

综 述

双能量CT技术在骨肿瘤影像诊断中的研究进展

昆明医科大学第三附属医院放射科
(云南 昆明 650118)

王 驰 丁莹莹 李 鹏

【中图分类号】R445.3; R738.1

【文献标识码】A

DOI: 10.3969/j.issn.1672-5131.2017.09.043

通讯作者: 丁莹莹

骨肌系统肿瘤及肿瘤样病变在临床中并不少见,其种类繁多、成分复杂、生物学行为各异,给骨肿瘤的诊治带来了困难。多数骨肿瘤临床症状缺乏特异性,影像学表现呈复杂性、多样性,而病理学检查受限于病变取材部位、大小以及病变内部成分如钙化、出血、坏死等因素,往往难以做出明确诊断。部分骨肿瘤临床症状不明显,生物学行为多样,临床早期常误诊为其他病变。因此,及时发现并准确诊断骨肿瘤有助于提高患者生存率,改善预后。

影像学检查是诊断骨肿瘤的重要手段之一。常用的影像学检查手段有X线、CT、MRI等。CT检查因其特点及优势已成为综合评价骨肿瘤的重要手段,多层螺旋CT平扫与增强相结合,能更好的显示病变的数目、位置、大小、形态、强化方式及生物学行为等关键信息,一定程度上提高了骨肿瘤诊断的准确率。随着近年来CT新技术的不断进步,双能量CT技术在临床和科研中发挥了越来越大的作用,对于多种疾病的诊断与鉴别方面有其独特的优势。因此,本文将对双能量CT技术的原理、发展、主要技术特征及其在骨肿瘤诊断中的应用等进行综述。

1 双能量CT原理及主要技术特征

1.1 双能量CT技术的基本原理及发展 X线的本质是具有波粒二象性的电磁波, X线通过物质的衰减程度由X线光子的光电吸收效应和康普顿散射效应共同决定,低能量光子以光电效应为主,高能量光子以康普顿效应为主。因此,不同能量的X线通过同一物质的衰减系数不同,不同能量的X线通过不同物质衰减系数变化幅度也不同,即任何物质都具有其对X线衰减的特征吸收曲线。双能量CT使用两种不同能量的X线(80/140KV)分别对物质进行成像,根据两种X线照射下X线衰减程度的差异对物质进行定位和成像显示,从而达到对物质进行识别、定性及定量分析的目的^[1-2]。CT能量成像的概念在20世纪70年代CT诞生时就已经被提出,在80年代也出现了关于双能量X线减影技术的相关研究,但由于当时技术条件的限制,直到近年双能量CT成像技术才被临床和科研广泛应用^[3]。

1.2 双能量CT的技术方法 目前较为成熟的双能量CT技术目前主要分为三大类:一是以美国GE公司为代表的能谱CT(Spectral CT)-Discovery CT 750 HD,采用单球管瞬时切换双kVp的技术,通过在扫描过程中连续快速切换球管电压(80/140KV)模拟出多个能量下的能谱图像,其探测器采用了宝石分子结构的材料,并加入相应的稀有元素,保证了两次数据采集的速度和时间分辨率^[3];二是以德国Siemens公司为代表的双源CT(Dual-source Computed Tomography, DSCT)-Siemens Somatom Definition Flash,其配备了两组互相垂直的X线球管及探测器同时独立工作,同时使用能谱纯化技术减少高低能量X线的重叠,保证了图像质量^[4];三是以德国Siemens公司为代表的单源双能CT-Siemens Somatom Definition AS,使用不同能量X线(80/140KV)进行两次连续扫描,经过精确图像配准后达到双能量扫描的目的。此外,还有以荷兰Philips公司为代表的双层探测器(三明治)CT技术,其采用深层探测器接收高能量的X线光子,表层探测器接收低能量的X线光子,达到双能量成像的目的,该技术尚不成熟,目前正在研究中。

双能量CT扫描后可得到2组不同管电压的图像数据,高管电压组图像质量较好,噪声小;而低管电压组图像噪声相对增加,但对比噪声比提高,有利于富血供或乏血供病变的检出^[5]。两组图像选择不同权重因子线性或非线性融合得到的融合图像结合了两组图像的优势,在显示病灶方面更有价值。

双能量CT在扫描后还可以使用多种衍生技术及图像后处理方法,其中包括:虚拟平扫图像、单能谱图像、能谱曲线、最佳CNR图像、优化对比图像以及基物质图像如碘图等。这些衍生技术广泛应用于人体各器官和系统,在多种疾病的诊断中发挥重要作用。

