

Spectral CT: Clinical application and research progress

LEI Li-chang, CHEN Jian-yu*

(Department of Radiology, the Second Affiliated Hospital, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510120, China)

[Abstract] Advances in multi-detector technology and computer processing technology have made spectral CT imaging possible. On the basis of the improvement of X-ray tubes and X-ray detectors, spectral CT can obtain two images at different levels of energy at the same time and at the same phase to reconstruct high-definition and monochromatic images from 40 keV to 140 keV and even generate 3-materials decomposition images, virtual non-contrast images and specific spectrum curve. These imaging technologies provide reliable information to diagnose disease earlier and more accurately. Spectral CT is a promising technique with clinical application potential.

[Key words] Tomography, X-ray computed; Spectral imaging; Clinical application

能谱 CT 的临床应用与研究进展

雷立昌, 陈建宇*

(中山大学附属第二医院放射科, 广东 广州 510120)

[摘要] 多排螺旋 CT 技术的广泛应用及计算机后处理技术的不断发展, 使能谱 CT 成像从理论走向实践。能谱 CT 从球管和探测器等方面进行革新, 尽可能同时、同相位获得两个不同能量水平的图像, 从而重建出 40~140 keV 的高清单能量图像、多种基础物质密度图像、虚拟图像以及特异能谱曲线, 为疾病的早期发现、定性甚至定量诊断提供可靠依据, 为临床实践和科研提供更为广阔的发展空间。

[关键词] 体层摄影术, X 线计算机; 能谱成像; 临床应用

[中图分类号] R814.42 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1003-3289(2013)01-0146-04

随着多排螺旋 CT 技术的发展, 能谱 CT 成为 CT 技术研究的最新发展方向。能谱 CT 成像除可获得常规扫描图像外, 还可在不增加辐射剂量的基础上提供更多有利信息, 从形态和功能变化两个层面对疾病的发生、发展和预后进行评估和监测。

1 能谱成像原理

能谱 CT 基于人体同一组织对不同光子能量及不同组织对同一光子能量吸收能力的差异进行成像, 即根据能量水平差异和组织特异性两个参数成像。X 线的衰减具有能量依赖性, 光子能量越强, X 线波长就越短, 其物质穿透力就越强, 穿透过程中的衰减就减少,

反之亦然。因此, 利用不同能量水平的单能 X 线, 可得到相应能量水平的 X 线衰减系数, 从而重建 CT 图像, 即能谱成像^[1]。

人体各组织都有其特征性的 X 线吸收曲线。计算任意两种物质不同能量下吸收系数, 即可确定该物质的一条特征性吸收曲线, 并可获取其他 40~140 keV 能量范围内的单能量图像^[1]。根据 X 线的吸收特性可区分不同组织, 也可根据实际需要选择最佳单能量图像, 有效去除硬化伪影, 最优化显示正常组织和病灶。

能谱 CT 能将任何物质的 X 线吸收系数转化为任意 2 种基物质的吸收系数, 并达到与该物质相同的衰减效应。这些基物质的吸收系数也会随能量变化而变化。因此, 根据已知能量水平的某基物质吸收系数, 就可评价出该基物质的密度及空间分布, 从而实现物质组成成分的初步分析及物质分离^[2]。充分运用能谱

[作者简介] 雷立昌(1988—), 女, 云南宁蒗人, 在读硕士。研究方向: 骨骼、肌肉系统影像学诊断。E-mail: leilichang@126.com

[通讯作者] 陈建宇, 中山大学附属第二医院放射科, 510120。

E-mail: chenjianyu5562@163.com

[收稿日期] 2012-06-23 **[修回日期]** 2012-08-20

CT 重建技术,可在不增加辐射剂量的前提下提高两倍的信噪比^[3]。

2 能谱 CT 成像设备

能谱 CT 设备包括双源双能 CT 和快速能量切换单源双能 CT,其他如窄光子谱、光子计数探测器等技术仍在研究阶段。双源双能 CT 使用 A、B 两个 X 线球管和对应的探测器同时扫描,A 球管使用 140 kVp、FOV 50 cm,B 球管使用 80 kVp、FOV 26~33 cm,两个球管的光束在机架中心点处相互垂直,得到双能量数据后进行图像处理;但因两球管的视野不同,在肥胖患者可能造成视野缺失。快速能量切换单源双能 CT 使用单探测器、单球管,以两峰值管电压瞬时切换为特点,FOV 均为 50 cm,能几乎同时、同角度进行双能量采样,但对探测器即时区分高低能谱的能力要求极高^[4]。目前临床多用双源双能 CT。

