

宝石能谱 CT 在腹部病变中应用进展

张秋军 暴云锋 刘新平

(河北省人民医院医疗设备处, 石家庄 050051)

[摘要] 介绍能谱 CT 基本原理及国内外能谱 CT 技术在腹部病变应用研究结果。

[关键词] 宝石 CT; 能谱成像; 腹部病变

中图分类号: R 445 文献标识码: B 文章编号: 2095-5200(2015)04-016-03

DOI: 10.11876/mimt201504006

能谱成像与常规 CT 相比, 改变传统的 kVp 混合能量成像扫描模式, 转为 keV 单能量成像, 提供了多种定量分析方法与多参数成像为基础的综合诊断模式^[1]。本文对过去 6 年间, 能谱成像在腹部病变中应用文献进行总结。

1 能谱 CT 成像技术原理

CT 成像主要借助物质对 X 线的衰减作用。由于光电效应和康普顿散射这两种物理过程, X 线能量变化也同时影响着物质对 X 线吸收。任一物质均具有随 X 线能量衰减特征吸收曲线, 且该 X 线吸收系数可由其他任意两种基物质特征吸收曲线计算而来。因此, 随机选取两种基物质, 计算其在不同能量下 X 线吸收系数, 即可确定该物质一条特征性吸收曲线^[2]。物理学家们提供了水和碘 [$\mu_{\text{water}}(E)$ 和 $\mu_{\text{iodine}}(E)$] 以及许多纯物质和混合物质量吸收函数随能量变化曲线^[3]。水和碘作为基物质时, 组织在某种单能量下 CT 值计算方法为:

$$CT(x, y, z, E) = D_{\text{water}}(x, y, z) \mu_{\text{water}}(E) + D_{\text{iodine}}(x, y, z) \mu_{\text{iodine}}(E)$$

在该式中, $\mu_{\text{water}}(E)$ 为水 X 线吸收系数, $\mu_{\text{iodine}}(E)$ 为碘 X 线吸收系数, D_{water} 和 D_{iodine} 分别为水和碘物理密度。将某单能量下 μ_{water} 和 μ_{iodine} 代入上述公式, 即可准确获取物质吸收或 CT 图像。能谱成像具有“三同”性, 即同时、同向和同源性, 往往不受物质自主或非自主运动干扰, 能够达到准确硬化效果校正从而确保能谱成像准确性及可靠性^[4]。

2 能谱 CT 成像技术图像

能谱成像可以获得两种本质完全不同图像。一种是物质浓度图像, 也称之为物质特异性图像, 另一种为利用 80kVp 和 140kVp 原始数据, 在“原始数据

空间”(又名: 投影数据空间)产生单能量图像。相对于传统混合能量图像, 单能量图像可以减少硬化伪影, 进行更精准 CT 值测量^[5]。最近一个体模研究证实, 单能量图像可以减少肾囊肿假强化现象, 并发现 70keV 图像在视觉上和传统 120kVp 混合能量图像类似, 且其图像质量要优于 78keV 图像^[6]。Matsumoto 等^[7]对单能 keV 图像和混合能量 KVP 图像之间关系进行了研究, 结论是 70keV 图像中所测得 CT 值和 100kVp 图像更接近, 78keV 则更接近于 120kVp。Matsuda 等^[8]在单源瞬切能谱平台上利用椭圆形体模研究 CT 值稳定性, 发现 65keV 单能量图像 CT 值稳定性最好, 和体模形状无关; 然而传统 CT 的 CT 值在椭圆形体模中心和边缘部位存在明显统计学差异。其他研究者发现单源瞬切能谱平台 CT 值和碘含量之间存在很好相关性^[9-11]。

