

- [19] Choi KU, Yun JS, Lee IH, et al. Lysophosphatidic acid-induced expression of periostin in stromal cell; Prognostic relevance of periostin expression in epithelial ovarian cancer[J]. *Int J Cancer*, 2011, 128(2):332-342.
- [20] Schramm A, Opitz I, Thies S, et al. Prognostic significance of epithelial-mesenchymal transition in malignant pleural mesothelioma[J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2010, 37(3):566-572.
- [21] Gillan L, Matei D, Fishman DA, et al. Periostin secreted by epithelial ovarian carcinoma is a ligand for V $\beta$ 3 and V $\beta$ 5 integrins and promotes cell motility[J]. *Cancer Res*, 2002, 62(18):5358-5364.
- [22] Ma D, Lu H, Xu L, et al. Mechanical loading promotes Lewis lung cancer cell growth through periostin[J]. *In Vitro Cell Dev Biol Anim*, 2009, 45(8):467-472.
- [23] Ouyang GL, Liu M, Ruan K, et al. Upregulated expression of periostin by hypoxia in non-small-cell lung cancer cells promotes cell survival via the Akt/PKB pathway[J]. *Cancer Lett*, 2009, 281(2):213-219.
- [24] Bao S, Ouyang G, Bai X, et al. Periostin potently promotes metastatic growth of colon cancer by augmenting cell survival via the Akt/PKB pathway[J]. *Cancer Cell*, 2004, 5(4):329-339.
- [25] Kang Y, Massague J. Epithelial-mesenchymal transitions: twist in development and metastasis[J]. *Cell*, 2004, 118(3):277-279.
- [26] Thiery JP. Epithelial-mesenchymal transitions in tumour progression[J]. *Nat Rev Cancer*, 2002, 2(6):442-454.
- [27] Morra L, Moch H. Periostin expression and epithelial-mesenchymal transition in cancer: a review and an update[J]. *Virchows Arch*, 2011, 459(5):465-475.
- [28] Yan W, Shao R. Transduction of a mesenchyme-specific gene periostin into 293T cells induces cell invasive activity through epithelial-mesenchymal transformation[J]. *J Biol Chem*, 2006, 281(28):19700-19708.
- [29] Shao R, Bao S, Bai X, et al. Acquired expression of periostin by human breast cancers promotes tumor angiogenesis through up-regulation of vascular endothelial growth factor receptor 2 expression[J]. *Mol Cell Biol*, 2004, 24(9):3992-4003.
- [30] Orecchia P, Conte R, Balza E, et al. Identification of a novel cell binding site of periostin involved in tumour growth[J]. *Eur J Cancer*, 2011, 47(14):2221-2229.
- [31] Kudo Y, Iizuka S, Yoshida M, et al. Periostin directly and indirectly promotes tumor lymphangiogenesis of head and neck cancer[J]. *PLoS One*, 2012, 7(8):e44488.
- [32] Sampieri K, Fodde R. Cancer stem cells and metastasis[J]. *Semin Cancer Biol*, 2012, 22(3):187-193.
- [33] Vermeulen L, De Sousa E Melo F, van der Heijden M, et al. Wnt activity defines colon cancer stem cells and is regulated by the microenvironment[J]. *Nat Cell Biol*, 2010, 12(5):468-476.
- [34] Malanchi I, Santamaria-Martinez A, Susanto E, et al. Interactions between cancer stem cells and their niche govern metastatic colonization[J]. *Nature*, 2012, 481(7379):85-89.
- [35] 刘国晓, 郝洪庆, 孙晓艳, 等. 骨膜蛋白在胃癌转移中的作用及其相关拮抗分子的研究进[J]. *中华医学杂志*, 2014, 94(46):3691-3693.
- [36] Wang W, Ma JL, Jia WD, et al. Periostin: a putative mediator involved in tumour resistance to anti-angiogenic therapy? [J]. *Cell Biol Int*, 2011, 35(11):1085-1088.
- [37] Lee YJ, Kim IS, Park SA, et al. Periostin-binding DNA aptamer inhibits breast cancer growth and metastasis[J]. *Mol Ther*, 2013, 21(5):1004-1013.
- [38] Field S, Uyttenhove C, Stroobant V, et al. Novel highly specific anti-periostin antibodies uncover the functional importance of the fascilin 1-1 domain and highlight preferential expression of periostin in aggressive breast cancer[J]. *Int J Cancer*, 2016, 138(8):1959-1970.
- [39] Landré V, Antonov A, Knight R, et al. p73 promotes glioblastoma cell invasion by directly activating POSTN (periostin) expression [J]. *Oncotarget*, 2016, 7(11):11785-11802.
- [40] Lister NC, Clemson M, Morris KV, et al. RNA-directed epigenetic silencing of Periostin inhibits cell motility[J]. *R Soc Open Sci*, 2015, 2(6):140545.

