

双能量 CT 心脏成像的临床应用进展

魏森, 王思杭 综述 吕发金 审核

【摘要】 近年来,双能量 CT 心脏成像在国内外的研究逐渐增多,双能量 CT 虚拟单能谱成像可减少高密度对比剂所致的 X 线束硬化伪影,碘图则能反映心肌微循环状况,相对于 SPECT 和 DSA,双能量 CT 能便捷地提供更丰富的临床信息。本文主要对双能量 CT 在冠心病中的临床应用进展进行综述。

【关键词】 冠心病;心肌灌注显像;双能量 CT

【中图分类号】 R814. 42; R541. 4 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2015)02-0186-03
DOI:10. 13609/j. cnki. 1000-0313. 2015. 02. 024

冠心病(coronary artery disease, CAD)包括冠状动脉粥样硬化、狭窄型缺血缺氧性心脏病和冠状动脉功能改变(痉挛)型缺血缺氧性心脏病,多发生在 40 岁以上人群。CAD 的主要病理基础是冠状动脉血流量调节障碍和心肌微循环状态失衡。

Rocha-Filho 等^[1]研究表明心肌缺血最早可出现在冠状动脉造影和心电图异常之前,解剖学狭窄并不是引起心肌缺血的唯一原因;冠状动脉血管造影无法完全显示心肌内的微小血管,诊断心肌缺血不可仅依据冠状动脉可见的病变程度,还需了解心肌的供血情况,故“冠状动脉血管造影联合心肌灌注显像的一站式成像”对于诊断缺血性心脏病,准确划分缺血灶责任血管的意义较大。

目前,冠状动脉疾病的筛查方法有 DSA 和 CTA,心肌灌注显像的方法有 SPECT 和 MSCT,但能完成“冠状动脉造影联合心肌灌注一站式成像”的技术,首选 CT。

双能量 CT 心脏成像技术

双能量 CT 早在 1925 年即被提出,80 年代已实现早期的临床应用,但因低管电压球管无法满足高能量子输出率、时间分辨率和空间分辨率低、后处理技术薄弱等问题,未能得到广泛推广^[2-3]。随着 CT 技术近 10 年来的发展,上述问题得到解决,且双能量 CT 技术有了新进展。在心血管领域,双能量 CT 心肌灌注成像成为国内外学者近年来研究的热点,与 64 层螺旋 CT 和双源 CT(dual-source computed tomography, DSCT)相比,双能量模式下综合评价冠状动脉狭窄和心肌缺血的敏感度和特异度均达到 80% 以上^[1,4-5]。

目前心脏 CT 研究使用较多的是西门子的第二代双源双能量 CT,一站式心脏 CT 技术包括冠状动脉 CTA 和心肌灌注显像,基本步骤为:①心脏扫描:常规钙化积分扫描后,行一次性碘对比剂增强扫描,采用三期注射法(一期对比剂和生理盐水以不同比例混合注射,二期纯对比剂注射,三期纯生理盐水注射),启动扫描后,成 90°放置的 A 和 B(纯化)两套球管-探测器系统,分别以 100 和 140 kV 的管电压产生 2 束混合能量 X 线(高低混合比例现多使用 7:3),经被检者胸部吸收衰减后,分别

被探测器 A 和 B 接收,经各自对应的数据处理系统采集、转换,获得 100、140 和 120 kV(混合能量)的 3 组独立数据。②冠状动脉 CTA:利用 Circulation、Inspace、Carscoring 程序对采集到的最佳舒张期的平均加权数据进行容积再现(VR)、最大密度投影(MIP)及曲面重组(CPR)后处理和钙化积分统计,观察冠状动脉管腔有无狭窄/扩张,管壁有无斑块/钙化,走行是否迂曲等。③心肌 CT 灌注成像:分别重建高能量和低能量的最佳收缩期薄层图像(层厚 0. 75 mm,间隔 0. 5 mm,卷积函数值 D26,单幅图像矩阵 512×512),调入 Dual-Energy 应用程序后,先通过 monoenergy 的特殊算法,将 A、B 双能量数据融合、分解为 40~190 keV 的虚拟单能谱,观察适宜单能量下的心肌密度,再选择“Heart PBV”,调和 CT 和碘融合比例,生成碘伪彩图,测定心肌碘含量。

