

无创性多层螺旋 CT 冠状动脉造影的临床应用与发展趋势

史河水, Martin Hoffmann, 韩萍, 孔祥泉, 冯敢生

【中图分类号】R814.42 【文献标识码】C 【文章编号】1000-0313(2005)08-0739-03

促进冠心病(coronary artery disease, CAD)有效治疗方法进展的最初诊断工具是创伤性冠状动脉造影。然而,这种创伤性检查在少数情况下会产生潜在的、可危及患者生命安全的并发症^[1]。40%以上的创伤性冠状动脉造影只是用来排除冠心病,而不需要进一步的介入或外科治疗^[2]。有关无创性冠状动脉造影的研究最初是建立在 MRI^[3]、电子束 CT(electron beam CT, EBCT)^[4]和多层螺旋 CT(multi-slice spiral CT, MSCT)^[5]的基础上。

近 2 年多来,在无创性冠状动脉造影方面,已取得了长足的进展。新一代 16 层螺旋 CT 技术能更可靠地用于冠心病的检查^[6];与 4 层螺旋 CT 的冠状动脉成像比较起来(图 1),它们之间的差别显而易见。与图 1b 相比,图 1a 虽可显示前降支,但难以作出准确的诊断。与作为“金标准”的常规 X 线冠状动脉造影比较,早期结果显示无创性 MSCT 冠状动脉造影有较高的敏感性^[5]。最新一代的 40 层(Philips 公司)和 64 层(Siemens 公司)螺旋 CT 已进入临床应用阶段,尚未见有关临床应用的报道。

冠状动脉系统和冠心病的发病机制

冠状动脉粥样硬化的形成与两种相互关联但临床表现不同的机制有关^[7]。

第一种机制:慢性进展的狭窄性病变限制了流向冠状动脉远段的血流,导致患者出现渐进性活动性心绞痛。其病理表现主要为纤维化和钙化性病变,被认为是稳定的、且不易发生破裂的病变。这种病变一般可由常规 X 线冠状动脉造影来识别,并通过血管重建治疗。

第二种机制:非狭窄性斑块急性破裂,形成栓子,导致冠状动脉部分或全部闭塞,因而出现突发性心肌缺血和心肌梗死,在此之前,患者没有冠心病的症状^[8]。

这种斑块,其核心含有大量脂质,表面是薄层纤维帽,易破裂,因而称为不稳定斑块。因为病变不突向管腔内,常规 X 线冠状动脉造影不能显示。20 世纪 90 年代早期,经血管超声(intravascular ultrasound, IVUS)的引入使冠状动脉管壁和管腔得以同时显示。但 IVUS 用于检查整个冠状动脉树十分不方便,不可能常规应用。要检查冠状动脉病变,要求影像设备既能显示冠状动脉的管腔,又能显示管壁,即斑块的结构和成分。

MSCT 的无创性冠状动脉造影

用于无创性冠状动脉造影的 MSCT

拥有小螺距,能同时记录患者心电图(electrocardiogram, ECG)变化。16 层 MSCT 机(MX 8000 IDT, Philips 公司)可在患者一次屏气(20 s 内)的时间内完成整个心脏的扫描。在造影之前要进行定位扫描和团注对比剂示踪设计。

团注法时间-密度曲线的确定:使用 CT 机的软件平台,在定位扫描图中选定气管隆突上方的一层,兴趣区(region of interest, ROI)置于主动脉根部(图 2)。根据前面定义的 ROI,在团注对比剂后,于主动脉根部动态扫描获取连续固定的图像。

应用双筒压力注射器以 4 ml/s 的流率经静脉注射 80 ml 对比剂,再以 3.5 ml/s 的

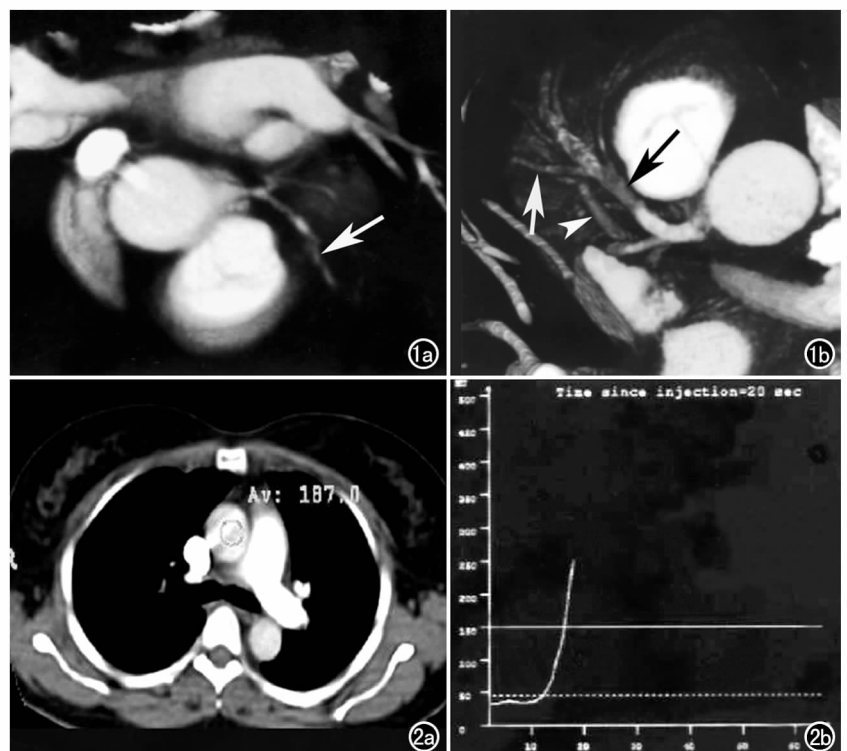


图 1 4 层和 16 层螺旋 CT 显示冠状动脉病变比较。a) 4 层螺旋 CT 显示冠状动脉前降支近段(箭); b) 16 层螺旋 CT 图像,很容易对前降支的近段(黑箭)及其主要分支(白箭)作出诊断,邻近静脉(白箭头)的重叠不影响诊断质量。