2 双能量CT技术在骨肌系统疾病中的应用

2.1 双能量CT技术在骨肌系统非肿瘤疾病中的应用

双能量CT技术目前已经广泛应用于多个器官和系统疾病,其中,在骨肌系统非肿瘤疾病中,已有不少文献证实双能量CT技术在骨肌系统疾病诊断中的价值。Glazebrook KN、邓凯等^[6-7]多位国内外学者报道,双能量CT技术在手、足、膝关节等多部位肌腱及韧带损伤诊断中有重要价值。Mallinson P等^[8]报道双能量CT在手、足等部位创伤的急性期可以清晰显示各肌腱、韧带的解剖结构、损伤及周围的水肿区。Artmann A、汪飞、张惠娟等^[9-11]报道双能量CT对痛风的诊断有很大帮助,双能CT是目前唯一通过分析扫描部位化学成分来显示尿酸盐结晶的成像方法。Wait JM、涂宁等人^[12-13]证实双能量CT所测量腰椎等部位骨质基物质图像容积CT值

与WHO推荐的双能X线吸收法(Dual X-ray Absorptiometry, DXA)密切相关,可简便易行的检测骨密度的变化,为骨质疏松患者和肿瘤内分泌治疗前后监测骨密度提供了可能。此外,双能量CT还广泛应用于去骨、去金属内固定伪影^[14],肢体血管造影^[15]及椎间盘突出症^[16]等多种骨肌系统疾病中。

2.2 双能量CT技术在骨肿瘤诊断中的应用

目前,双能量CT在肿瘤诊断中的价值主要分为以下几个方面^[17-19]:①单能量图像去除了硬化伪影和部分容积效应,提高了图像质量,因此能明确肿瘤的边界、提高富血供肿瘤和小病灶的检出率,这为肿瘤的早期诊断提供了帮助^[20];②定量计算双能量CT感兴趣区的有效原子序数并评估能谱曲线的形态可以指导一些无法确定来源的转移癌的诊断^[21];③特征性的能谱曲线可用于肿瘤的良恶性及病理学类型的鉴别^[21-22];④能谱成像技术可以帮助临床确定肿瘤的浸润范围,指导肿瘤的分级与分期^[17-19]。⑤双能量CT还能反映放疗后肿瘤血流动力学信息,进而可对治疗疗效进行评价^[23];此外,双能量CT去伪影技术能减除治疗过程中植入的粒子、支架及金属吻合器等造成的射线硬化和金属伪影,提高对复发肿瘤的检出率。

近年来,随着研究的深入,双能量CT技术在骨肿瘤早期、准确地定位、定性及分级等方面发挥着越来越大的作用。金晓青^[24]使用双源CT对30例颌骨肿物患者进行双能量(80/140KV)扫描,扫描范围自眼眶上缘至下颌骨下缘,对比140KV与80KV不同管电压图像得出,高电压显示肿瘤对颌骨侵犯及肿物与牙齿关系较好,

低电压显示肿瘤对软组织的侵犯价值较高。陈海松、邵晓栋^[25-26]通过宝石能谱CT研究100余例四肢软组织肿块的能谱曲线发现:恶性肿瘤的CT值-keV曲线呈速降型,良性肿瘤或肿瘤样病变曲线呈较为平缓的下降型,交界性肿瘤的曲线介于良恶性肿瘤之间,而脂肪性肿瘤的CT值随keV的增加而上升,其能谱曲线呈负值弓背向上形,进而得出CT能谱曲线对软组织肿块的良恶性鉴别诊断具有一定价值。贾梦等^[27]建立兔VX2恶性骨肿瘤髓内浸润模型并进行能谱CT扫描,分析肿瘤区域、移行区域及正常髓腔区域的能谱曲线特点发现:能谱曲线能和基物质图像可以显示肿瘤移行区并能鉴别肿瘤微观浸润和单纯骨髓水肿区,肿瘤微观浸润曲线斜率大于单纯骨髓水肿。庞婧等^[28]建立兔VX2恶性骨肿瘤髓外浸润模型并研究其能谱CT特点发现:软组织肿块强化区、瘤周水肿区及正常肌肉三者碘基值与能谱曲线特点有统计学差异,且瘤周水肿中近瘤缘区与近肌肉区碘值及能谱曲线斜率均有不同,前者平均水平高于后者。王兵等^[29]回顾性分析了多例经病理证实的肺癌患者胸腹部CT能谱图像,发现肺癌成骨性转移瘤混合能量和单能量CT值均低于骨岛,且密度较骨岛更均匀,肺癌与乳腺癌成骨性转移瘤在基物质图和ROC曲线中有一定的规律,其高keV图像在鉴别成骨性转移瘤和骨岛方面诊断效能较大。袁军辉等^[30]对比肺癌与乳腺癌脊柱成骨性转移瘤能谱CT特点发现:能谱CT单能量成像静脉期CT增强幅度可帮助鉴别乳腺癌与肺癌成骨性转移瘤,且在110keV是诊断效能较大;在能谱CT碘(水)和水(碘)静脉期增强幅度值及拟合曲线斜率中,乳