(收稿日期:2016-04-11 修回日期:2016-07-03)

• 综述 • doi:10.3969/j.issn.1671-8348.2016.32.040

## 宝石能谱成像在胰腺疾病诊断中的应用\*

田笑综述, 殷小平<sup>△</sup>, 周欢, 王佳宁, 赵亮审校  
(河北大学附属医院 CT/MRI 科, 河北保定 071000)

[关键词] 宝石能谱成像; 胰腺疾病; 诊断

[中图分类号] R576

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-8348(2016)32-4584-03

宝石能谱成像(gemstone spectral imaging, GSI)是采用宝石作为探测器材料, 利用 X 线的能量谱(简称为能谱)进行的

多参数成像模式, GSI 能够将人体组织和病变成分对不同 X 射线能量谱的差异表达出来, 从而能够显示更加精细的解剖结

\* 基金项目: 河北省青年自然科学基金项目(2015Q001); 河北省科技计划项目(15277740D)。 作者简介: 田笑(1978-), 副主任医师, 硕士, 主要从事腹部诊断方面的研究。 <sup>△</sup> 通讯作者, E-mail: cttianxiao@163.com。

构,而且能够对物质成分进行分析和定量分析。胰腺病变隐匿,血供丰富,早期诊断相对较困难,国内外影像工作人员对 GSI 在胰腺疾病的诊断与鉴别诊断、肿瘤的分期与治疗方面开展了许多研究。本文就 GSI 在胰腺疾病中的应用技术和诊断进行了综述。

## 1 GSI 技术与原理

宝石 CT 的主要部件探测器由石榴石(garnet)构成,纯度高,通透性高,反应速度快,是进行能谱成像和高清成像的基础。同时宝石 CT 还具备动态变焦球管、高低压瞬时切换高压发生器、高低频数据采集系统、迭代重建算法等硬件和软件,为能谱解析和重建奠定了基础。

能谱扫描后,通过能谱分析平台(GSI viewer)将能谱原始数据进行符合临床需求的分析,包括单能量图像、能谱曲线、有效原子序数、物质分离和定量测量,可以进行物质组成成分和物质分离分析,特别是对特定的基物质的图像进行分析和比较,实现能谱的临床应用。

**1.1 单能量图像** 宝石能谱 CT 能够在瞬时实现双能量数据同时采样,采用原始数据投影的模式对两组数据进行单能量重建,得到因 keV 的变化而 X 线衰减系数跟随变化所产生的 40~140 keV 共 101 个单能量图像,其中最佳 keV 的单能量图像,可获得最佳对比噪声比(CNR),即在这个能量水平病灶与实质脏器之间的衰减差异达到最大,噪声值降到最低,从而更有利于病灶的显示<sup>[1]</sup>,满足在不同能量水平下进行诊断疾病的需要<sup>[2]</sup>。

**1.2 有效原子序数(Eff-Z)** Eff-Z 指如果某元素对 X 射线的质量衰减系数与某化合物或混合物的质量衰减系数相同,该元素的原子序数称为某化合物或混合物的有效原子序数。CT 能谱成像可以显示不同病变和人体组织随着 X 线能量水平的变化而变化的 X 射线衰减系数,从而产生反应不同病变和人体组织对 X 射线的特征性能曲线。同时根据所得的能谱曲线能够计算出该病变或组织的有效原子序数(Eff-Z)。

