

• 腹部影像学 •

低毫安结合自适应统计迭代重建(ASiR)在降低腹部血管能谱 CT 成像辐射剂量中的可行性研究

王庆国, 王政, 周志国, 解学乾, 李念云, 张贵祥

【摘要】 目的:探讨低毫安能谱扫描结合自适应统计迭代技术(ASiR)在降低上腹部能谱 CT 血管成像辐射剂量的可行性。**方法:**搜集临床疑似腹部血管病变的患者 38 例,均行能谱 CT 血管成像检查。噪声指数为 12.0。所有患者分为两组,组 1 采用常规管电流(630 mA),共 18 例患者;组 2 采用低管电流[(260~375) mA, (310.42±54.83) mA],共 20 例患者。所有患者均选用 70keV 单能图像。组 1、组 2 图像根据采用 FBP 和 ASiR 重建算法不同共分为四个亚组,命名为组 1A、组 1B 和组 2A、组 2B。对各组间图像比噪声比(CNR)、信噪比(SNR)和噪声进行比较。记录每位患者扫描后自动生成的 CT 剂量容积指数(CTDIvol),剂量长度乘积(DLP),并计算每位患者有效辐射剂量(ED),对组 1、组 2 之间的辐射剂量进行比较。采用 5 分法对图像进行主观评分。**结果:**组 2 的 CTDIvol 为(11.55±2.94) mGy,明显低于组 1 [(18.13±3.64) mGy, $t=6.17, P<0.01$]。组 2 的 ED 值为(4.48±1.34) mSv,较组 1 [(7.56±2.68) mSv]降低了 41% ($t=4.54, P<0.01$)。加入 50% ASiR 重建后,组 1B、组 2B 图像噪声分别较组 1A、组 2A 降低,而 SNR 及 CNR 均有升高,均值比较具有显著统计学差异($P<0.05$)。组 2B 的图像噪声较组 1A 降低,SNR 及 CNR 升高,两组间均值比较具有统计学差异($P<0.05$)。组 1A 与组 2B 的图像质量主观评分无显著统计学差异($Z=-0.16, P>0.05$)。**结论:**采用低毫安结合 ASiR 技术能够在不明显影响图像质量的前提下降低 41% 的有效辐射剂量,具有临床应用推广价值。

【关键词】 腹部; 体层摄影术, X 线计算机; 辐射剂量

【中图分类号】 R323.3; R814.42 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2015)10-1023-04

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2015.10.012

Feasibility of low-tube-current gemstone spectral imaging (GSI) associated with adaptive statistical iterative reconstruction (ASiR) used in upper abdominal CT angiography (CTA) WANG Qing-guo, WANG Zheng, ZHOU Zhi-guo, et al. Department of Radiology, the First Affiliated Hospital of Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200080, P. R. China

【Objective】 Abstract: To investigate the feasibility of low-tube-current GSI (gemstone spectral imaging) associated with adaptive statistical iterative reconstruction (ASiR) in reducing radiation dose without image quality deterioration in upper abdominal CTA (CT angiography). **Methods:** Thirty-eight patients who underwent GSI for upper abdominal CTA using a 64-row CT scanner (GE Discovery CT750 HD) were enrolled. Patients were divided into two groups: Group 1 ($n=18$) and Group 2 ($n=20$), they underwent CT scan with high tube current (630mA) and low tube current (260~375mA) respectively. The 70keV monochromatic images were reconstructed for all cases. Group 1 and Group 2 were divided into two subgroups (Group 1A, Group 1B and Group 2A, Group 2B) depending on different types of image reconstruction algorithm including filtered-back projection (FBP) and ASiR. The contrast to noise ratio (CNR), signal to noise ratio (SNR) and image noise were measured and calculated. The volume CT dose index (CTDIvol), dose length produce (DLP) and effective dose (ED) were recorded and calculated. A 5-score classification system was used to evaluate the performance of CT images quality by two senior observers. **Results:** The mean CTDIvol in Group 2 (11.55±2.94mGy) was significantly lower than that in Group 1 (18.13±3.64mGy) ($t=6.17, P<0.01$). The mean ED in Group 2 (4.48±1.34mSv) was significantly lower than that in Group 1 (7.56±2.68mSv) ($t=4.54, P<0.01$). The image noise of Group 1B and 2B were obviously reduced respectively compared with those in group 1A and 2A using 50% ASiR, while the SNR and CNR were increased ($P<0.05$). The image noise of Group 2B was lower than Group 1A, while the SNR and CNR were relatively higher ($P<0.05$). The image subjective quality scores had no statistically significant difference between Group 1A and Group 2B ($Z=-0.16, P>0.05$). **Conclusion:** Compared with high tube current GSI, 41% radiation dose reduction can be achieved by low-tube-current GSI associated with ASiR without degradation of image quality in abdominal CTA.