3 能谱 CT 成像技术应用

3.1 肝脏病变

能谱 CT 对腹部小病灶检出、定性分析及鉴别有一定优势。与传统 120kVp 相比, 能谱成像能够同时获得 (40 ~ 140) keV 单能量图像以及物质分离图像, 范围较宽, 可使组织间对比噪声比得到提高, 从而增强病灶与正常组织衰减间差异, 提高准确性。在此基础上, 碘基图能进一步弱化背景 CT 值、部分容积效应造成影响, 使碘剂分布情况得到准确表达, 提高敏感性。此外, 有学者指出, 轻微碘剂引起灰度改变肉眼即可辨别, 因此能够提高小病灶发现率, 避免漏诊^[12]。能谱 CT 成像不仅有助于病灶发现, 还可对其成分及性质分析提供依据。Yamada 等^[13]通过对 40 个肝脏病灶采用能谱 CT 成像模式扫描, 发现肝脏微小转移瘤平均碘(水)含量较肝脏小囊肿显著升高, 能谱 CT 成像特征上存在明显差异, 考虑与肝脏微小转

移瘤血供更为复杂、强化方式更为多样及原发癌不同有关,并指出碘浓度定量分析可用于鉴别肝脏微小转移瘤与小囊肿。另有研究结果显示,动脉期及门脉期时,单能量最佳对比噪声比(CNR)均显著高于混合能量CNR值,且其图像噪声最低值亦低于后者,其中,70keV单能量图像可同时确保CNR达到最高值及图像质量最佳^[14]。可以认为,能谱CT单能量能够成像在确保图像质量基础上进一步提高小肝癌CNR,相对常规扫描而言,更加有助于病灶检出。Wang等^[15]对病灶—正常组织比例(LNR)及规范化碘浓度(NIC)进行测量,并发现小血管瘤与小肝癌患者LNR及NIC之间均存在显著差异,表明能谱CT能够对小血管瘤与小肝癌鉴别诊断。

3.2 胰腺病变

以60keV单能量图像能够提供较为理想胰腺癌肿瘤—实质CT差值,碘图能够进一步提高图像对比噪声比、实质—肿瘤对比度,另一方面,非线性融合图像能够确保图像低噪声与高对比度,较线性融合图像而言,是更好的常规单源120kVp图像替代序列。赵丽琴等^[16]对27例胰腺囊性肿瘤进行能谱CT多参数比较,表明胰腺囊性浆液性囊腺瘤在动脉晚期(40-60)keV及门脉期(40-50)keVCT值、有效原子序数、钙浓度、碘浓度等均低于粘液性囊腺瘤,其动脉晚期水浓度高于粘液性囊腺瘤,两者囊性成份在能谱CT成像上具有显著差异,其诊断准确率可达到100%。

3.3 肾脏病变

借助能谱CT碘叠加技术以及虚拟平扫技术,在较低辐射剂量即可明确单纯性、出血性或复杂囊肿、肾透明细胞癌、血管平滑肌瘤等泌尿系病灶鉴别诊断。一般而言,为进一步明确尿路梗阻状态及患者肾功能变化,需行动脉期、静脉期及延迟期三期增强扫描。在延迟期利用双能量CT虚拟平扫技术可以对碘及结石作出鉴别,在减少平扫次数同时亦可降低患者所受辐射,有效保证了诊断敏感性与安全性^[17]。同样,利用对比增强双能量CT亦可对肾脏实施虚拟平扫,得到数据可用于肾脏良恶性肿瘤鉴别诊断,具有很好的影像质量以及准确CT值,有望逐步取代常规平扫CT。另外,能谱CT可通过物质分离、单能量图及有效原子序数等技术,使阴性泌尿系结石得以检出,并可明确结石主要成分,是一种无创性诊治泌尿系结石有效手段。

3.4 肾上腺病变

有学者对能谱CT单能量图像、能谱曲线、Effective-Z、基物质含量等多个方面进行研究,结果表明,肾上腺腺瘤细胞内含脂质成分时,其能谱CT单能量图像140kVp和80kVp之间衰减程度往往出