3 能谱 CT 的临床应用

3.1 中枢神经系统 能谱 CT 多参数成像有利于显示和鉴别颅内病灶。普通增强 CT 显示的颅内出血高密度会遮盖强化的颅内肿瘤;结合能谱 CT 碘基物质密度图像和虚拟平扫图像,可清晰显示颅内出血灶和肿瘤病变,从而鉴别颅内肿瘤出血和单纯性出血^[5]。

3.2 呼吸系统 能谱 CT 双能量扫描模式可实现肺部形态及功能成像,对诊断肺内病变,如肺栓塞、孤立性肺结节及肺癌等有较大优势;可准确判断肺栓塞情况,尤其是亚段及末梢肺血管的栓塞情况及肺部动脉血管受压情况,还可判断预后^[6-7],其诊断肺栓塞的敏感度和特异性均高于普通 CT 肺血管造影及 MR 血管造影^[8-9]。利用能谱 CT 的双能量血管造影(dual energy computed tomography angiography, DE-CTA)还可对肺灌注缺损程度量化分析,为肺栓塞监测、治疗和预后判断提供有参考意义的指标^[10]。另外,通过能谱 CT 的碘基图和虚拟平扫图像能准确判断孤立性肺结节的精确 CT 值、病灶摄取碘的程度(强化程度)、肺结节和淋巴结内的钙化灶,80 kVp 的能谱 CT 图像还能清晰显示纵隔和肺门结构,准确判断淋巴结转移情况,从而鉴别良、恶性肺结节^[11]。能谱 CT 在诊断肺癌方面具有较大价值,可作为非小细胞肺癌功能成像的方法^[12]。

3.3 循环系统 能谱 CT 多参数成像与不同对比剂、心肌触发方法相结合,在冠心病诊断中有重要价值。首先,运用能谱 CT 双能量扫描模式并进行常规冠状动脉血管造影,不仅能分析冠状动脉血管形态,还可通过物质分离成像及其他能谱定量分析参数达到与

SPECT 及 MRI 心肌灌注图像近似的心肌梗死检出率^[13];研究^[14]表明运用能谱 CT 腺苷触发的心肌灌注成像诊断应力性冠状动脉狭窄的准确率和敏感度高于 MRA 及传统 CTA。其次,有机可溶性钆合成非晶体纳米胶体可与动脉粥样斑块破裂处的纤维蛋白高度选择性结合,并具有良好的信号敏感度,可作为能谱 CT 冠状动脉成像的分子显像剂,在显示冠状动脉疾病方面有良好的应用前景^[15]。假体实验研究^[16]表明,宝石能谱 CT 低剂量扫描可提高支架内测量值的准确率,尤其是直径较小(<3 mm)的支架,为支架植入术后再次狭窄及狭窄程度的评估提供了可靠手段。此外,DE-CTA 自动骨减影图像能即时、直观显示颅内动脉瘤,MIP 对显示外周血管狭窄性疾病有较高敏感度(84%)和中等特异度(76%),显示主动脉、髂动脉及股动脉的能力与 DSA 相似^[17-18]。

3.4 消化系统 能谱 CT 对腹部小病灶的检出、定性分析及鉴别有一定优势。与传统的 120 kVp 相比,能谱 CT 的单能量图像能提高组织间对比噪声比,增大病灶和正常组织间的衰减差异,而碘基图对细微的灌注异常亦具有较高的敏感度,两者结合不仅能提高肝内转移瘤、小肝癌及胰腺癌的检出率,准确诊断富血供的小胰岛细胞瘤和小肝癌等肿瘤性病变,还能根据灌注特点分析肿瘤侵犯范围,鉴别良恶性肿瘤^[19-20]。利用能谱 CT 成像可在一定程度上分析病灶的主要成分和性质。陈克敏等^[21]研究表明,能谱 CT 鉴别胰腺浆液性囊腺瘤和黏液性囊腺瘤诊断准确率可达到 100%;Kim 等^[22]认为能谱 CT 任何期相的虚拟平扫图像均可显示直径 >9 mm 和 CT 值 >78 HU 或不透 X 线的胆系结石;Bauer 等^[23]发现能谱 CT 能较准确地显示无或有极少钙化成分的胆固醇结石。另外,根据能谱曲线特点可区分正常组织及肿瘤病灶,提高肿瘤检出率,确定肿瘤性质及来源,如在门静脉期胃印戒细胞癌的碘基值比率(病灶碘基值/同期主动脉碘基值)明显高于管状腺癌,动脉期两组转移淋巴结的碘基值比率高于非转移淋巴结,可显著提高胃癌术前分期的准确率^[24]。

3.5 泌尿系统 利用能谱 CT 的碘叠加技术和虚拟平扫技术能在降低辐射剂量的基础上明确诊断和鉴别泌尿系病灶,如区分单纯性、出血性或复杂囊肿,鉴别肾透明细胞癌、肾血管平滑肌瘤等良恶性肿瘤^[25-26]。另外,能谱 CT 物质分离技术、单能量图及有效原子序数能较好地检出泌尿系阴性结石并分析结石主要成分,为无创性分析泌尿系结石的方法^[27]。

