心血管影像学

心电门控模式下能谱扫描和传统扫描 CT 值与碘对比剂浓度相关 性的比较

秦将均,覃群,陈奕男,孟思,刘明,周晓陆,万象新,李志伟,夏黎明

【摘要】 目的:评价在心电门控模式下能谱扫描和传统扫描 CT 值与碘对比剂浓度的关系。方法:使用能谱 CT 对不 同浓度的碘对比剂(0~40 mg/mL)分别在心脏能谱模式、心脏非能谱模式、胸部能谱模式、胸部非能谱模式进行扫描,对 各模式下各能级图像(40~140 KeV,间隔 10 KeV)及传统非能谱扫描图像(80、100、120、140 kV)CT 值进行测量,分析 CT 值与碘对比剂浓度的关系。结果:四种扫描模式下,CT值和碘对比剂浓度均呈线性关系。对能谱模式、非能谱模式的 R^2 值进行配对秩和检验(P=0.112>0.05),二者之间没有明显的统计学差异。四种不同扫描模式的 R2 值进行非参数秩和 检验(γ^2 =3.6,P=0.308>0.05),说明四种不同扫描模式的 \mathbb{R}^2 值没有明显的统计学差异。但能谱模式的 \mathbb{R}^2 均值($\overline{\mathbb{R}^2}$ = 0.99953)高于非能谱模式($\overline{R^2} = 0.99940$),心脏能谱模式($\overline{R^2} = 0.99972$)略高于胸部能谱模式($\overline{R^2} = 0.99934$)。结论:能谱 扫描模式下心脏模式和非心脏模式的 CT 值和碘对比剂浓度均呈高度线性相关,可以用于 CT 值的定量测量。

【关键词】 体层摄影术,X线计算机;能谱成像;对比剂

【中图分类号】R814.42: 【文献标识码】A 【文章编号】1000-0313(2016)11-1062-04

DOI:10.13609/j. cnki. 1000-0313. 2016. 11. 009

Comparison of the correlation between CT attenuation value and iodine concentration of contrast medium using spectral CT under ECG-gated mode and traditional CT QIN Jiang-jun, QIN Qun, CHEN Yi-nan, et al. Department of Radiology, Hainan Province Nongken Sanya Hospital, Hainan 572000, China

[Abstract] Objective: To evaluate the relationship between the CT value and iodine concentration of contrast medium using spectral CT under ECG-gated mode and traditional CT. Methods. Contrast medium with different Iodine concentration (0~40mg/mL) were scanned using spectral CT under the following 4 modes: ECG-gated mode, non-ECG-gated mode, Spectral energy mode of chest and non-Spectral energy mode of chest. 40~140keV, interval 10keV were used in spectral CT and 80,100,120 and 140kV was used in traditional CT separately. The CT values were measured, the relationship of the CT values and the Iodine concentration of the contrast medium were analyzed. Results: Linear correlation were found between CT value and iodine concentration for all four modes. No significant statistic difference of R^2 was found between spectral and non-spectral modes (P=0.112>0.05). For the four different scanning modes, there were no significant statistic differences $(\gamma^2 = 3.6, P = 0.308 > 0.05)$. Yet, for the average value of \mathbb{R}^2 of spectral mode ($\mathbb{R}^2 = 0.99953$), which was higher than that of non-spectral mode ($\overline{R^2}=0.99940$), and spectral mode with ECG-gating mode ($\overline{R^2}=0.99972$) was slightly higher than that of traditional with ECG-gating mode ($\overline{R^2} = 0.99934$). Conclusion: The CT values of spectral mode no matter under ECG-gating or non ECG-gating were all showed high linear correlation with the Iodine concentration in contrast medium, which could be used in the quantitative measurement of CT attenuation value.

(Key words) Tomography, X-ray computed; Spectral imaging; Contrast medium

常规 CT 扫描中,球管发生的 X 射线是各种不同 能量水平 X 射线的混合,人体组织对不同能级 X 线的 吸收率具有差异,同时受线束硬化伪影、非线性部分容 积效应的影响,CT 值测量的可重复性和可复现性难 以得到保证,同样的组织在不同的扫描中可能呈现出 不同的 CT 值。因此在常规 CT 扫描中,CT 值的变化 并不能准确地反应组织和病变的密度变化,从而影响 诊断效果。能谱 CT 采用球管瞬时切换的模式,可以 同时采集 40~140 keV 水平的单能量图像,并依此计 算出不同能级水平的图像。单能量图像大大消除了射 线硬化伪影影响的同时,在每一个能级水平都能对同 一组织测量到不同的 CT 值,从而 CT 值可以在相同 能级下进行比较,使得利用 CT 值精确分析病灶成分 成为了可能^[1-2]。本文就不同管电压条件下 CT 值与 碘对比剂浓度之间的关系进行探讨。