现明显降低,提示能谱CT在肾上腺腺瘤与肾上腺转移瘤等疾病鉴别诊断中,亦具有一定作用^[18]。此外,亦有报道指出,健康人群肾上腺平扫能谱曲线呈勺子型,在低keV区间曲线呈“U”型,并于60keV附近达到最低值,在高keV区间曲线较为平滑,并发现肾上腺良性结节可有3种能谱曲线表现,即上升型、勺子型和下降型,但交界性嗜铬细胞瘤及恶性肿瘤肾上腺平扫能谱曲线仅呈下降型。并且良性结节在不同能量下密度均明显低于嗜铬细胞瘤,嗜铬细胞瘤密度亦显著低于恶性病变。因此,能谱曲线特征性表现有助于结节良恶性判断^[19]。此外,有学者发现,肾上腺皮质腺瘤与肺腺癌肾上腺小转移瘤能谱曲线及能谱特征参数之间有差异,主要表现为:腺瘤组能谱曲线呈弓背上升型和缓降型,转移组能谱曲线呈速降型,在40keV时其CT值差别最大。且肺腺癌肾上腺小转移瘤Effective-Z,配对基物质中脂—钙及碘—水浓度均高于肾上腺皮质腺瘤^[20]。可以认为,能谱CT在肾上腺肿瘤性质鉴别诊断中亦具有可靠效果。

4 小结

能谱CT在腹部应用正在不断丰富。应用单能量图像可以更好发现病灶和观察病灶。同时单能量图像在低能量段可以提高碘CT值(因为更加接近碘K峰),因此利用单能量图像可以更少应用碘对比剂。应用基物质图像可以进行虚拟平扫、碘定量和结石成分定性分析。基物质图像还可以扩展到对非碘类物质定性和定量研究。能谱CT可以有效去除硬化伪影。能谱CT还可以在腹部多期扫描中省去平扫序列,从而降低患者辐射剂量。能谱CT利用不同X线谱和某些化学元素特性,在成像方面已经显示出巨大优势。

参 考 文 献

- [1] 杨伟洪,沈新平,潘娜,等.能谱CT诊断腹部多发病灶同源性初步研究[J].CT理论与应用研究,2013,22(3):396.
- [2] 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]. European journal of radiology, 2014, 83(3): 589-594.
- [3] 莫泳康,黄锦桩,马树华,等.肝脏动脉期CT能谱成像影像优选[J].国际医学放射学杂志,2014,37(1):1-5.
- [4] He J, Ma X, Wang Q, et al. Spectral CT demonstration of the superior mesenteric artery: comparison of monochromatic and polychromatic imaging[J]. Academic radiology, 2014, 21(3): 364-368.
- [5] 于晓坤,孙浩然,张立仁,等.能谱CT结肠成像探测结肠小息肉体模研究[J].中国临床医学影像杂志,2012,23(1):13-16.
- [6] Machida H, Fukui R, Tanaka I, et al. A method for selecting