【Key words】 Abdomen; Tomography, X-ray computed; Radiation dosage

能谱 CT 血管成像(CTA)显示腹部血管,如肾动脉、门静脉明显优于传统混合能量 CT^[1-3]。但常规能

谱 CT 扫描的辐射剂量较高,成为其推广应用中的障碍。笔者在本研究中拟通过低毫安能谱扫描结合自适应统计迭代技术(adaptive statistical iterative reconstruction, ASiR)的应用,探讨其在降低上腹部能谱 CTA 辐射剂量的可行性。

材料与方法

1. 研究对象

本研究为前瞻性研究。入组标准:①肝肾功能正常;②临床怀疑腹主动脉疾患;③患者无急性出血性休克等危重症状;④无对比剂禁忌证。共搜集 2014 年 2—5 月疑似腹主动脉病变需要接受宝石能谱上腹部 CT 血管成像的患者 38 例,其中男 20 例,女 18 例,年龄 43~86 岁,平均(62.77 ± 11.59)岁。

满足入组标准的患者随机分为两组:常规能谱组 18 例(男 12 例,女 6 例,年龄 46~83 岁,平均为 60.57 ± 11.33 岁),命名为组 1,采用滤波反投影重建(filtered-back projection,FBP)者定为 1A 组,共 18 例,采用 50%自适应统计迭代重建(adaptive statistical iterative reconstruction,ASiR)者定为 1B 组,共 18 例;低剂量能谱组 20 例(男 8 例,女 12 例,年龄 45~86 岁,平均为 65.33 ± 11.84 岁)命名为组 2,采用 FBP 重建者定为 2A 组,共 20 例;采用 50%ASiR 者定为 2B 组,共 20 例。

2. 扫描设备及参数

采用 GE discovery CT 750 HD CT 扫描仪,禁食 8 h 以上,检查前饮清水 1000~1500 mL,急诊收治的患者检查前不行肠道准备和饮用清水。CT 增强扫描对比剂选用典比乐(碘帕醇,上海博莱科信谊药业有限公司),浓度为 370 mg I/mL,注射剂量为 450 mL I/kg,注射速率为 4.0 mL/s。扫描范围覆盖膈顶至腹主动脉分叉处。利用 SmartPrep 技术,放置感兴趣区(ROD)在双肾门水平腹主动脉上,当开始注射对比剂后 CT 值达到触发阈值 140 HU 后手动触发扫描。组 1 患者扫描时管电流为 630 mA;组 2 患者扫描时管电流为 260~375 mA[平均(310.42 ± 54.83) mA]。两组管电压均采用 140 kVp 和 80 kVp 瞬时双能切换,切换一次 0.5 ms,球管旋转速度为 0.6 s/r,螺距为 0.984,噪声指数设为 12.0。

3. 图像质量评估

图像客观评估:本研究中所有患者 CT 原始图像均导入 GE AW 4.6 工作站进行后处理。采用能谱分析软件后处理得到 70 Kev 能量图像,这在我们前期研究中被证实为最佳质量的单能图像。由一位有经验的放射科医师(工作年限为 5 年)在隐藏图像扫描参数的情况下进行图像各项测量。将感兴趣区(78.8 mm^2)均放置于右肾动脉开口水平的腹主动脉及同层面左侧背部竖脊肌上。测量感兴趣区内的信号强度(CT 值)和噪声(CT 值标准差)。所有数据均重复测量三次,计算得到平均值。信噪比(signal-to-noise ratio,SNR)计算方法为腹主动脉平均 CT 值/标准差。对比噪声