3.6 骨骼肌肉系统 能谱 CT 在痛风患者尿酸盐沉积的定量评价及骨关节结构的显示方面也有重要价值,可评估尿酸盐容量变化,有利于痛风的诊断和预后评估^[28]。MR 为检查膝关节内结构及关节周围软组织金标准,但有较多禁忌证。而能谱 CT 可清晰显示前、后交叉韧带及腓侧副韧带和膝横韧带等结构^[29],结合运用 VR、MPR 可多角度观察骨、关节结构,甚至半月板和膝关节韧带,并能系统、准确、及时地诊断急性骨骼创伤及其他骨关节病。能谱 CT 虚拟平扫图像可去除金属植入物引起的硬化伪影,有利于骨关节治疗后追踪复查。

3.7 内分泌系统 能谱 CT 对诊断内分泌靶器官病变具有较高敏感性。Gupta 等^[30]认为 140 kVp 和 80 kVp 之间衰减程度降低是肾上腺腺瘤细胞内含脂质成分的标志,有利于鉴别肾上腺腺瘤与肾上腺转移瘤等良恶性疾病。Li 等^[31]认为良恶性甲状腺结节在碘浓度、衰减曲线及有效原子序数方面呈现出各自的特征,且良性结节和癌旁组织水分含量较均匀、恒定。

4 展望

能谱 CT 利用不同的 X 线谱和某些化学元素的特性,检测全身各个系统形态和功能的改变,在成像方面显示出巨大优势。作为一种临床应用的新方法,能谱 CT 在全身各系统疾病的定性、定量诊断及预后评估方面必将得到更快的发展。

[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. 国际医学放射学杂志, 2011, 34(6):559-563.
- [2] 吴兴旺,刘斌,王乐,等. 宝石 CT 能谱成像血基图与 Hb、总蛋白的相关性. 中国介入影像与治疗学, 2011, 8(6):518-520.
- [3] Schenzle JC, Sommer WH, Neumaier K, et al. Dual energy CT of the chest: How about the dose? Invest Radiol, 2010, 45 (6): 347-353.
- [4] Ko JP, Brandman S, Stember J, et al. Dual-energy computed tomography: Concepts, performance, and thoracic applications. J Thorac Imaging, 2012, 27 (1):7-22.
- [5] Kim SJ, Lim HK, Lee HY, et al. Dual-energy CT in the evaluation of intracerebral hemorrhage of unknown origin: Differentiation between tumor bleeding and pure hemorrhage. AJNR Am J Neuroradiol, 2012, 33(5):865-872.
- [6] Pontana F, Remy-Jardin M, Duhamel A, et al. Lung perfusion with dual-energy multi-detector row CT: Can it help recognize ground glass opacities of vascular origin? Acad Radiol, 2010, 17 (5):587-594.
- [7] Bauer RW, Kerl JM, Weber E, et al. Lung perfusion analysis with dual energy CT in patients with suspected pulmonary embolism—influence of window settings on the diagnosis of underlying pathologies of perfusion defects. Eur J Radiol, 2011, 80(3):e476-e482.
- [8] Zhang LJ, Lu L, Bi J, et al. Detection of pulmonary embolism comparison between dual energy CT and MR angiography in a rabbit model. Acad Radiol, 2010, 17(12):1550-1559.
- [9] Zhang LJ, Zhao YE, Wu SY, et al. Pulmonary embolism detection with dual-energy CT: Experimental study of dual-source CT in rabbits. Radiology, 2009, 252(1):61-70.
- [10] Apfaltrer P, Bachmann V, Meyer M, et al. Prognostic value of perfusion defect volume at dual energy CTA in patients with pulmonary embolism: Correlation with CTA obstruction scores, CT parameters of right ventricular dysfunction and adverse clinical outcome. Eur J Radiol, 2012, 81(11):3592-3597.
- [11] Imafuji A, Hara M, Sasaki S, et al. Usefulness of dual-energy CT scanning at 80 kVp for identifying hilar and mediastinal structures: Evaluation of contrast enhancement of the pulmonary vessels and lymph nodes. Jpn J Radiol, 2012, 30(1):69-77.
- [12] Schmid-Bindert G, Henzler T, Chu TQ, et al. Functional imaging of lung cancer using dual energy CT: How does iodine related attenuation correlate with standardized uptake value of ¹⁸FDG-PET-CT? Eur Radiol, 2012, 22(1):93-103.
- [13] 周勇,刘斌,朱晓红,等. 宝石 CT 不同扫描及重建方式对冠状动脉支架图像质量的影响: 体模实验研究. 中国医学影像技术, 2012, 28(2):367-370.
- [14] Ko SM, Choi JW, Song MG, et al. Myocardial perfusion imaging using adenosine-induced stress dual-energy computed tomography of the heart: Comparison with cardiac magnetic resonance imaging and conventional coronary angiography. Eur Radiol, 2011, 21(1):26-35.
- [15] Pan D, Schirra CO, Senpan A, et al. An early investigation of ytterbium nanocolloids for selective and quantitative "multicolor" spectral CT imaging. ACS Nano, 2012, 6(4):3364-3370.
- [16] Tanami Y, Jinzaki M, Yamada M, et al. Improvement of instent lumen measurement accuracy with new high-definition CT in a phantom model: Comparison with conventional 64-detector row CT. Int J Cardiovasc Imaging, 2012, 28(2):337-342.
- [17] Zhang LJ, Wu SY, Poon CS, et al. Automatic bone removal dual-energy CT angiography for the evaluation of intracranial aneurysms. J Comput Assist Tomogr, 2010, 34(6):816-824.
- [18] Kau T, Eicher W, Reiterer C, et al. Dual-energy CT angiography in peripheral arterial occlusive disease-accuracy of maximum intensity projections in clinical routine and subgroup analysis. Eur Radiol, 2011, 21(8):1677-1686.
- [19] Robinson E, Babb J, Chandarana H, et al. Dual source dual energy MDCT: Comparison of 80 kVp and weighted average 120 kVp data for conspicuity of hypo-vascular liver metastases. Invest Radiol, 2010, 45(7):413-418.
- [20] 林晓珠,李卫侠,朱延波,等. 宝石能谱 CT 在肿瘤诊断中的初步应用. 诊断学理论与实践, 2010, 45(7):413-418.