**1.3 基物质图像** 宝石能谱 CT 在实现高低能量瞬时切换数据采样的同时,在投影数据空间,在提供水、钙、碘基不同成像条件下实现初步的基物质分析<sup>[3]</sup>。利用不同能量(keV)下的衰减曲线与其他组织衰减曲线的明显差异,将碘从图像中单独提取出来。碘图中脂肪 SD 值明显低于其他序列,故 CNR 明显提高,病变显示更加清晰。由于 CT 对比剂中主要含有碘,因此碘基图可见间接反映肿瘤的血供情况。另外还有水基图,在增强扫描的条件下实现模拟平扫,从而实现一次增强扫描可同时获得平扫和强化图像<sup>[4]</sup>。

**1.4 动态 500 排成像** 宝石能谱 CT 利用精确的控制系统,在低剂量的条件下,进行螺旋往复穿梭扫描技术,使得灌注范围远远超过探测器宽度的限制,在保证灌注时间分辨率和避免锥形束伪影的同时实现了 32 cm 四维动脉 CTA 和大范围灌注成像<sup>[5]</sup>,可以达到 500 排 CT 的覆盖范围,只需要一次扫描,一次对比剂注射,就能得到完整脏器的灌注参数和动态 CTA 图像,能够进行功能学和形态学的诊断。

## 2 GSI 在胰腺疾病诊断中的临床应用

**2.1 GSI 发现微小病变与低剂量成像病变筛查** 宝石 CT 通过选择合适的基物质和调整不同的能量水平,CT 能谱基物质图像和单能量图像能够特征的显示胰腺的微小病灶,避免对比剂硬化伪影和容积效应造成的小病灶的遗漏。如碘基图对碘剂分布的敏感性高,轻微的碘剂分布即可引起肉眼可辨的灰度改变,提高了微小病灶的检出率<sup>[6]</sup>。特别是当病灶小、存在多

发病灶时及当病灶类似血管影需要鉴别时,CT 能谱检测具有较大的优势。

宝石 CT 应用迭代重建算法,所需的投影数少,具有可以在数据不完全条件下成像的优点,实现低剂量成像<sup>[7]</sup>,Singh 等<sup>[8]</sup>研究指出,即使在腹部 CT 扫描 100 mAs 条件下(CTDIvol8.4Gy)采用 30% ASIR 重建图像仍然能够达到满意的图像质量。崔湧等<sup>[9]</sup>认为能谱 CT 在保证胰管胰腺组织显示高清的模式下进行低剂量扫描,故宝石 CT 能够明显减低患者辐射,从而可以进行低剂量的筛查胰腺疾病。

**2.2 GSI 对胰腺非肿瘤性病变的研究** 胰腺非肿瘤性病变主要是局限性胰腺炎、假肿瘤性胰腺炎、自身免疫性胰腺炎以及胰腺囊肿等疾病,其中对假囊肿的判断诊断胰腺炎的重要依据。急性胰腺炎和胰腺损伤是胰腺假囊肿形成的主要因素,假囊肿内不含有非液化的实性成分,董海鹏等<sup>[10]</sup>研究认为假囊肿内含有高密度物质,而非纯粹的水样液体,其能谱曲线为逐渐下降型的对数曲线,动脉晚期与门静脉期的能谱曲线一致,提示假囊肿在动态增强过程中没有强化,其有效原子序数、碘-水浓度在两期间无明显差异;增强后的能谱曲线较平扫有整体上升,但是曲线的形态基本保持不变。CT 能谱成像提供了更多的定量指标和分析工具,能够从多方面反映被检物体的物质。

## 2.3 GSI 对胰腺肿瘤的研究

**2.3.1 胰岛素瘤的诊断** 胰岛素瘤为胰腺神经内分泌功能性肿瘤,一般体积非常小,在 1~2 cm,肿瘤虽然为良性,发病率并不高,但是很小的肿瘤就能引发明显的低血糖,手术是唯一可以治愈的方法。传统 CT 因为肿瘤体积小,动脉早期强化显著等特点,定位较为困难,GSI 利用混合能量双期扫描,结合单能量图像及碘基图的联合诊断能够明显的提高病变的检出率,张静等<sup>[11]</sup>研究认为能谱 CT 对胰岛素瘤的检出率达到 96.7%,高于传统混合能量 CT 检出率 68.8%。