比(contrast-to-noise ratio,CNR)为(腹主动脉 CT 值—肌肉 CT 值)/腹主动脉噪声。

图像主观评估^[4]:所有图像均调节为标准腹部窗宽、窗位(400 HU/40 HU),由两名有经验的放射科医师(工作年限分别为 8 年和 10 年)采用双盲法进行评估。选取右肾动脉作为评估对象,采用 5 分法进行评估:5 分,清晰显示 3 级和 4 级分支,血管边缘清晰、锐利;4 分,清晰显示 3 级分支,血管边缘欠锐利;3 分,清晰显示 2 级分支,血管边缘欠锐利;2 分,显示 1 级分支;1 分,无法显示 1 级分支。图像质量评分 ≥ 3 分认为可以进行诊断。2 名医师图像质量评分一致性较好时,采用高年资医师的评估结果作为最终评分结果。

4. 有效辐射剂量评价

所有患者行 CT 扫描后自动生成剂量报告表,记录容积剂量指数(CT dose index volume,CTDIvol)和剂量长度乘积(dose length product,DLP)。有效剂量(effective dose,ED)=DLP $\times$ k,其中 k 为剂量转换系数,本研究中 k 值取 0.015。

5. 统计学方法

采用 SPSS 19.0 统计软件包分析。所有计量资料均以 $\bar{x} \pm s$ 表示。组间 70 keV 单能图像的噪声、SNR 和 CNR 两两比较采用 Student-Neman-Keuls 检验。采用 *t* 检验比较组 1 与组 2 的 CTDIvol 和有效辐射剂量。采用 Mann-Whitney 检验比较组 1A 和组 2B 图像评分。统计结果 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

1. 患者年龄、体重及体重指数比较(表 1)

表 1 患者临床资料比较

组别	组 1	组 2	<i>t</i> 值	<i>P</i> 值
男/女(例)	12/6	8/12	—	—
年龄(岁)	60.57 ± 11.33	65.33 ± 11.84	1.41	0.17
体重(kg)	68.42 ± 13.98	67.50 ± 13.47	1.17	0.87
体重指数(kg/m ²)	23.43 ± 3.19	23.42 ± 2.32	0.02	0.99

注:两组患者年龄、体重及体重指数均无统计学差异。

2. 图像质量客观指标比较

采用 50%ASiR 后,组 1B、组 2B 图像噪声分别较组 1A、组 2A 降低,而 SNR 及 CNR 均升高,均值比较具有显著统计学差异($P < 0.05$,图 1~4)。组 2B 的图像噪声较组 1A 降低,SNR 及 CNR 升高,两组间均值比较具有统计学差异($P < 0.05$,表 2)。

表 2 不同组噪声、SNR 及 CNR 平均值

参数	组 1A	组 1B	组 2A	组 2B
噪声	13.74 ± 2.08	$6.66 \pm 0.77^*$	10.78 ± 1.86	$5.89 \pm 0.76^*$
SNR	14.74 ± 3.33	33.33 ± 7.57	21.49 ± 6.55	40.59 ± 9.82
CNR	10.54 ± 3.00	25.28 ± 6.73	16.18 ± 4.78	31.23 ± 0.09