腺癌成骨性转移瘤高于肺癌成骨性转移瘤,基物质图像和能谱曲线在两者鉴别中有一定的价值。袁源等^[31]发现在脊柱肿瘤及肿瘤样变中,在40-80keV条件下,恶性组和非恶性组相同能级单能量图像CT值及能谱曲线斜率差异有统计学意义,得出能谱CT在鉴别良恶性脊柱肿瘤及肿瘤样病变中有较好的应用前景。杨魏^[32]分析了25例骨肌系统肿瘤及肿瘤样病变患者的能谱CT参数特征,发现能谱CT在鉴别病灶性质、分析肿瘤内部成分等方面有独特优势,对骨肌系统肿瘤诊断有一定的价值。Dong Y^[33]等学者通过94病例分析得出,能谱CT在肺癌骨转移与骨岛的诊断及鉴别中有一定的价值,110keV的虚拟融合图像在两者鉴别中有重要价值。Chen H等^[34]等对30例新西兰白兔VX2骨肿瘤模型进行双能量CT扫描,对照病理学样本发现双能CT能谱曲线可以确定肿瘤与正常组织过渡区的性质,对鉴别肿瘤髓内侵犯有一定的诊断价值。Zheng S等^[35]回顾性分析了102例存在椎体低密度病变肿瘤患者的能谱CT资料发现,双能量CT能准确鉴别溶骨性转移瘤与Schmorl结节,其中40keV的CT融合图像、k值、骨(水)及水(骨)基物质密度图有着更高的诊断价值。

3 双能量CT技术存在的问题与不足

虽然双能量CT技术广泛应用于临床和科研,但目前仍存在一些问题及不足:①结果有误差。Mitchell MG等^[36]的研究指出,瞬时切换电压式的能谱CT得出的单keV图测得的绝对CT值可能不准确。另外,双能量CT技术还会出现物质衰减失真和能谱误

差^[36-37];②辐射剂量较常规CT高,能量分辨能力差,图像质量下降。Jacob S等^[38]指出虚拟平扫图像信噪比较低,易导致小钙化灶等的漏诊。另外,为了降低双能量CT扫描的辐射剂量而调整的一系列扫描参数也会导致图像质量的下降;③目前双能量CT两种不同管电压条件下(80/140KV)的X线仍为混合能量的光子,从技术上无法纯化分离出单能量的X线,而且在扫描过程中也无法完全实现CT能量成像“三同”(同时、同向、同源)的原则^[2]。

尽管目前双能量CT检查在肿瘤诊断与鉴别方面取得了一定的成效,但国内外文献在骨肌系统疾病尤其是骨肿瘤及肿瘤样病变方面的报道甚少,且大宗病例的研究较少。随着CT技术的不断开发完善和研究的进一步深入,相信双能量CT技术会在骨肿瘤及肿瘤样疾病的诊断和鉴别方面发挥更重要的作用。

参考文献

- [1] 刘兴龙,孙宏,李琛玮,等. CT能量成像技术原理和应用[J]. 中国医疗设备, 2012, 27(9): 1-7, 45
- [2] 肖圣详, 吴国兵. CT能量成像技术的现状和未来[J]. 中国医疗设备, 2013, 28(2): 5-8.
- [3] 李小虎, 刘斌, 余永强, 等. 能谱CT的原理与临床应用价值[J]. 中国医疗器械信息, 2011, 17(10): 1-5.
- [4] 徐辉, 殷信道, 吴旻. 双源CT的临床应用进展[J]. 中国医疗设备, 2014, 29(12): 16-18.
- [5] Furlow B. Dual-energy computed tomography[J]. Radiol Technol, 2015, 86(3): 301ct.
- [6] Glazebrook KN, Brewerton LJ, Leng S et al. Case-control study to estimate the performance of dual-energy computed tomography for anterior cruciate ligament tears in patients with history of knee trauma[J]. Skeletal Radiol, 2014, 43(3): 297-305.