材料与方法

作者单位: 572000 海南,海南省农垦三亚医院放射科(秦将均、覃 计看上述: 572000 词用,词用有私堂二亚区既成为村(采村石)早 群、孟思、刘明、周晓陆、万象新、李玉伟): 572000 海南,三亚市因幼保 健院超声科(陈奕男); 430030 武汉,华中科技大学同济医学院附属同 济医院放射科(夏黎明)

作者简介:秦将均(1968一),男,重庆人,硕士,主任医师,主要从事 心血管和腹部影像学诊断工作。

冒川旋带款,等于5月1日。 **通讯作者:**李志伟,E-mail:1055929017@qq.com **基金项目:**海南省卫生计生行业科研项目(13A210298,14A210259),三亚市医疗科技创新项目(2014YW18,2015YW36)

使用 300 mg I/mL 碘对比剂(欧乃派克,GE Healthcare)进行调配:编号为 1~8 号的同质玻璃试管,每个 试管长 10 cm,外径 2.5 cm,内径 1.8 cm。1~7 号管 分别注入 80 mL 经蒸馏水稀释的对比剂,浓度分别为 40、20、10、5、2.5、1、0.5 mg I/mL,8 号管注入等量蒸 馏水 作为对照,将所有试管置入均质模具(GE Healthcare)中同时扫描(图 1),模具直径 20 cm,高度 13 cm,试管之间间隔 45°沿模具环形排列。

2. 扫描参数

采用 GE Discovery CT 750HD 宝石能谱 CT 进行扫描,分别采用4种模式对1~8号试管进行扫描: 心脏能谱模式(前瞻性心电门控、轴扫模式)、心脏非能 谱模式(前瞻性心电门控、轴扫模式)、胸部能谱模式 (无心电门控、轴扫模式)、胸部非能谱模式(无心电门 控、轴扫模式)。4种扫描模式的视野、层厚、层间隔、 球管转速均保持一致:视野为 320 mm×320 mm,层 厚为 0.625 mm,层间隔为 0.625 mm,球管转速 0.35 s/r。

表1 不同扫描模式的参数和辐射剂量

扫描模式	kV	mA	CTDI (mGy)
心脏能谱(前门控、轴扫模式)	140/80	630	10.79
非能谱心脏(前门控、轴扫模式)	80	700	8.28
	100	485	10.76
	120	305	10.75
	140	215	10.80
胸部能谱(无心电门控、轴扫模式)	140/80	630	10.80
非能谱胸部(无心电门控、轴扫模式)	80	570	10.72
	100	305	10.77
	120	195	10.93
	140	125	10 70

3. 图像处理和统计学分析

所有原始图像在 GE AW4.6 工作站进行处理,取 相同的 ROI 进行 CT 值测量,测量三次取平均值,得 到的数据采用 SPSS 16.0 统计学软件计算回归决定系 数 R² 并进行配对秩和检验。

结果

在胸部能谱模式、胸部非能谱模式下,CT 值和碘 对比剂浓度均呈线性关系(图 2),胸部能谱模式和非 能谱模式的回归决定系数 R^2 分别为 0.99687 ~ 0.99998、0.99932~0.99946。在心电门控模式下,心 脏能谱成像和非能谱成像的 CT 值和碘对比剂浓度均 高度线性相关, R^2 分别为 0.99867 ~ 0.99997、 0.99921~0.99947。对能谱模式、非能谱模式的 R^2 值进行配对秩和检验,二者间差异无统计学意义(P=0.112)。

四种不同扫描模式的 R2 值进行非参数秩和检验, χ^2 =3.6,P=0.308,说明四种不同扫描模式的 R² 值差异无统计学意义。但从箱式图(图 3~4)分布上可以看出,能谱模式的 R² 均值高于非能谱模式,心脏能谱模式的 R2 均值高于胸部能谱模式。