注:*组 1B 与组 2B 噪声组间比较无统计学差异。

3. 图像质量主观评分比较

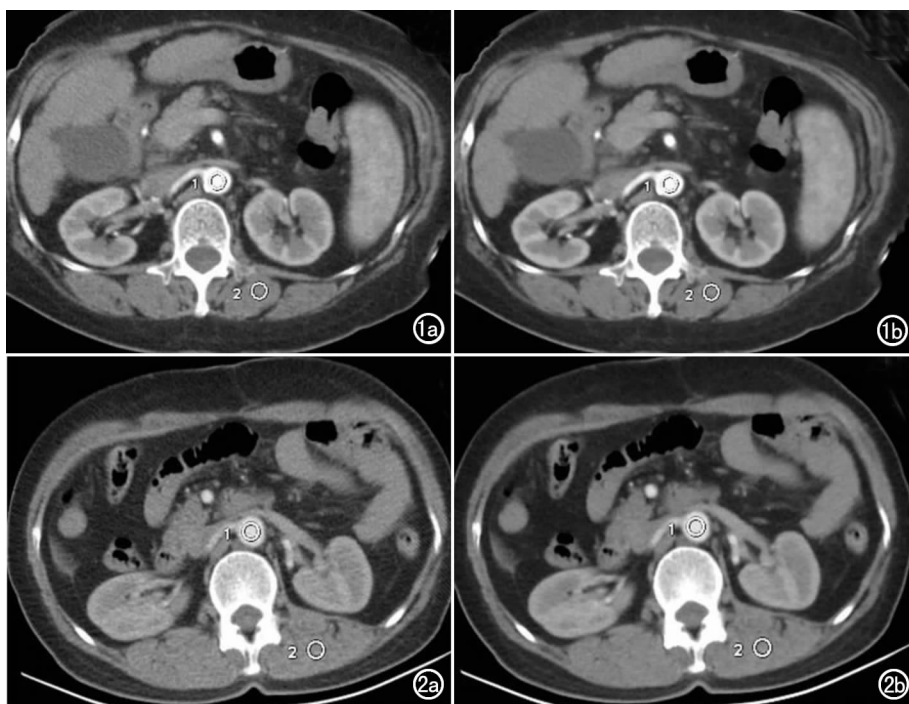


图 1 女,72 岁,BMI:25.40 kg/m²。a) 管电流:630 mA,GSI,FBP 重建;b) 管电流:630 mA,GSI,50% ASiR 重建。图 2 女,58 岁,BMI:23.40 kg/m²。a) 管电流:260 mA,GSI,FBP 重建;b) 管电流:260 mA,GSI,50% ASiR 重建。

组 1A 与组 2B 间图像质量主观评分无统计学差异($Z=-0.16, P>0.05$)。组 2A 的图像质量主观评分较组 2B、组 1A 和组 1B 低,均有统计学差异($Z=-2.26, -2.87, -4.31, P<0.05$)。

4. 辐射剂量比较

组 2 的 CTDIvol 为(11.55 ± 2.94) mGy,明显低于组 1[(18.13 ± 3.64) mGy]($t=6.17, P<0.01$)。组 2 的 ED 值为(4.48 ± 1.34) mSv,较组 1 的 ED 值(7.56 ± 2.68) mSv 降低了 41%($t=4.54, P<0.01$)。

讨 论

宝石能谱 CTA 能根据临床不同需求选取最理想的单能图像或基物质图像进行图像重组,较传统 CTA 能更为清晰的显示门静脉系统、优化动脉成像,并能有效减轻或者去除 X 线束硬化伪影,克服传统混合能量图像的不足,对有明显钙化斑块的动脉管腔狭窄程度的判断更为准确^[5,6]。由于常规能谱 CT 的球管电压 140 kVp/80 kVp 瞬时切换的同时无法实时调制管电流,因此扫描时只能采用单一较高的管电流来保证图像质量,从而导致能谱成像的剂量明显高于常规扫描,一定程度上限制了其在临床中的应用和推广。本文采用低毫安结合自适应统计迭代重建(ASiR)技术能够在不明显影响图像质量的前提下降低 41% 的有效辐射剂量,具有临床应用推广价值。