- [7] 邓凯, 张成琪, 李伟, 等. 宝石能谱CT在手足肌腱显示中的初步应用[J]. 临床放射学杂志, 2011, 30(10): 1501-1504.
- [8] Mallinson P, Antoniadou G, McLaughlin P et al. Dual-energy computed tomographic tendon algorithm in acute trauma: initial experiences[J]. J Comput Assist Tomogr, 2014, 38(3): 348-51
- [9] Artmann A, Ratzenbock M, Noszian I et al. [dual energy ct-a new perspective in the diagnosis of gout][J]. Rofo, 2010, 182(3): 261-6
- [10] 汪飞, 李梁, 余成新. 双能量CT对痛风的诊断及评价[J]. 中国医学影像学杂志, 2014, 22(1): 53-55.
- [11] 张惠娟, 林禾, 戴逸君, 等. 双能量CT在足踝关节尿酸盐结晶沉积分布的研究[J]. 中国CT和MRI杂志, 2015, 13(12): 105-106.
- [12] Wait JM, Cody D, Jones AK et al. Performance Evaluation of Material Decomposition With Rapid-Kilovoltage-Switching Dual-Energy CT and Implications for Assessing Bone Mineral Density[J]. AJR Am J Roentgenol, 2015, 204(6): 1234-41
- [13] 涂宁, 文之, 朱凌, 等. 双能CT评估骨密度[J]. 中国医学影像学杂志, 2014, 30(9): 1391-1394.
- [14] Han SC, Chung YE, Lee YH et al. Metal artifact reduction software used with abdominopelvic dual-energy CT of patients with metal hip prostheses: assessment of image quality and clinical feasibility[J]. AJR Am J Roentgenol, 2014, 203(4): 788-795.
- [15] Sun X, Liu C, Wang R et al. Dual source CT angiography in popliteal artery entrapment syndrome[J]. J Med Imaging Radiat Oncol, 2013, 57(2): 156-60
- [16] 韩巧林, 赵卫东. 能谱CT及其在腰椎间盘突出症中的临床应用价值[J]. 国际医学放射学杂志, 2014, 37(1): 50-53.
- [17] Simons D, Kachelriess M, Schlemmer HP. Recent developments of dual-energy CT in oncology[J]. Eur Radiol, 2014, 24(4): 930-939
- [18] 欧阳爱梅, 苏新友, 魏兆龙. 宝石

