

CT 能量成像在胆结石诊断及成分研究中的进展

张子田, 李松柏

【摘要】 胆结石作为常见的胃肠道疾病之一,其形成原因及成分复杂多样,胆结石的诊断方法种类繁多,其中 CT 对胆结石的诊断有着重要作用,随着 CT 能量成像技术的不断发展,能量成像在胆结石的诊断及成分分析方面有着越来越重要的作用,本文就近年来 CT 能量成像在胆结石的诊断及成分分析方面的进展作简要综述。

【关键词】 双能成像; 能谱 CT 成像; 体层摄影术, X 线计算机; 胆结石; 成分分析

【中图分类号】 R575.6; R814.42 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2018)05-0529-03

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2018.05.019

胆结石病是常见的胃肠道疾病之一,发达国家中此病的发病率高达 10%~20%^[1]。胆结石的形成原因复杂多样,不仅与胆汁的理化代谢改变相关^[2],还涉及遗传、不良生活习惯、感染等多个方面^[3]。对于胆结石的诊断及成分研究的手段多种多样,其中体外分析对于其结构、理化特性的分析较为准确,常常作为体内分析结果的评价标准,常用的分析方法有 X 射线衍射法、傅里叶变换红外光谱法、电子自旋共振谱分析法等,但其对于临床诊断治疗的帮助没有体内分析显著。体内分析可以诊断结石的位置、大小,预测分析人体内的胆结石成分,可以为临床治疗提供更多样化、更准确的信息,体内分析的方法有超声、CT 及 MRI。现阶段胆结石病的治疗主要有赖于胆囊切除术,但随着医学发展及人们对医疗质量要求的不断提高,保胆治疗逐渐成为治疗的新趋势,而明确结石的诊断及其成分则至关重要。随着 CT 技术的不断发展以及能量成像技术的广泛应用,近年来关于其在胆结石的诊断及成分分析方面的研究不断增多,本文就近年来 CT 能量成像在胆结石诊断及成分分析方面的研究作简要综述。

胆结石的分类

胆结石按成分主要可以分为胆固醇结石、胆色素结石及混合结石,按结石发生的部位又可分为胆囊结石、肝内胆管结石、肝外胆管结石。胆囊内的结石主要包括胆固醇结石及黑色胆色素结石,胆固醇结石内胆固醇重量在 95%以上,呈类球形,质地较硬,表面光滑或呈桑葚状,色泽浅黄;黑色胆色素结石是由胆色素钙化合物构成、质地松软易碎、表面光滑的黑色小球形结石。发生于胆总管内的结石主要是混合性胆固醇结石,由重量在 50%以上的胆固醇及胆色素、钙等构成,

颜色由浅黄至棕色不等,表面光滑,质地较硬。肝内胆管结石主要是棕色胆色素结石,由单一的钙或胆色素构成,质地可松软易碎,也可坚硬,表面呈多面球形结构^[4]。胆结石的成分复杂多样,但主要的构成成分为胆固醇、胆色素及钙等物质。

CT 能量成像的原理

1. 能量成像的原理

当 X 射线穿透物体时,可以产生光电效应、康普顿散射及电子对效应,射线被物质所吸收,产生衰减。由于电子对效应的发生概率较低,物质的 X 线衰减曲线主要由康普顿效应及光电效应决定。当 X 射线的能量一定时,不同的物质对于 X 线的吸收是不同的,所以会显示不同的 CT 值,而当能量发生变化时,物质对 X 线的吸收也会发生相应的变化,而且这种变化是可以量化测量的,能量成像是利用不同物质在不同能量的 X 线下的 CT 值及其变化不同,来区别不同物质的成分性质。CT 能量成像技术最早在 30 年前就有所研究^[5,6],但由于受限制于 CT 成像技术一直无法应用到临床实践中,直到双源 CT 和能谱 CT 的出现。

2. 双源 CT 的成像原理

双源 CT 是近年来新发展出现的一种新型 CT,其特点是拥有两套独立的互呈约 90°的 X 线球管及探测器^[7],使得扫描速度大大增加,两套 X 线源之间基本互不干扰,单独调整,可以同时进行两种不同能量的扫描,并在图像数据空间匹配,进行双能剪影分析,这种技术使得双能量扫描成为可能,但是双源 CT 也有其缺点,由于采用的是双源扫描技术,其探测器难免受到另一 X 线源的散射线影响,造成图像不准确,CT 值偏移等问题,另外双源 CT 其中一个球管的视野较小,因此双源 CT 能进行双能量扫描的检查区域也较小^[8],无法完成较大区域的扫描,这就意味着对于肥胖、体型较大或胆囊、胆管位置变异患者的检查难度有所增加,