双能量 CT 心肌灌注的缺血心肌表现

双能量 CT 心肌灌注成像的关键是辨别心肌内的心肌成分、测定碘含量。观察图像时,较为常用的方法是根据美国心脏协会(AHA)的标准,在心室短轴位下将左心室划分为 17 段,选择 monoenergy 重建出 40~190 keV 的单能量图像后,依次推移虚拟单能量谱,在窗宽 200 HU、窗位 100 HU、层厚 5 mm 的条件下,观察图像噪声、左室心肌的整体密度变化、低密度区的范围、形态及其与周围组织的对比度的改变^[1,6]。

心肌缺血在 CT 上常表现出直接征象和间接征象。直接征象为心肌内低密度及灌注缺损(perfusion defect, PD)。急性心肌梗死表现为不强化或轻度强化;陈旧性心肌梗死的 CT 值较急性时更低(表 1)。PD 或心肌内低密度并不一定都代表梗死,严重的局灶性缺血导致的脂肪变形和淀粉样变也可在 CT 上表现为增强早期心内膜下心肌强化低于邻近心肌。间接征象有冠状动脉严重狭窄或闭塞、梗死区不成比例心肌层变薄、附壁血栓形成、心包炎、胸膜炎、心肌钙化、肺内斑片影等^[7]。

表 1 急性、陈旧性心肌梗死的 CT 表现

	急性心肌梗死	陈旧性心肌梗死
病灶边界	模糊	清楚或欠清,呈斑块状或线状
CT 值	稍低于正常	明显低于正常
心肌钙化	无	有
延迟强化	可有	少有
侧支循环	少有	可有

双能量 CT 心肌灌注成像中,最主要的是在碘伪彩图上测

作者单位:400016 重庆,重庆医科大学附属第一医院放射科
作者简介:魏森(1988—),女,四川遂宁人,硕士研究生,主要从事中枢神经系统及心血管系统的影像学研究工作。
通讯作者:吕发金, E-mail: fajinlv@163. com
基金项目: 国家临床重点专科建设项目经费资助(国卫办医函[2013]544 号)

量正常心肌和低灌注区的碘含量。碘伪彩图是将增强后的心肌图像以一定层厚进行 MIP, 后处理软件根据组织密度进行彩色编码后与灰度图融合而成。一般选择 280 ms 数据重建, 半扫描 140 ms (180°波束角) 重建数据较全扫描 280ms (360°波束角) 的图像粗糙。碘伪彩图包含的碘浓度范围较广, 分别代表了不同的组织, 从正常心肌到梗死后心肌, 表现出不同的碘浓度差异。

完成心脏 CT 一站式检查的意义在于合理分析缺血心肌的密度和碘含量, 找到责任血管。当存在良好的侧支循环时, 侧支血管可供应闭塞血管远端心肌血液, 利于减轻闭塞区缺血、缺氧, 缩小急性心肌梗死面积。侧支血管多分为冠脉间侧支、冠脉内侧支和冠脉外侧支。若疑似闭塞或接近闭塞的血管远端显影, 闭塞远端与其他分支间有弯曲、曲折的血管交通, 则提示侧支血管的存在。