表 2 不同扫描模式下各能级水平对应的 R²

扫烘描える冬姓	D ²	扫描ガガス久化	D ²
扫烟狭式及乐门	K	扫袖狭式及宗竹	K
心脏非能谱 100kVp	0.999440568	胸部非能谱 100kVp	0.999464841
心脏非能谱 120kVp	0.999332014	胸部非能谱 120kVp	0.999378289
心脏非能谱 140kVp	0.999319291	胸部非能谱 140kVp	0.999326374
心脏非能谱 80kVp	0.999547712	胸部非能谱 80kVp	0.999446785
心脏能谱 100keV	0.999847375	胸部能谱 100keV	0.9998219
心脏能谱 110keV	0.999734691	胸部能谱 110keV	0.999574752
心脏能谱 120keV	0.999556224	胸部能谱 120keV	0.99914376
心脏能谱 130keV	0.999282141	胸部能谱 130keV	0.998345872
心脏能谱 140keV	0.998859841	胸部能谱 140keV	0.996873441
心脏能谱 40keV	0.999920948	胸部能谱 40keV	0.999220977
心脏能谱 50keV	0.99995167	胸部能谱 50keV	0.999939034
心脏能谱 60keV	0.999965237	胸部能谱 60keV	0.999958229
心脏能谱 70keV	0.999973271	胸部能谱 70keV	0.999980386
心脏能谱 80keV	0.999955894	胸部能谱 80keV	0.999976029
心脏能谱 90keV	0.999913035	胸部能谱 90keV	0.999935085

讨 论

CT 值反应组织对 X 射线的吸收程度,病变组织 和正常组织间的 CT 值差异是影像诊断的重要依据。 但是对于常规 CT 扫描模式而言,球管发射的 X 射线



图 1 a) 1~7 号管对比剂浓度分别为 40、20、10、5、2.5、1、0.5mg I/mL,8 号管及中央试管注入蒸馏水作为对照; b) 心脏能谱 模式 70KeV 横轴面图像; c) 重建试管长轴位进行 CT 值测量,每个试管取 3 个等大的 ROI,三次测量取平均值。



施加心电门控的情况下,能谱扫描模式(70keV)与非能谱扫描模式(120kV)的 R² 曲线拟合,前者拟合度高于后者。 图 2

图 3 不同扫描模式比剂浓度和CT值回归曲线 R²分布。a)能谱模式优于非能谱模式:b)心脏能谱模式优于胸部能谱模式。 两种扫描模式、不同能量水平下 CT 值与碘对比剂浓度决定系数的变化情况。

图 4

具有多谱性,例如使用 80 kV 条件扫描时,球管所发射 的 X 线可能包含了 0~80 keV 所有能量的射线。这 种多谱性会导致线束硬化伪影的产生和 CT 值测量的 漂移^[3]。宝石能谱(gemstone spectral imaging,GSI) CT 的出现很好的解决了以上两个问题。GE 宝石能 谱 CT 采用单球管、瞬时(<0.5 ms)能级切换(80 kV 和140 kV)的方式,配合快速响应、低余晖的宝石分子 结构的探测器,扫描一次同时得到 80 kV 和 140 kV 两 组数据,并依此计算出 40~140 keV 所有能量水平的 单能量图像。单能量图像可以用于 CT 值的精确测 量,是CT诊断领域的一大进步^[4]。

对于常规 CT 扫描而言,相同的管电压条件下, CT 值随着碘对比剂浓度的增加而增大,二者呈线性 相关。所以常规 CT 扫描能够反映碘浓度的变化,其 最高相关系数在 80 kV 水平。大于 80 kV 水平时,相 关系数随着能量的增加而减少。相同的碘对比剂浓度 的 CT 值随着管电压的增加而减少。对于能谱 CT 扫 描而言,在相同的 keV 条件下,CT 值随着碘浓度的增 加而增加,二者呈明显的正向线性关系。在 40~ 70 keV水平,相关系数随着能量的增加而增加,心脏能 谱扫描模式和非心脏能谱扫描模式均在 70 keV 达到 峰值。在 70~140 keV 水平,相关系数随着能量的增 加而减小。因此,CT 值反映碘浓度的最佳水平在 70 keV水平,这一点与文献报道有差异,文献报道^[5]该 峰值处于100 keV 水平,分析原因可能与扫描层厚和 扫描 CT 机本身固有的系统误差有关, 文献使用 5 mm 层厚、5 mm 间隔进行扫描,本研究使用 0.625 mm 的 层厚、0.625 mm 层间隔进行扫描,应该更为准确。下 一步可能需要更多的研究比较,确定每台 CT 机的最 佳 keV 水平。