作者单位:110001 沈阳,中国医科大学附属第一医院放射科

作者简介:张子田(1992-),男,沈阳人,硕士研究生,主要从事骨骼、神经及腹部影像诊断工作。

但随着技术的发展,其不足之处正在逐步完善。

3. 能谱 CT 的成像原理

能谱 CT 有着同时同源同向的优点,其能量成像可以做到能量的瞬时切换^[9]。物理学研究表明可以用两个已知的基础物质的衰减系数表示一个未知物质的衰减系数,能谱成像技术是将两种不同能量的吸收投影数据转换成基物质密度投影数据,求解出基物质对的密度在空间上的分布,并以此求出 CT 值。通常这两种密度值并不代表确切的物理成分,只是用这两种物质表示要确定的成分,任意两种物质都可以反映待测物质的吸收,常用的基物质为碘、水和钙,原则上可以选择任意两种物质,选择上述物质是因为医学常用且便于解释,但物质分离时一般会选择衰减性能明显不同,并且是待检测物质的两种成分的基物质对,比如利用尿酸和钙作为基物质对进行尿酸结石与钙化的鉴别^[10],此时基物质图像能使得基物质成分得到特异性的显示,且不显示另一种基物质。能谱 CT 的另一个特点是可以进行单能量成像,现有研究已经获得了许多基物质的衰减系数随能量的变化,利用已知的质量吸收函数和双能量扫描获得的密度分布,就可以求出任意能量下的待测物质的 CT 值,而且可以绘制能谱曲线,也可以通过生成最佳单能量图像以获得最大的对比度。能谱 CT 能在一次扫描中获得基物质图像、能谱曲线等多个参数,进而从形态学和功能变化等方面进行成像,能谱 CT 所特有的宝石探测器加上专有的高清算法,使其拥有目前 CT 中最高空间分辨率及密度分辨率^[11]。

CT 能量成像在胆结石诊断中的新进展

常规单源 CT 对于胆结石的鉴别主要依赖于胆结石与胆汁的 CT 值差异,而对于 CT 值与胆汁相近的结石只能通过胆囊、胆管等形态学改变来推测,难以准确诊断。目前 CT 能量成像对胆结石的诊断方面的研究,主要针对于减少患者的非必要重复受检,或者检测常规 CT 无法检测出的某些结石。

1. 虚拟平扫的应用

虚拟平扫是利用增强图像重建出平扫的图像,以减少患者不必要的射线量。Kim 等^[12]在研究中发现虚拟平扫对于胆结石的检出有重要价值,虚拟平扫对于胆结石的诊断有着中等准确度,但对于小于 9 mm^2 或胆管内低于 78 HU 的结石的显示有限制。Lee 等^[13]在虚拟平扫和真实平扫的比较研究中也发现,无论是胆固醇结石还是钙质结石,在虚拟平扫上的显示都比真实平扫上小。由于应用了双能量技术,使得虚拟平扫诊断胆固醇结石的灵敏度高于真实平扫,但是对于钙质结石的检测灵敏度低于真实平扫。

2. 胆结石的诊断研究

Chen 等^[14]的研究发现胆结石的能见度明显不同,能谱图像(40 keV、140 keV、钙基质和脂基质图像)的结石能见度与普通混合能量 CT 有着明显差异,且不同医师对于上述图像中胆结石与胆汁密度差异的评分评价有着良好的组间一致性($k=0.772$),40 keV、钙基和脂基图像优于普通混合能量,而 140 keV 图像劣于普通混合能量 CT,钙基质图像优于脂基质图像,能谱图像显示结石的能力高于普通混合能量 CT 图像,而阴性结石组与阳性结石组的比较结果说明低能量图像和基物质图像在阴性结石的诊断方面更有价值。

