塔姆黑尼法。

3. 结果

3.1. 能谱扫描组和对照组一般资料及辐射剂量的比较

能谱组和对照组两组间的性别、年龄、心率、血压、休克指数等一般资料均无统计学意义($P > 0.05$),见表 1。

能谱组的 DLP、ED 均低于对照组,差异具有统计学意义($P < 0.05$),见表 1。

Table 1. Comparison of general information and radiation dose between the energy spectrum scanning group and the conventional scanning group

表 1. 能谱扫描组和常规扫描组一般资料及辐射剂量的比较

| 指标 | 能谱组 | 常规组 | 检验值 | P 值 |
|-----------|----------------------------|----------------------------|---------------------|--------|
| 性别(男/女) | 32/23 | 36/19 | 0.616 [△] | 0.432 |
| 年龄(岁) | 69.00 (58.00, 72.00) | 66.00 (57.00, 73.00) | -0.407 [*] | 0.684 |
| 心率(次/分) | 80.00 (70.00, 91.00) | 80.00 (74.00, 89.00) | -0.042 [*] | 0.967 |
| 收缩压(mmHg) | 128.00 (115.00, 137.00) | 133.00 (116.00, 142.00) | -1.121 [*] | 0.262 |
| 舒张压(mmHg) | 73.00 (67.00, 82.00) | 78.00 (70.00, 85.00) | -1.442 [*] | 0.149 |
| 休克指数 | 0.64 (0.55, 0.74) | 0.60 (0.54, 0.72) | -0.813 [*] | 0.416 |
| DLP | 1790.95 (1665.85, 1978.85) | 2370.38 (1934.33, 2875.26) | -5.823 [*] | <0.001 |
| ED | 26.86 (24.99, 29.68) | 35.56 (29.01, 43.13) | -5.823 [*] | <0.001 |

注: [△]代表 χ^2 检验值; ^{*}代表秩和检验 Z 值; $P < 0.05$ 差异有统计学意义。

3.2. 图像质量客观评价

Table 2. Comparison of CT values, SNR, CNR and subjective scores of images in each group ($\bar{x} \pm s$)

表 2. 各组图像 CT 值、SNR、CNR 及主观评分的比较($\bar{x} \pm s$)

| 组别 | 血管 CT 值(HU) | CNR | SNR | 主观评分 |
|--------------|--------------------|-------------------|-------------------|-----------------|
| 50 keV | 537.50 \pm 74.98 | 84.75 \pm 20.37 | 75.69 \pm 18.66 | 4.91 \pm 0.29 |
| 60 keV | 386.33 \pm 55.80 | 76.07 \pm 20.08 | 65.46 \pm 17.88 | 4.56 \pm 0.71 |
| 70 keV | 281.41 \pm 45.75 | 60.97 \pm 19.22 | 49.78 \pm 16.60 | 4.18 \pm 0.84 |
| 120 kVp-like | 230.41 \pm 40.73 | 57.38 \pm 16.65 | 45.12 \pm 13.53 | 4.13 \pm 0.86 |
| 对照组 | 252.04 \pm 45.16 | 53.47 \pm 16.83 | 42.60 \pm 14.66 | 4.15 \pm 0.84 |
| F | 304.345 | 27.846 | 41.695 | 11.527 |
| P 值 | <0.001 | <0.001 | <0.001 | <0.001 |

能谱扫描组的四组 50 keV、60 keV、70 keV、120 kVp-like 和对照组常规扫描组相较,各组间的 CT

值、SNR、CNR 差异有统计学意义($P < 0.001$), 且随着能级的降低, CT 值、SNR、CNR 成递增趋势。进一步进行组间两两比较, 120 kVp-like 和对照组的 CT 值、SNR、CNR 差异无统计学意义($P > 0.05$); 70 keV 和 120 kVp-like 的 SNR、CNR 差异无统计学意义($P > 0.05$), 见表 2。

3.3. 图像主观评价

单能量图像各组间主观评分差异有统计学意义($P < 0.001$), 且随着能级的降低, 主观评分成递增趋势, 50 keV 主观评分最高。两两比较, 70 keV、120 kVp-like 和对照组的主观评分差异无统计学意义($P > 0.05$), 见表 2。

4. 讨论

腹腔干在主动脉裂孔的稍下方起自腹主动脉前壁, 分支有较大的变异, 常见的有 3 个大的分支—脾动脉、胃左动脉、肝总动脉, 分支分布于肝、胆、胰、脾、胃、十二指肠和食管腹段, 主要供应横结肠上区的脏器。在腹部 CT 增强扫描中, 对于腹腔干的观察, 一般遵循由血管起始部逐级向下追踪观察, 首先观察腹腔干是否显影、有无迂曲扩张、有无走行异常及共干, 其次观察管腔内有无充盈缺损以及血管壁有无斑块、钙化等[10], 所以血管影像解剖结构的显示情况以及图像质量的好坏会直接影响后续诊断结果。