本研究中对 8 个水平的碘浓度进行扫描,表明常 规扫描模式下和能谱扫描模式下,CT 值和碘对比剂 浓度之间均存在相似的正向线性相关。也就是说,对 于两种扫描模式,CT 值可以反映碘浓度的变化。在 GSI模式下,CT 值与碘对比剂浓度的相关系数更高, 因此在单能量图像上测量 CT 值更为准确。另外,在 GSI模式下,可以调整 keV 来增加病变组织和正常组 织之间的对比,而常规 CT 仅能显示一组 CT 值。

能量 CT 提供了一种新的、关于病变 CT 值的研究方法^[6]。能谱扫描模式下 70 keV 下的 X 线能级与 扫描目标物密度的高相关性使得临床工作中,在相同 能级和相同的扫描模式 CT 值具有了可比性,可能在 病变的定性及随访上具有潜在的优势。同时低 keV 图像会增加图像的对比度,有利于发现微小病灶,值得 注意的是图像的噪声也会相应增加,应当在对比度和 噪声之间寻找一个平衡。最佳的对比度噪声比下能够 发现常规 CT 不能发现的微小病变^[7-10]。另外,GSI 扫 描可以提供 CT 值随着 keV 变化的曲线。特定物质 的表征曲线可以用于确定病灶内的组织成分,有助于 确定原发病灶^[11]。GSI 扫描的发展提供了类似研究 可能发展的方向。

参考文献:

[1] 任庆国, 滑炎卿, 李剑颖. CT 能谱成像的基本原理及临床应用[J]. 国际医学放射学杂志, 2011, 34(6): 559-563.

- [2] 林晓珠,沈云,陈克敏.CT 能谱成像的基本原理与临床引用研究 进展[J].中华放射学杂志,2011,45(8):798-800.
- [3] 朱晓红,刘斌,周勇,等.冠状动脉能谱 CT 单能量成像与混合能量 成像质量的比较[J].临床放射学杂志,2012,31(5):738-742.
- [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] Wang L, Liu B, Wu XW, et al. Correlation between CT attenuation value and iodine concentration in vitro; discrepancy between gemstone spectral imaging on single-source dual-energy CT and traditional polychromatic X-ray imaging[J]. J Med Imaging Radiat Oncol, 2012, 56(4); 379-383.
- [6] Schlomka JP, Roessl E, Dorscheid R, et al. Experimental feasibility of multi-energy photon-counting K-edge imaging in pre-clinical computed tomography[J]. Phys Med Biol, 2008, 53 (15): 4031-4047.
- [7] Lin X, Li W, Zhu Y, et al. Preliminary application of gemstone spectral imaging (GSI) in the diagnosis of tumors[J]. J Diagn Concepts Pract, 2010, 9(2):155-160.
- [8] Fletcher JG, Takahashi N, Hartman R, et al. Dual-energy and dual-source CT: is there a role in the abdomen and pelvis[J]. Radiol Clin North Am, 2009, 47(1):41-57.
- [9] Marin D, Nelson RC, Samei E, et al. Hypervascular liver tumors: low tube voltage, high tube current multidetector CT during late hepatic arterial phase for detection-initial clinical experience[J]. Radiology,2009,251(3):771-779.
- [10] Macari M, Spieler B, Kim D, et al. Dual-source dual-energy MDCT of pancreatic adenocarcinoma, initial observations with data generated at 80kVp and at simulated weighted-average 120kVp[J]. AJR, 2010, 194(1), W27-W32.
- [11] Langan DA. CT value and iodine concentration[M]. Waukesha Wis. Gemstone Spectral Imaging:GE White Paper. GE Healthcare,2008.

(收稿时间:2016-03-28)

下期要目

微钙化的计算机辅助分析对乳腺导管原位癌及 微浸润的诊断价值

原发性乳腺非霍奇金淋巴瘤影像特点分析 20 例胸腺神经内分泌肿瘤临床及 CT 特征分析 Stellar 光子探测器薄层重建对冠脉支架 CT 成像

效果的影响

- 特发性腹膜后纤维化的 MSCT 表现
- DTI 技术定量测量正常髌软骨的初步研究

- 体素内不相干运动联合扩散峰度成像模型对乳腺良恶性 病灶的鉴别诊断价值
- 体素内不相干运动扩散加权成像(IVIM-DWI)定量研究 育龄期女性正常子宫月经周期内微循环变化
- 心肌梗死后微观结构重构的扩散张量成像和血清 TSP-1 的相关性
- 3D ASL 脑灌注成像:不同标记后延迟时间对血流测量的 影响