双能量 CT 心肌灌注图像的伪影分析

伪影在心脏双能量 CT 图像上经常出现, 主要分为运动伪影、阶梯伪影和线束硬化 (beam-hardening, BH) 伪影。既往研究^[1,6,8]显示: 心肌 CT 灌注图像上, 正常心肌的 CT 值为 87~95 HU, 而 BH 影响区域 CT 值为 49.9~54.0 HU, 与灌注前的心肌组织相同, 故常被误认为灌注缺损区。BH 的产生是因为组织优先吸收了混合能量 X 线束里的低能光子束能量, 产生不均匀的部分高密度, 它常会影响心肌组织的 CT 值衰减程度, 导致在心肌灌注成像中出现过度量化低灌注区的情况^[9-10]。如何辨别 BH? 首先 BH 多呈三角形、透壁性, 常以心肌高密度区的放射状低强化灶的形式出现^[11]; 其次 BH 导致的假性缺血区主要出现在基底段、室间隔和左室后壁。

实验证明^[12], 近 50% 的基底段假阳性灌注缺损灶来自于左心室、主动脉内残留的对比剂吸收射线后过度衰减产生的 BH, 通过扫描无冠心病病史的对照组, 可见同一部位仍然存在灌注缺损, 证明了 BH 的存在^[1,6]。室间隔的 BH 与右侧心腔内对比剂的不均匀混合、快速流入导致血流分布的急速转变等情况有关, 心腔内高浓度对比剂常常影响双能量 CT 对 BH 的校正效果, 无法满意消除 BH^[2]。

So 等^[2]比较双源双能量 CT、单源双能量 CT、单源单能量 CT 的图像质量和校正 BH 的效果发现, 双源双能量 CT 得到的 70 keV 图像最能缩小 BH 范围, 单源双能量 CT 得到的 80 和 140 keV 的图像质量和单源单能量 CT 相似, 二者对 BH 的校正效果差别不大。但也有研究^[13]表明高、低能量瞬切法产生的虚拟单能量图像中, 90 keV 数据对纠正 BH 引起的灌注缺损假象效果较好, 60~80 keV 的图像质量最好。双源双能量 CT 产生的 BH 导致的组织衰减程度常在 10 HU 以内, 通过双源双能量 CT 的投影数据能有效减少伪影, 当心腔充满高密度对比剂时, 心肌的 CT 值转换较小, 而与 SPECT 相比, 在无心肌缺血时, 双源双能量 CT 的最佳单能量图像显示的灌注情况更加均匀^[14]。综上可见, 相对于单源混合能量 CT 扫描, 双源双能量 CT 扫描不仅能有效缩小 BH 范围, 还有助于提高图像质量, 更好的反映灌注缺损区的范围和位置。

双能量 CT 心肌灌注成像的临床价值

双能量 CT 心肌灌注成像技术在不降低图像质量的情况

下, 能够显著降低患者的有效辐射量, 具有很高的临床应用价值^[15]。较多对比实验表明, 心脏双源双能量 CT 能有效筛查冠心病。与侵入性的冠脉造影相比, 冠状动脉 CTA 和心肌灌注显像联合扫描对狭窄性冠心病的诊断率甚至较 DSA 更高, 敏感度从 83% 上升到 91%, 特异度从 71% 上升到 91%^[1]。Ko 等^[16]的研究发现: 冠状动脉 CTA 和心肌灌注显像联合扫描与单纯冠状动脉 CTA 比较, 诊断冠脉狭窄性冠心病的敏感度为 93.2%, 特异度为 85.5%, 对于 >50% 的狭窄性冠心病, 心肌 CT 灌注显像显示缺血灶的特异度为 98%, 而对 <50% 者, 特异度为 100%, 冠状动脉 CTA 和心肌灌注显像联合扫描较单纯冠脉 CTA 对狭窄性冠心病的诊断能力有所提高, 近几年的研究^[9,12]提示, 以 SPECT 为参照, 双能量 CT 心肌灌注成像较冠脉 CTA 能更好的预测血流动力学异常引起的狭窄性冠心病。血管张力较差也会导致一些假阳性病灶^[17], 一些面积较小的缺血灶, 可能与观察时窗口设置条件欠佳有关^[18], 是否为真正的灌注缺损区有待进一步研究。