**2.3.2 寡囊型浆液性囊腺瘤和黏液性囊性肿瘤的鉴别** 在胰腺肿瘤中囊性肿瘤是最常见的一类肿瘤,约占胰腺肿瘤的 15%,主要包括浆液性囊性肿瘤、黏液性囊性肿瘤(MCNs)和导管内乳头状黏液性肿瘤。MCNs 偏恶性,侵袭性较强,术前诊断尤为重要,寡囊型浆液性囊腺瘤(SOA)与其影像学表现类似,应用传统 CT 较为难以鉴别。由于 MCNs 的囊液蛋白较多(包括部分肿瘤标记物),游离水分较少<sup>[12]</sup>,而两者在 CT 能谱成像上却具有明显不同的特征<sup>[13]</sup>,SOA 在动脉晚期 40~60 keV 及门脉期 40~50 keV 的 CT 值、有效原子序数、碘浓度、钙浓度等均低于 MCNs,在动脉晚期水浓度高于 MCNs,MCNs 的质量高于 SOA。

**2.3.3 胰腺癌的诊断** 胰腺癌是常见的消化系统恶性肿瘤,起病隐匿,发展快,预后差,缺乏有效的早期诊断。由于胰腺本身是富血供器官,低千伏 CT 扫描碘的信号强度是高千伏条件下的两倍<sup>[14-16]</sup>,富血供和乏血供病变与正常胰腺的对比更加明显,能够提高胰腺实质与肿瘤的 CT 差值及胰周血管强化效果<sup>[17]</sup>,能够明显的提高病变的检出率。薛华丹等<sup>[18]</sup>研究,碘图图像噪声低且图像对比度高,是能够提供胰腺实质-肿瘤对比噪声比最大的序列。另外碘图能够消除胰腺实质与病灶间平扫 CT 值的差异,仅仅提供强化差异,胰腺瘤灶在碘图上的 CT 值仅为 20 HU,肿瘤实质对比度高,病灶边缘清晰,有利于发现小胰腺癌病灶或与胰腺实质强化差异较小的癌灶。

**2.3.4 胰腺癌转移的诊断** 胰腺癌最常见的转移就是肝转移,能谱 CT 可以利用能谱成像的散点图、直方图和能谱曲线,

将胰腺癌患者肝内出现囊性低密度病灶与原发胰腺癌病灶进行能谱分析,若发现两种病灶的直方图和曲线图基本重合,其强化方式接近,能谱特征相似,从而表明肝内囊性病灶与胰腺病灶为同源,做出胰腺癌肝转移的诊断;而若胰腺癌患者同时存在肝内小囊肿,两者的能谱直方图和曲线图则完全分开,两者的能谱特征完全不同,表明肝内囊性病灶与胰腺病灶非同源,从而做出肝脏非转移的诊断。

**2.3.5 GSI 能够评价胰腺癌的治疗效果** GSI 通过测定胰腺局部组织的碘水平,进而测得该区域组织的血流灌注量,从而可以分析局部组织的血流灌注情况<sup>[19]</sup>,王明亮等<sup>[20]</sup>研究显示,GSI 能够在活体内进行肿瘤碘含量的测定,评估肿瘤的微循环灌注情况,因此 GSI 可以作为测评肿瘤内新生血管情况以及判定抗血管生成治疗疗效的重要参考标准。同时栗鸿民等<sup>[21]</sup>认为可以通过测量肿瘤内碘含量的变化来评价胰腺癌的生物治疗的疗效,为临床上判定肿瘤治疗效果提供重要的参考。

### 3 展 望

GSI 可以反映组织的能量分辨率和化学分辨率,将 CT 诊断从形态学转入功能学领域的诊断,给临床应用和科研带来了诸多前所未有的突破,大大提高了 CT 影像诊断的准确性和安全性。相信随着研究的不断深入及技术的逐步开发和完善,GSI 在胰腺疾病的早期检测、准确诊断与鉴别诊断、评估定性和定量以及治疗随访中发挥出更多的作用。