3. 阴性结石的诊断研究

虽然有些结石的 CT 值与周围胆汁的 CT 值相近,但由于两者的成分不同,在不同能量的扫描条件下 CT 值的变化不同,所以可以利用能量成像鉴别胆结石与其周围胆汁,从而达到诊断结石的目的。不同于对所有胆结石进行研究,Li 等^[15]对阴性胆结石进行了专门的研究,并且采用了最佳单能量成像,结果显示常规混合能量 CT 图像中胆汁与结石的 CT 值差异要明显小于最佳单能量 CT 图像,但是最佳单能量图像的能量分布不均,可能是由于感兴趣区物质的混杂成分不同所致,胆汁中的平均钙浓度要明显高于阴性结石,而胆汁中的平均脂质浓度小于阴性结石,阴性胆结石中的有效原子系数要小于胆汁。国内汪卫兵等^[16]对等密度胆固醇结石的研究显示单能量成像中随着能量的不断增加,胆结石的 CT 值逐渐增高,而胆汁的 CT 值则逐渐减低,结石的能谱曲线斜率与胆汁比较,差异有统计学意义,胆结石的单能量成像和能谱曲线有助于阴性胆结石的诊断。杨创勃等^[17]对阴性结石的研究中也采用了最佳单能量成像,且最佳单能量位于 40 keV,胆汁与阴性结石的 CT 值差异最大,而 60~80 keV 图像中胆汁与阴性结石的 CT 值差异无统计学意义,在脂、水和碘、水基物质图像中也可显示结石的存在,比较而言脂、水基物质图像更为明显。徐越等^[18]的研究表明阴性胆囊结石在高 KeV 和低 KeV 条件下可以清晰显示,阴性胆结石的能谱曲线为上升型,而胆汁的能谱曲线则为平坦或下降型。

CT 能量成像在胆结石成分分析中的研究进展

胆结石的构成成分多样,比例复杂,不同的成分在不同能量的 X 线下的 CT 值变化不同,是胆结石物质分离的基础。Bauer 等^[19]利用双源 CT 对胆结石的成分进行了体外研究,以化学分析的结果作为参考标准,双能量成像可以精确描述出结石中胆固醇(胆固醇成分大于 70% 且无钙成分)的特征性 CT 值,并与非胆固醇结石成分进行鉴别,敏感度为 95%,特异度为

100%。Yang等^[20]则对胆固醇结石进行了研究,胆固醇结石在脂基质图像上显示更加明亮,胆固醇结石脂的浓聚物要高于周围胆汁,40 keV和140 keV图像对于胆汁与胆固醇结石的显示有明显差异,利用40 keV和140 keV图像中胆汁与胆固醇结石的CT值变化可以有效诊断胆固醇结石,在其研究中对于胆固醇结石的诊断敏感度可以达到95%,特异度则为100%。国内金玉莲等^[21]针对阴性结石进行了成分方面的探索,比较分析阴性结石与肾周脂肪的能谱曲线,发现两者都为上升型曲线且相似,提示结石内部含有脂质成分(即胆固醇成分),70 keV CT值直方图显示部分感兴趣区CT值低于0 HU,同样提示结石内部含有脂质成分,阴性结石的有效原子序数也与脂肪相似,能谱CT为阴性胆结石的检测和成分分析提供了新的平台。

研究前景展望

能量成像在临床工作中应用广泛,目前对于胆结石的诊断方面研究较多,弥补了CT在阴性胆结石诊断方面的不足,但CT检查有辐射危害,且对于阴性结石的诊断尚未经过大量临床实践证实,笔者认为仅仅为了诊断胆结石而进行CT检查并不合适,超声检查诊断胆结石有着较高的准确度,经济简单、方便易学^[22],没有辐射危害,未来CT对于胆结石的研究应着重于胆结石成分分析方面,目前虽然对胆结石的治疗有赖于胆囊切除术,但其术后并发症较多,保胆治疗将是未来发展的主要趋势,明确胆结石的性质及结构构成对于治疗方法的选择至关重要。胆结石诊断研究为其成分研究奠定了一定基础,明确了胆汁在胆结石诊断中的作用,Bauer等^[19]进行的体外研究的假想模型忽略了胆汁的作用,其胆汁的替代物福尔马林等溶剂与胆汁的CT值虽然相近,但其理化性质、有效原子系数、CT值随能量的变化是否与胆汁相同尚未证实,且对胆结石的理化性质是否有影响也未知。Yang等^[20]的研究则表明对于胆结石成分研究的感兴趣区不应只局限于胆结石内部,虽然其研究目前只能区分较纯的胆固醇结石,但也给成分研究提供了良好的思路。胆汁的理化性质改变是结石形成的原因之一,胆汁的能谱曲线特征、有效原子序数是否与胆结石的成分有关也是很好的研究方向。

参考文献:

[1] Li X, Guo X, Ji H, et al. Gallstones in patients with chronic liver diseases[J]. Biomed Res Int, 2017, 2017(): 9749802.