双能量 CT 心肌灌成像的优势和不足

双能量 CT 技术具有物质成分分析和 BH 矫正两大优势, 也存在一些弊端, 如后门控全期相曝光时间长、辐射量偏高、对比剂易过量注射、心腔内的高浓度对比剂易产生伪影、图像噪声大等亟需解决的问题。随着双能量 CT 时间分辨力的逐步提高, 低对比剂、低辐射量成像的研究逐步成熟, 未来可着眼于心脏 CT 扫描参数的进一步优化, 实现图像质量的进一步提高和缺血心肌灌注异常的准确显示, 使其成为心脏一站式检查的重要手段。

参考文献:

- [1] Rocha-Filho JA, Blankstein R, Shturman LD, et al. Incremental value of adenosine-induced stress myocardial perfusion imaging with dual-source CT at cardiac CT angiography[J]. Radiology, 2010, 254(2): 410-419.
- [2] So A, Lee TY, Imai Y, et al. Quantitative myocardial perfusion imaging using rapid kVp switch dual-energy CT: preliminary experience[J]. J Cardiovasc Comput Tomogr, 2011, 5(6): 430-442.
- [3] 白爱国, 马光慧, 滑炎卿. 双能量 CT 血管造影的应用进展[J]. 中华临床医师杂志(电子版), 2013, 7(22): 10325-10328.
- [4] George RT, Arbab-Zadeh A, Cerci RJ, et al. Diagnostic performance of combined noninvasive coronary angiography and myocardial perfusion imaging using 320-MDCT: the CT angiography and perfusion methods of the CORE320 multicenter multinational diagnostic study[J]. AJR, 2011, 197(4): 829-837.
- [5] Feuchtnner G, Goetti R, Plass A, et al. Adenosine stress high-pitch 128-slice dual-source myocardial computed tomography perfusion for imaging of reversible myocardial ischemia: comparison with magnetic resonance imaging[J]. Circ Cardiovasc Imaging, 2011, 4(5): 540-549.
- [6] Yamada M, Jinzaki M, Kuriba Yashi S, et al. Beam-hardening correction for virtual monochromatic imaging of myocardial perfusion via fast-switching dual-kVp 64-slice computed tomography[J]. Circ J, 2012, 76(7): 1799-1801.
- [7] 毛定彪, 张国桢, 滑炎卿. 多层螺旋 CT 心脏和冠状动脉成像[M]. 北京: 人民军医出版社, 2011: 101, 104-105.

- [8] Stanton CL, Haramati LB, Berko NS, et al. Normal myocardial perfusion on 64-detector resting cardiac CT[J]. J Cardiovasc Comput Tomogr, 2011, 5(1): 52-60.
- [9] George RT, Arbab-Zadeh A, Miller JM, et al. Adenosine stress 64- and 256-row detector computed tomography angiography and perfusion imaging: a pilot study evaluating the transmural extent of perfusion abnormalities to predict atherosclerosis causing myocardial ischemia[J]. Circ Cardiovasc Imaging, 2009, 2(3): 174-182.
- [10] Bastarrika G, Ramos-Duran L, Rosenblum MA, et al. Adenosine-stress dynamic myocardial CT perfusion imaging: initial clinical experience[J]. Invest Radiol, 2010, 45(6): 306-313.
- [11] George RT, Silva C, Cordeiro MA, et al. Multidetector computed tomography myocardial perfusion imaging during adenosine stress[J]. J Am Coll Cardiol, 2006, 48(1): 153-160.
- [12] Wang Y, Qin L, Shi X, et al. Adenosine-stress dynamic myocardial perfusion imaging with second-generation dual-source CT: comparison with conventional catheter coronary angiography and SPECT nuclear myocardial perfusion imaging[J]. AJR, 2012, 198(3): 521-529.
- [13] Scheske JA, O'Brien JM, Earls JP, et al. Coronary artery imaging with single-source rapid kilovolt peak-switching dual-energy CT[J]. Radiology, 2013, 268(3): 702-709.
- [14] So A, Hsieh J, Narayanan S, et al. Dual-energy CT and its potential use for quantitative myocardial CT perfusion[J]. J Cardiovasc Comput Tomogr, 2012, 6(5): 308-317.
- [15] 齐燕, 欧陕兴, 钱民, 等. 双源 CT 双能量心肌灌注成像的图像质量及辐射剂量研究[J]. 放射学实践, 2012, 27(10): 1095-1099.
- [16] Ko SM, Choi JW, Hwang HK, et al. Diagnostic performance of combined noninvasive anatomic and functional assessment with dual-source CT and adenosine-induced stress dual-energy CT for detection of significant coronary stenosis[J]. AJR, 2012, 198(3): 512-520.
- [17] Bamberg F, Becker A, Schwarz F, et al. Detection of hemodynamically significant coronary artery stenosis: incremental diagnostic value of dynamic CT-based myocardial perfusion imaging[J]. Radiology, 2011, 260(3): 689-698.
- [18] Ko BS, Cameron JD, Meredith IT, et al. Computed tomography stress myocardial perfusion imaging in patients considered for revascularization: a comparison with fractional flow reserve[J]. Eur Heart J, 2012, 33(1): 67-77.