- 能谱CT成像在肿瘤诊疗中的应用进展[J]. 中国临床医学影像杂志, 2015, 26(8): 602-604.
- [19] 周健, 吕衍春. CT能谱成像在肿瘤诊断中的应用[J]. 中国神经肿瘤杂志, 2011, 9(4): 263-266.
- [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[J]. 诊断学理论与实践, 2010, 9(2): 155-160.
- [21] 黄玮, 田添, 孙国平. 宝石能谱CT成像在鉴别不同病理类型肿瘤及其转移淋巴结中的作用[J]. 安徽医药, 2013, 17(11): 1877-1880.
- [22] 鲁法美, 刘红艳, 李玉新. CT能谱多参数成像在鉴别肝癌和FNH中的应用价值分析[J]. 中国CT和MRI杂志, 2015, 13(8): 64-66, 73.
- [23] Sun YS, Zhang XY, Cui Y, et al. Spectral CT imaging as a new quantitative tool Assessment of perfusion defects of pulmonary parenchyma in patients with lung cancer[J]. Chin J Cancer Res, 2013, 25(6): 722-728.
- [24] 金晓青. 双源螺旋CT在颌骨肿物临床应用的初步研究[D]. 中国医科大学, 2008.
- [25] 陈海松, 李晓飞, 韩燕. CT能谱曲线对软组织肿块良恶性鉴别诊断意义[J]. 中华放射学杂志: 能谱征文论文集, 2011: 128-130.
- [26] 邵晓栋. 能谱CT在肌骨肿瘤良恶性鉴别中的价值[D]. 青岛大学, 2014.
- [27] 贾梦. 恶性骨肿瘤髓内浸润: 能谱CT与病理对照实验研究[D]. 青岛大学, 2013.
- [28] 庞婧. 恶性骨肿瘤髓外浸润[D]. 青岛大学, 2013.
- [29] 王兵, 董越, 郑邵微, 等. CT能谱成像鉴别诊断肺癌成骨性转移瘤与骨岛的价值[J]. 中国医学影像技术, 2014, 30(10): 1552-1556.
- [30] 袁军辉. 能谱CT成像对肺癌和乳腺癌脊柱成骨性转移瘤的鉴别诊断价值[D]. 大连医科大学, 2014.
- [31] 袁源, 张艳, 郎宁, 等. CT能谱曲线鉴别诊断脊柱肿瘤及肿瘤样病变[J]. 中国医学影像技术, 2015, 31(4): 600-603.
- [32] 杨巍. 能谱CT在肌肉骨关节系统肿瘤及肿瘤样病变诊断中的临床应用[D]. 2014, : 1-70
- [33] Dong Y, Zheng S, Machida H et al. Differential diagnosis of osteoblastic metastases from bone islands in patients with lung cancer by single-source dual-energy CT: advantages of spectral CT imaging[J]. Eur J Radiol, 2015, 84(5): 901-907
- [34] Chen H, Jia M, Xu W. Malignant bone tumor intramedullary invasion: evaluation with dual-energy computed tomography in a rabbit model[J]. J Comput Assist Tomogr, 2015, 39(1): 70-74
- [35] Zheng S, Dong Y, Miao Y et al. Differentiation of osteolytic metastases and Schmorl's nodes in cancer patients using dual-energy CT: advantage of spectral CT imaging[J]. Eur J Radiol, 2014, 83(7): 1216-1221
- [36] Mitchell M Goodsitt, Emmanuel G Christodoulou, Sandra C. Larson. Accuracies of the synthesized monochromatic CT numbers and effective atomic numbers obtained with a rapid kVp switching dual energy CT scanner[J]. Medical Physics, 2011, 38(4): 2222.
- [37] Kyung-Kook Park, Chang-Hyun Oh, Metin Akay, et al. Image enhancement by spectral-error correction for dual-energy computed tomography[J]. ConfProc IEEE Eng Med Biol Soc, 2011: 8491-8494.
- [38] Jacob Sosna, Shmuel Mahgerefteh, Liran Goshen. Virtual nonenhanced abdominal dual-energy MDCT: analysis of image characteristics[J]. World J Radiol, 2012, 28(4): 167-173.

(本文编辑: 汪兵)

【收稿日期】2017-07-24

(上接第 110 页)

- [2] A Chabrol, P Rousset, M Charlot, et al. Lesions of the ovary with T1-hypersignal[J]. Clinical Radiology, 2014, 69(10): 404-413.
- [3] 蒋元文, 刘松龄, 张云亭. T1WI颅内高信号的常见疾病及机制[J]. 现代神经疾病杂志, 2001, 1(10): 52-55.
- [4] 伍建林, 沈天真, 陈星荣, 等. 脑血肿内血红蛋白与其MR成像关系的研究[J]. 中华放射学杂志, 1996, 30(3): 193-196.
- [5] 冉永旺. 子宫内膜异位囊肿破裂的MRI应用价值[J]. 中国CT和MRI杂志, 2016, 14(2): 97-99.
- [6] 杨锐, 刘安陆, 赵年, 等. 3.0T MR在卵巢肿瘤诊断中的临床应用价值[J]. 中国CT和MRI杂志, 2016, 14(9): 98-100.
- [7] Matthys MK, Long SS, Huisman TA, et al. Posterior fossa dermoid cyst with a sinus tract and restricted diffusion on MR imaging: value of structural imaging findings and signal characteristics[J]. Journal Neuroradiol, 2012, 39(2): 134-135.
- [8] 逢利博, 范国光. Rathke裂囊肿的MR表现[J]. 中国临床医学影像杂志, 2012, 23(3): 193-195.
- [9] 霍梦娟, 尚晓静, 范淼, 等. 卵巢甲状腺肿的影像学特征[J]. 中山大学学报(医学科学版), 2016, 37(2): 289-294.
- [10] 张丹丹, 时惠平, 宋宏涛, 等. 卵巢成熟畸胎瘤恶变的MRI表现[J]. 中国中西医结合影像学杂志, 2017, 15(1): 45-47.

(本文编辑: 刘龙平)

【收稿日期】2017-08-07