改善图像重建方式能够明显降低噪声和提高图像

质量,这成为降低 CT 辐射剂量的突破口^[7]。解析重建(analytic reconstruction, AR)和迭代重建(iterative reconstruction, IR)是 CT 图像重建的两种基本方法,前者代表性算法是滤过反投影(filtered back projection, FBP),其重建速度较快,但它要求每次投影测量数据是精确量化的和完全的,X 射线光子统计波动对它有很大影响,当辐射剂量降低或投影数据采集不足时,重建出的图像质量就会很差。研究证实采用 FBP 重建无法明显改善能谱 CT 血管成像的图像质量,其重要原因是能谱 CT 扫描模式下,采用 80 kVp 低压和 140 kVp 高压的瞬时切换,X 射线光子统计波动非常大,明显降低了 FBP 的重建效力^[8]。本文采用了 ASiR 技术,属于 IR 算法。理论上,IR 算法是在原始数据空间通过精确模型进行运算,并引入统计信息,进而获得优质图像,通过降低重建图像的噪声获得剂量优势,从而有效降低了 CT 辐射剂量。但能谱 CT 管电压波动很大,ASiR 技术是否能发挥作用存在争议。本研究结果显示加入 50% ASiR 后,图像的噪声较采用 FBP 明显降低,在常规能谱组中噪声降低了 51.53%,在低毫安能谱组中降低了 45.36% ($P<0.05$)。本研究采用低毫安能谱 CT 扫描后,平均有效辐射剂量较常规能谱组下降了 41%。因此采用低毫安能谱扫描结合 ASiR 技术可有效降低患者受辐射剂量,而不明显影响图像质量。

本文未对管电压的改变进行研究,仅对 BMI 正常的人群进行研究,对消瘦及肥胖人群未进行研究。

参考文献:

- [1] Hu D, Yu T, Duan X, et al. Determination of the optimal energy level in spectral CT imaging for displaying abdominal vessels in pediatric patients[J]. Eur J Radiol, 2014, 83(3): 589-594.
- [2] Qian LJ, Zhu J, Zhuang ZG, et al. Differentiation of neoplastic from bland macroscopic portal vein thrombi using dual-energy spectral CT imaging: a pilot study[J]. Eur Radiol, 2012, 22(10): 2178-2185.
- [3] Zhao LQ, He W, Li JY, et al. Improving image quality in portal venography with spectral CT imaging[J]. Eur J Radiol, 2012, 81(8): 1677-1681.
- [4] 刘义军,刘爱连,浦仁旺,等.腹部能谱 CT 血管成像低浓度对比剂扫描方案的可行性[J]. 中华放射学杂志, 2014, 48(10): 822-825.
- [5] Mileto A, Nelson RC, Samei E, et al. Dual-energy MDCT in hyper-

双能量能谱 CT 成像对壶腹周围癌诊断价值

韦炜, 余永强, 李小虎, 吕维富, 邓克学, 赵英明

【摘要】 目的:通过分析壶腹周围癌能谱 CT 参数特征,探讨能谱成像在判断不同组织来源壶腹部肿瘤中的应用价值。**方法:**将行能谱 CT 检查并经手术或活检病理证实的壶腹周围 88 例分成 3 组,其中胰头腺癌 39 例,胆总管末端腺癌 22 例,十二指肠乳头腺癌 27 例。分别测量增强各期病灶的能谱曲线斜率、水浓度、碘浓度及标准化碘浓度(NIC),采用单因素方差分析和 Scheffe 检验比较各能谱参数之间的差异。**结果:**三期增强扫描中,3 组之间水浓度无统计学差异($P>0.05$)。碘浓度:胆总管末端腺癌组分别为动脉期 23.34 mg/mL,门脉期 25.79 mg/mL,延迟期 25.52 mg/mL;十二指肠乳头腺癌组分别为动脉期 14.35 mg/mL,门脉期 18.15 mg/mL,延迟期 19.47 mg/mL;胰头腺癌组分别为:动脉期 10.10 mg/mL,门脉期 13.01 mg/mL,延迟期 12.88 mg/mL。标准化碘浓度:胆总管末端腺癌组动脉期 0.22,门脉期 0.59,延迟期 0.85;十二指肠乳头腺癌组动脉期为 0.16,门脉期为 0.39,延迟期 0.59;胰头腺癌组动脉期 0.09,门脉期 0.30,延迟期 0.46。斜率:胆总管末端腺癌组动脉期 2.51,门脉期 3.07,延迟期 2.83;十二指肠乳头腺癌组动脉期斜率为 1.64,门脉期斜率为 2.11,延迟期斜率为 2.21;胰头腺癌组动脉期斜率为 1.08,门脉期斜率为 1.30,延迟期斜率为 1.37;各值均为胆总管末端腺癌组最高,胰腺癌组最低,且两两比较均有统计学差异($P<0.05$)。**结论:**CT 能谱成像多参数联合诊断有助于鉴别壶腹周围癌的起源。