(收稿日期: 2014-09-30 修回日期: 2014-11-15)

· 书讯 ·

《功能性磁共振诊断》由华中科技大学同济医学院附属同济医院放射科夏黎明教授和朱文珍教授主编, 于 2011 年 3 月由人民卫生出版社出版, 全书共十章, 50 多万字, 近 1000 幅图片, 书中内容是同济医院放射科同道们 10 多年来的科研、临床的总结和汇报, 包括功能性磁共振技术在中枢神经系统、心血管系统、乳腺、腹部、盆腔、肌骨、关节、胎儿、淋巴结和分子影像实验等领域的研究, 其中一些内容是国内率先或领先开展、报道, 并在 RSNA 或 ISMRM 上发言或展板。可以说技术先进, 内容科学、全面、系统, 图文并茂, 实用性强, 具有较高的参考价值, 欢迎广大同道、读者订阅。可直接与人卫出版社的张老师或范老师联系, 享受优惠价。电话: 010-597873381, 010-59787351。

《盆腔疾病 CT、MRI 鉴别诊断学》由广东省东莞市人民医院郑晓林和中山大学附属第一医院许达生主编, 于 2013 年 12 月由世界图书出版西安有限公司出版发行, 其书是以鉴别诊断为前提的盆腔病变 CT、MRI 专著, 全书共分为 5 章, 从基本理论、正常解剖到盆腔的各种病变都进行了详细论述。为了加深对每类病征鉴别诊断的理解, 本书尽力做到每个病种都有病例图片。全书共计 1500 多幅 CT、MRI 图片, 使各病种之间的鉴别诊断更加直观。本书既可供影像专业医师临床应用, 也可作为临床相关科室尤其是妇科、泌尿生殖医师的案头参考书。全国各地新华书店和当地医学书店有售。出版社电话: 029-87233647。

《心血管磁共振诊断学》由阜外心血管病医院赵世华教授主编, 人民军医出版社出版。该书的出版得到刘玉清院士和胡大一教授的充分肯定和高度评价, 并亲自作序, 由韩美林先生题写书名。全书 40 余万字、600 余幅图片, 系统的阐述了心脏 MR 成像技术及其在常见心血管疾病中的诊断价值、优势及不足。本书全部内容皆由作者根据自己在阜外医院丰富的临床经验以及多年来所总结的心得历经心血凝练而成, 具有突出的临床实用性。所有图片基本都取材于该院, 病种全面, 内容翔实, 是一本在该领域具有国内领先水平的参考书, 可供医学影像学、心脏内外科医师和技术人员参考阅读, 也可作为研究生和进修生的辅导教材。定价 98 元, 各地新华书店和当当网有售。邮购联系人: 高爱英 13611070304。