[2] Pasternak A, Szura M, Gil K, et al. Metabolism of bile with respect to etiology of gallstone disease-systematic review[J]. Folia Med Cracov, 2014, 54(2): 5-16.

[3] 高飞, 李荣. 胆结石成因的理论研究现状与进展[J]. 中国医学创新, 2011, 8(26): 183-186.

[4] Lammert F, Gurusamy K, Ko CW, et al. Gallstones[J]. Nat Rev Dis Primers, 2016, 28(2): 16024.

[5] Vetter JR, Perman WH, Kalender WA, et al. Evaluation of a prototype dual-energy computed tomographic apparatus. II. Determination of vertebral bone mineral content[J]. Med Phys, 1986, 13(3): 340-343.

[6] Kalender WA, Perman WH, Vetter JR, et al. Evaluation of a prototype dual-energy computed tomographic apparatus. I. Phantom studies[J]. Med Phys, 1986, 13(3): 334-339.

[7] Flohr TG, McCollough CH, Bruder H, et al. First performance evaluation of a dual-source CT (DSCT) system[J]. Eur Radiol, 2006, 16(2): 256-268.

[8] 徐子森, 樊竟章, 王敏, 等. 炫速双源CT的原理、特点及临床应用[J]. 中国医疗设备, 2016, 31(6): 78-80.

[9] 贾永军, 贺太平. 宝石能谱CT临床应用及研究进展[J]. 实用放射学杂志, 2016, 32(5): 799-801.

[10] 陈翔, 朱庆强, 吴晶涛. 能谱CT基物质图像结合能谱曲线对痛风早期尿酸盐沉积的诊断价值[J]. 中华消化病与影像杂志(电子版), 2016, 6(4): 165-169.

[11] 刘金有, 郝丽丽, 蒋琅琅, 等. 宝石能谱CT技术特点及临床应用价值[J]. 实用医技杂志, 2015, 22(7): 735-737.

[12] 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? [J]. AJR, 2012, 198(4): 817-824.

[13] Lee HA, Lee YH, Yoon KH, et al. Comparison of virtual unenhanced images derived from dual-energy CT with true unenhanced images in evaluation of gallstone disease[J]. AJR, 2016, 206(1): 74-80.

[14] Chen AL, Liu AL, Wang S, et al. Detection of gallbladder stones by dual-energy spectral computed tomography imaging[J]. World J Gastroenterol, 2015, 21(34): 9993-9998.

[15] Li H, He D, Lao Q, et al. Clinical value of spectral CT in diagnosis of negative gallstones and common bile duct stones[J]. Abdom Imaging, 2015, 40(6): 1587-1594.

[16] 汪卫兵, 陈昌毅, 胡新杰, 等. 单能量成像及能谱曲线对胆囊等密度胆固醇结石的诊断价值[J]. 临床放射学杂志, 2014, 33(2): 217-220.

[17] 杨创勃, 贾永军, 于勇, 等. 宝石能谱CT在检出胆囊阴性结石中的临床应用[J]. 实用放射学杂志, 2015, 31(10): 1631-1634.

[18] 徐越, 顾海荣, 张原原. 能谱CT在胆囊阴性结石中的应用分析[J]. 实用医学影像杂志, 2016, 17(1): 66-68.

[19] Bauer RW, Schulz JR, Zedler B, et al. Compound analysis of gallstones using dual energy computed tomography—results in a phantom model[J]. Eur J Radiol, 2010, 75(1): e74-e80.

[20] Yang CB, Zhang S, Jia YJ, et al. Clinical Application of dual-energy spectral computed tomography in detecting cholesterol gallstones from surrounding bile[J]. Acad Radiol, 2017, 24(4): 478-482.

[21] 金玉莲, 张祥, 孙金磊, 等. 能谱CT在胆囊阴性结石诊断中的价值[J]. 中外医学研究, 2015, 13(22): 71-73.

[22] Gustafsson C, McNicholas A, Sonden A, et al. Accuracy of surgeon-performed ultrasound in detecting gallstones: a validation study[J]. World J Surg, 2016, 40(7): 1688-1694.