### 参考文献

- [1] 林晓珠,沈云,陈克敏. CT 能谱成像的基本原理与临床应用研究进展[J]. 中华放射学杂志, 2011, 45(8): 798-800.
- [2] 施婷婷,俞海平,何健,等. 放射性骨损伤动物模型的建立及其能谱 CT 表现[J]. 实用放射学杂志, 2012, 28(6): 954-958.
- [3] Johnson TR, Krauss B, Sedlmair M, et al. Material differentiation by dual energy CT: initial experience[J]. Eur Radiol, 2007, 17(6): 1510-1517.
- [4] 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.
- [5] 邓凯,张成琪,李伟,等. 宝石能谱 CT 的特点及临床应用价值[J]. 中国医药导报, 2011, 8(25): 16-17.
- [6] Brown CL, Hartman RP, Dzyubak OP, et al. Dual-energy CT Iodine overlay technique for characterization of renal masses as cyst or solid: a phantom feasibility study[J]. Eur Radiol, 2009, 19(5): 1289-1295.
- [7] Thibault JB, Sauer KD, Bouman CA, et al. A three-dimensional statistical approach to improved image quality for multislice helical CT[J]. Med Phys, 2007, 34(11): 4526-4544.
- [8] Singh S, Kalra MK, Hsieh J, et al. Abdominal CT: comparison of adaptive statistical iterative and filtered back projection reconstruction techniques[J]. Radiology, 2010,

257(2): 373-383.

- [9] 崔湧,孙应实,高顺禹,等. 宝石探测器 CT 与常规探测器 CT 对正常胰管显示的比较[J]. 中国医学影像技术, 2011, 27(11): 2253-2256.
- [10] 董海鹏,林晓珠,徐学勤,等. 胰腺假性囊肿的 CT 能谱特征[J]. 中国医学计算机成像杂志, 2013, 19(1): 53-56.
- [11] 张静,林晓珠,徐学勤,等. CT 能谱成像在胰岛素瘤诊断中的初步研究[J]. 放射学实践, 2012, 27(3): 250-253.
- [12] Lin XZ, Wu ZY, Tao R, et al. Dual energy spectral CT imaging of insulinoma-Value in preoperative diagnosis compared with conventional multi-detector CT[J]. Eur J Radiol, 2012, 81(10): 2487-2494.
- [13] 林晓珠,陈克敏,吴志远,等. CT 能谱成像在鉴别胰腺寡囊型浆液性囊腺瘤与黏液性囊性肿瘤中的价值[J]. 中华放射学杂志, 2011, 45(8): 713-717.
- [14] Morris-Stiff G, Lentz G, Chalikhonda S, et al. Pancreatic cyst aspiration analysis for cystic neoplasms: mucin or carcinoembryonic antigen—which is better? [J]. Surgery, 2010, 148(4): 638-644.
- [15] Sangwaiya MJ, Kalra MK, Sharma A, et al. Dual-energy computed tomographic pulmonary angiography: a pilot study to assess the effect on image quality and diagnostic confidence[J]. J Comput Assist Tomogr, 2010, 34(1): 46-51.
- [16] Marin D, Nelson RC, Schindera ST, et al. Low-tube-voltage, high-tube-current multidetector abdominal CT: improved image quality and decreased radiation dose with adaptive statistical iterative Reconstruction algorithm—initial clinical experience[J]. Radiology, 2010, 254(1): 145-153.
- [17] Marin D, Nelson RC, Barnhart H, et al. Detection of pancreatic tumors, image quality, and radiation dose during the pancreatic parenchymal phase: effect of a low-tube-voltage, high-tube-current CT technique—preliminary results[J]. Radiology, 2010, 256(2): 450-459.
- [18] 薛华丹,刘炜,孙昊,等. 第二代双源 CT 双能扫描模式对胰腺癌的影像诊断价值初探[J]. 中国医学科学院学报, 2010, 32(6): 640-644.
- [19] 杨林,黄小华,张小明. 胰腺癌的 CT 灌注成像研究进展[J]. 程度医学院学报, 2010, 5(4): 335-338.
- [20] 王明亮,缪飞,林晓珠,等. CT 能谱成像评价胰腺癌抗血管生成治疗价值的价值[J]. 放射学实践, 2012, 27(3): 246-249.
- [21] 栗鸿民,赵卫东,蔡琳,等. 能谱 CT 碘基图对胰腺癌生物治疗疗效的分析[J]. 中国当代医药, 2012, 19(10): 13-14, 17.

(收稿日期:2016-04-22 修回日期:2016-07-15)