碘的特性决定了碘对比剂的 CT 值会随着管电压的降低而增加, 适当降低 keV, 血管内的 CT 值会增高[11]。能谱 CT 和常规螺旋 CT 相比, 可以生成 40~140 keV 能量段的多组单能量图像用于血管的显示[12], 能谱 CT 单能量技术可以显著改善血管成像, 提升图像质量[13] [14], 更有利于血管及其细小分支的显示[15] [16]。本研究显示, 在不同单能级中, 50 keV 时腹腔干的 CT 值、SNR、CNR 最高, 图像质量最佳, 血管与周围组织对比度最高, 主观评分最好; 随着能级的递减, CT 值、SNR、CNR 逐渐递增。殷小平[17]等通过研究发现腹腔干动脉成像的最佳 keV 值在 51 keV 左右, 与本研究结果基本相同。此外, 本研究还发现 70 keV、120 kVp-like 和常规增强扫描的 SNR、CNR、CNR 主观评分差异无统计学意义, 这与付蓝琦等[15]的研究结果是一致的。

除了图像质量, 辐射剂量也是临床关注的焦点问题, 腹部增强扫描时, 由于扫描范围大、扫描期相多, 患者会在短时间内接受大量射线[18], 性腺等对射线敏感, 如何减少辐射剂量也是一直在探究的课题。本研究发现, 能谱扫描在不影响图像质量和诊断需求的基础上较常规扫描可以大幅降低患者辐射剂量, 具有一定的临床意义。

本研究的局限性: 未重建更多单能量级图像进行比较; 样本数量较少。

综上所述, 能谱 CT 利用单能量成像进行腹腔干成像时, 在 50 keV 时拥有更高的图像质量、信噪比及对比噪声比, 可以有效提升对比剂浓度, 改善血管成像不佳的情况, 还可以降低辐射剂量。

参考文献

- [1] 张洁, 宁晔, 郑燕媚, 等. 急诊科急腹症患者的镇痛策略临床研究[J]. 现代消化及介入诊疗, 2018, 23(5): 592-595.
- [2] 于克祯, 李玲, 王国选, 等. 基于全模型迭代算法对腹部 CT 血管造影图像质量改善探讨[J]. 中国医疗设备, 2022, 37(8): 76-80.
- [3] 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.
- [4] 黄仁军, 李勇刚. 能谱 CT 的临床应用与研究进展[J]. 放射学实践, 2015, 30(1): 81-83.
- [5] 中华放射学杂志双层探测器光谱 CT 临床应用协作组. 双层探测器光谱 CT 临床应用中国专家共识(第一版) [J]. 中华放射学杂志, 2020, 54(7): 635-643.

- [6] 郭红红, 曹珊, 杨晨, 等. 光谱 CT 虚拟单能量图像优化胸部增强 CT 显示肺动脉[J]. 中国医学影像技术, 2022, 38(9): 1395-1400.
- [7] 殷小平, 王佳宁, 田笑, 等. 能谱 CT 最佳单能量成像优化肝脏血管图像质量的研究[J]. 放射学实践, 2017, 32(9): 942-946.
- [8] 付永春, 江滨, 张磊, 等. 双层探测器能谱 CT 60 keV 单能图像在头颈部 CTA 中的应用[J]. 中国医学影像学杂志, 2021, 29(5): 449-453.
- [9] Wang, G., Zhao, D., Ling, Z., *et al.* (2019) Evaluation of the Best Single-Energy Scanning in Energy Spectrum CT in Lower Extremity Arteriography. *Experimental and Therapeutic Medicine*, **18**, 1433-1439. <https://doi.org/10.3892/etm.2019.7666>
- [10] 尹昕茹, 文良志, 王斌, 等. 肠系膜血管源性消化道出血的临床诊治[J]. 胃肠病学, 2018, 23(7): 391-394.
- [11] 翟宁, 于鹏, 宫凤玲, 等. 多层螺旋 CT 低浓度对比剂联合低剂量扫描诊断消化道出血的实验研究[J]. 中国全科医学, 2019, 22(3): 351-356.
- [12] Sakabe, D., Funama, Y., Taguchi, K., *et al.* (2018) Image Quality Characteristics for Virtual Monoenergetic Images Using Dual-Layer Spectral Detector CT: Comparison with Conventional Tube-Voltage Images. *Physica Medica*, **49**, 5-10. <https://doi.org/10.1016/j.ejmp.2018.04.388>
- [13] 周新杰, 周代全, 钟丽娟, 等. 能谱 CT 血管成像显示甲状腺供血动脉[J]. 中国医学影像技术, 2019, 35(10): 1565-1568.
- [14] Huang, X., Gao, S., Ma, Y., *et al.* (2020) The Optimal Monoenergetic Spectral Image Level of Coronary Computed Tomography (CT) Angiography on a Dual-Layer Spectral Detector CT with Half-Dose Contrast Media. *Quantitative Imaging in Medicine and Surgery*, **10**, 592-603. <https://doi.org/10.21037/qims.2020.02.17>
- [15] 付蓝琦, 潘馨梦, 尹娇, 等. 双层探测器光谱 CT 在优化胃结肠静脉干成像质量中的应用[J]. 临床放射学杂志, 2021, 40(8): 1606-1610.
- [16] 张秋奂, 陈学志, 李鸿康, 等. 能谱 CT 单能量技术优化肠系膜上静脉血管成像质量的初步研究[J]. 医学影像学杂志, 2017, 27(7): 1299-1302.
- [17] 殷小平, 刘笑非, 黄桦, 等. 能谱 CT 最佳单能量技术优化腹腔干动脉成像质量的研究[J]. 临床放射学杂志, 2015, 34(5): 808-811.
- [18] 赵志勇, 赵彦梅. 浅谈 X 线对人体的损伤及其防护[J]. 中国乡村医药, 2006(5): 45-46.