- a protocol for routine body CT scan using Gemstone Spectral Imaging with or without adaptive statistical iterative reconstruction: phantom experiments[J]. Japanese journal of radiology, 2014, 32(4): 217-223.
- [7] Matsumoto K, Jinzaki M, Tanami Y, et al. Virtual monochromatic spectral imaging with fast kilovoltage switching: improved image quality as compared with that obtained with conventional 120-kVp CT[J]. Radiology, 2011, 259(1): 257-262.
- [8] Matsuda I, Akahane M, Sato J, et al. Precision of the measurement of CT numbers: comparison of dual-energy CT spectral imaging with fast kVp switching and conventional CT with phantoms[J]. Japanese journal of radiology, 2012, 30(1): 34-39.
- [9] Marin D, Boll D T, Mileto A, et al. State of the art: dual-energy CT of the abdomen[J]. Radiology, 2014, 271(2): 327-342.
- [10] 潘卫星, 米玉成, 樊树峰, 等. 肝脏能谱 CT 虚拟平扫成像替代传统 CT 平扫成像可行性研究 [J]. 医学影像学杂志, 2013, 23(7): 1041-1043.
- [11] Aoki M, Takai Y, Narita Y, et al. Correlation between tumor size and blood volume in lung tumors: a prospective study on dual-energy gemstone spectral CT imaging[J]. Journal of radiation research, 2014, 55(5): 917-923.
- [12] 张海波, 郭建平, 李荣成. 宝石能谱 64 排 CT 冠脉成像低剂量临床应用 [J]. 当代医学, 2013, 19(27): 51-52.
- [13] Yamada Y, Jinzaki M, Hosokawa T, et al. Abdominal CT: An intra-individual comparison between virtual monochromatic spectral and polychromatic 120-kVp images obtained during the same examination[J]. European journal of radiology, 2014, 83(10): 1715-1722.
- [14] Pinho D F, Kulkarni N M, 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]. European radiology, 2013, 23(2): 351-359.
- [15] Wang L, Liu B, Wu X, 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]. Journal of medical imaging and radiation oncology, 2012, 56(4): 379-383.
- [16] 赵丽琴, 贺文, 李剑颖, 等. 能谱 CT 对门静脉成像质量影响研究 [J]. CT 理论与应用研究, 2011, 20(3): 383-390.
- [17] 柏荣荣. 宝石 CT 能谱分析在壶腹周围癌诊断中临床研究 [D]. 扬州大学, 2013.
- [18] Jeong S, Kim S H, Hwang E J, et al. Usefulness of a Metal Artifact Reduction Algorithm for Orthopedic Implants in Abdominal CT: Phantom and Clinical Study Results[J]. American Journal of Roentgenology, 2015, 204(2): 307-317.
- [19] 潘召城, 林晓珠, 陈克敏. 能谱 CT 在腹部实质性脏器肿瘤中应用 [J]. 中国医学计算机成像杂志, 2013, 19(1): 4-6.
- [20] Pomerantz S R, Kamalian S, Zhang D, et al. Virtual monochromatic reconstruction of dual-energy unenhanced head CT at 65-75 keV maximizes image quality compared with conventional polychromatic CT[J]. Radiology, 2013, 266(1): 318-325.

(上接第7页)

- TIMP-2 are essential for the invasive capacity of human mesenchymal stem cells: differential regulation by inflammatory cytokines [J]. Blood, 2007, 109(9): 4055-63.
- [26] Nian M, Lee P, Khaper N, et al. Inflammatory cytokines and postmyocardial infarction remodeling [J]. Circ Res, 2004, 94(12): 1543-1553.
- [27] Egea V, von Baumgarten L, Schichor C, et al. TNF-13t respecifies human mesenchymal stem cells to a neural fate and promotes migration toward experimental glioma [J]. Cell Death Differ, 2011, 18(5): 853-863.
- [28] Tit, X M, Peyton K J, Shebib A R, et al. Activation of AMPK stimulates heme oxygenase-1 gene expression and human endothelial cell survival [J]. Am J Physiol Heart Circ Physiol, 2011, 300(3): 84-93.
- [29] Jazwa A, Stepniewski J, Zamykal M, et al. Pre-ruptive hypoxia regulated HO-1 gene therapy improves postischemic limb perfusion and tissue regeneration in mice [J]. Cardiovasc Res, 2013, 97(4): 115-124.
- [30] Yaghoubi S S, Campbell D O, Radu C G, et al. Positron emission tomography reporter genes and reporter probes: gene and cell therapy applications [J]. Theranostics, 2012, 2(1): 374-391.
- [31] Wu M L, Ho Y C, Lin C Y, et al. Heme oxygenase-1 in inflammation and cardiovascular disease [J]. Am J Cardiovasc Dis, 2011, 1(2): 150-158.
- [32] Terrovitis J V, Smith R R, Marbán E. Assessment and optimization of cell engraftment after transplantation into the heart [J]. Circ Res, 2010, 106(3): 479-494.
- [33] Henmann J L, Abarbanell A M, Wang Y, et al. Transforming growth factor enhances stem cell mediated postischemic myocardial protection [J]. Ann Thorac Surg, 2011, 92(5): 1719-1725.
- [34] Xiao Q, Wang S K, Tian H, et al. INF- α increases bone marrow mesenchymal stem cell migration to ischemic tissues [J]. Cell Biochem Biophys, 2012, 62(3): 409-414.
- [35] Armifiñ A, Gandfa C, Garcia Verdugo J M, et al. Mesenchymal stem cells provide better results than hematopoietic precursors for the treatment of myocardial infarction [J]. J Am Coll Cardiol, 2010, 55(2): 2244-2253.