【关键词】 体层摄影术, X 线计算机; 腺癌; 诊断

【中图分类号】 R814.42; R730.261 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2015)10-1026-05

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2015.10.013

Preliminary study of dual energy gemstone spectral imaging in the diagnosis of periampullary carcinoma WEI Wei, YU Yong-qiang, LI Xiao-hu, et al. Anhui Provincial Hospital Affiliated to Anhui Medical University, Hefei 230001, P. R. China

【Abstract】 Objective: To investigate the value of dual-energy spectral computed tomographic imaging (DE SCT) in the diagnosis of carcinomas in the ampullary region. **Methods:** Eighty-eight patients with ampullary region carcinomas (39 pancreatic adenocarcinomas, 22 biliary adenocarcinomas, 27 duodenal papilla adenocarcinomas) underwent DE SCT prior to biopsy or surgery. The CT spectral imaging features were retrospectively analyzed, using one-way analysis of variance and Scheffe-test. **Results:** During tri-phasic enhanced scans, there were no significant differences in the concentration of water among three groups. The values of concentration of iodine were 10.10mg/mL (pancreatic adenocarcinomas) vs 23.34mg/mL (common bile duct adenocarcinomas) vs 14.35mg/mL (duodenal papilla adenocarcinomas) in arterial phase (AP), 13.01mg/mL vs 25.79mg/mL vs 18.15mg/mL in portal phase (PP) and 12.88mg/mL vs 25.52mg/mL vs 19.47mg/mL in delayed phase (DP). NIC (normalized iodine concentration) were 0.09 vs 0.22 vs 0.16 in AP, 0.30 vs 0.59 vs 0.39 in PP, and 0.46 vs 0.85 vs 0.59 in DP. Slope were 1.08 vs 2.51 vs 1.64 in AP, 1.30 vs 3.07 vs 2.11 in PP, and 1.37 vs 2.83 vs 2.21 in DP. The concentration of Iodine, NIC and slope were highest in the biliary adenocarcinoma group and lowest in the pancreatic adenocarcinoma group, and significant differences were seen among the three groups. **Conclusion:** DE SCT with multiple parameters can provide useful diagnostic information about the origin of masses in the ampullary region.

【Key words】 Tomography, X-ray computed; Adenocarcinoma; Diagnosis

作者单位: 230001 合肥,安徽省立医院放射科(韦炜、吕维富、邓克学、赵英明);230022 合肥,安徽医科大学第一附属医院放射科(余永强、李小虎)

作者简介: 韦炜(1977—),女,安徽旌德人,博士,副主任医师,主要从事腹部影像学诊断工作。

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金项目(81501468);2015 年安徽省科技厅公益性技术应用研究联动计划项目(15011d04028)

(上接 1025)

vascular liver tumors; effect of body size on selection of the optimal monochromatic energy level[J]. AJR, 2014, 203(6): 1257-1264.

[6] Pinho DF, Kulkarni NM, Krishnaraj A, et al. Initial experience with single-source dual-energy CT abdominal angiography and comparison with single-energy CT angiography: image quality, enhancement, diagnosis and radiation dose[J]. Eur Radiol, 2013, 23

(2): 351-359.

[7] Costello JE, Cecava ND, Tucker JE, et al. CT radiation dose: current controversies and dose reduction strategies[J]. AJR, 2013, 201(6): 1283-1290.

[8] Arcadi T, Maffei E, Mantini C, et al. Coronary CT angiography using iterative reconstruction vs. filtered back projection: evaluation of image quality[J]. Acta Biomed, 2015, 86(1): 77-85.

(收稿日期: 2015-05-18 修回日期: 2015-07-20)