- [21] 陈克敏, 林晓珠, 刘燕. CT 能谱成像在胰腺肿瘤诊断中的应用及前景. 诊断学理论与实践, 2011, 10(4): 313-315.
- [22] Kim JE, Lee JM, Baek JH, et al. Initial assessment of dual-energy CT in patients with gallstones or bile duct stones: Can virtual nonenhanced images replace true nonenhanced images? AJR Am J Roentgenol, 2012, 198(4): 817-824.
- [23] Bauer RW, Schulz JR, Zedler B, et al. Compound analysis of gallstones using dual energy computed tomography—results in a phantom model. Eur J Radiol, 2010, 75(1): e74-e80.
- [24] 庞丽芳, 张欢, 宋立涛, 等. 宝石 CT 能谱成像在胃癌诊断中的初步应用研究. 外科理论与实践, 2011, 16(3): 244-247.
- [25] Song KD, Kim CK, Park BK, et al. Utility of iodine overlay technique and virtual unenhanced images for the characterization of renal masses by dual-energy CT. AJR Am J Roentgenol, 2011, 197(6): W1076-W1082.
- [26] Hartman R, Kawashima A, Takahashi N, et al. Applications of dual-energy CT in urologic imaging: An update. Radiol Clin North Am, 2012, 50(2): 191-205.
- [27] Manglaviti G, Tresoldi S, Guerrer CS, et al. In vivo evaluation of the chemical composition of urinary stones using dual-energy CT. AJR Am J Roentgenol, 2011, 197(1): W76-W83.
- [28] Choi HK, Al-Arfaj AM, Eftekhari A, et al. Dual energy computed tomography in tophaceous gout. Ann Rheum Dis, 2009, 68(10): 1609-1612.
- [29] Sun C, Miao F, Wang XM, et al. An initial qualitative study of dual-energy CT in the knee ligaments. Surg Radiol Anat, 2008, 30(5): 443-447.
- [30] Gupta RT, Ho LM, Marin D, et al. Dual-energy CT for characterization of adrenal nodules: Initial experience. AJR Am J Roentgenol, 2010, 194(6): 1479-1483.
- [31] Li M, Zheng X, Li J, et al. Dual-energy computed tomography imaging of thyroid nodule specimens: Comparison with pathologic findings. Invest Radiol, 2012, 47(1): 58-64.

《医学影像设备与工程》已出版

由甘泉、王骏主编的高等医学院校教材《医学影像设备与工程》由江苏大学出版社出版发行 (ISBN: 978-7-81130-375-9)。该书邀请院校、医院及相关企业的有关专家以及临床工程的一线人员组成编委会, 内容涵盖了医学影像设备结构、原理、电路分析、故障检修、质量控制等 17 个章节, 本书在对传统知识进行梳理的基础上, 增加了医学影像设备的最新信息, 力求在内容上与新设备、新技术同步并与临床接轨。

该书图文并茂, 约 60 万字, 330 页, 适合于医学影像诊断、医学影像技术、生物医学工程、医疗器械等专业使用。

欲购此书者请联系信箱: ganquan5706@163.com