图 2 半自动团注示踪图。a) ROI 位于升主动脉,在此位置获得一系列图像采集; b) ROI 内 CT 值与扫描延迟时间图。

作者单位:430022 武汉,华中科技大学同济医学院附属协和医院放射科(史河水、韩萍、孔祥泉、冯敢生);德国 Ulm 大学临床医院放射科(Martin Hoffmann)

作者简介:史河水(1966—),男,湖北应城人,博士,副教授,主要从事 CT 及 MRI 的临床应用工作。

流率经静脉注射 50 ml 生理盐水。当 ROI 的平均 CT 值达到事先设定的阈值(通常为 150 HU)时,心脏的螺旋扫描自动启动。

在连续的 CT 扫描中,患者的 ECG 被记录下来,心动周期中以 R 波为参考的任一时刻的心脏图像均可被重建。冠状动脉 MSCT 的扫描参数:探测器准直宽度 16×0.75 mm,机架旋转时间 0.42 s。基于患者心率变化的床进速度约 8 mm/s,球管电压 140 kV,球管容量 400 mA。扫描时间取决于心脏的大小,为 16~22 s。

图像重组

获取 MSCT 原始资料后,即可回顾性重组与 ECG 同步的心脏图像。多周期锥形线束重建算法可解决锥角投影问题,与常规算法相比,它还能适当改善时间分辨率^[9]。有关心电门控影像重建的方法已在相关的文章中作了详细的描述^[10]。

球管每旋转 180° 扫描所得的数据即可重建一帧图像,那么,420 ms 的旋转时间即可得到 210 ms 的时间分辨率。当心率快于 55 次/分时,连续心动周期的扫描数据合并起来重建图像就可进一步改善有效的时间分辨率。这种重建技术还能改善锥形射线伪影,因为相对于小焦点射线,沿纵轴排列的 16×0.75 mm 的多排探测器具有较大的锥角。

根据瞬时心率的,时间分辨率介于 53~210 ms。图像的体素大小是 $0.3 \text{ mm} \times 0.3 \text{ mm} \times 0.8 \text{ mm}$ 。因为扫描数据的获取是连续的,重建图像可位于心动周期中的任何一点。

在我们最初的工作中,将整个心动周期从 R-R 间期的 0%~90% 共 10 期即全部心动周期中的图像全部重建出来。为减少重建轴位图像的数量,根据 Achenbach 等^[11]的论点,我们改进了重建方法。常规重建 2 个资料组,即 R-R 间期的 50% (相当于收缩末期)和 80% (相当于舒张末期)的图像。如果这 2 期的图像不能令人满意,再重建心动周期中其它期的图像。

所有后处理工作在独立的工作站(MxView 5.0, Philips)完成。通过一帧一帧轴面图像的比较和三维立体图像的比较,选择运动伪影最少的图像作进一步的分析。进一步分析用的图像除轴面图

像外,还有多平面重组(multiple planar reconstruction, MPR)、最大密度投影(maximum intensity projection, MIP)、容积再现(volume rendering, VR)和曲面图像。

冠状动脉狭窄的检出和分级

对于冠状动脉狭窄的确定及分级,其前提是必须有真正垂直于血管的横断面图像。因此,我们借用评估主动脉支架-搭桥方案中相应的方法。使一根中心线穿过要分析的冠状动脉,所有断面图像都垂直于这条中心线,即使在弯曲的冠状动脉段,也能保证获得真正的横断面图像。中心线是通过在血管的起始点、中心点和末端种下多个种子,然后,血管跟踪算法自动算出该血管的所有中心点并连成线。手动矫正后,节段算法画出横断面上的冠状动脉的外缘轮廓。这样根据 CT 值就能对斑块进行识别和定位(图 3)。软件根据狭窄处直径和面积的百分比算出狭窄的程度。

斑块成像

MSCT 可用于鉴别冠状动脉壁的钙化和非钙化斑块,轴面图像上,钙化斑块呈白色明亮的点状或条状影(图 4)。非钙化斑块的表现视其脂肪含量而定。纤维斑块则显示为不规则形,其密度介于肌肉密度和含碘对比剂之间。软斑块富含脂质,在血管边缘内呈低密度袋状影。不稳定型斑块是由纤维帽和其包裹的脂质核心构成,前者将动脉壁内的斑块与管腔隔离。这种斑块厚度约为 $0.02 \sim 1.00 \text{ mm}$ ^[12],位于 IVUS 的分辨力范围内。以目前 CT 的分辨力($0.3 \text{ mm} \times 0.3 \text{ mm} \times 0.8 \text{ mm}$)还不能满意地显示这种斑块。而且,由于 CT 本身固有的对纤维帽和脂质核心的组织分辨力的不足,还不能加以区别。

更可靠的斑块成像方法仍在研究中。扫描器的发展、重建算法和后处理技术的改进,将进一步提高 CT 鉴别斑块的能力。目前,MSCT 具有扫描快,能在患者一次

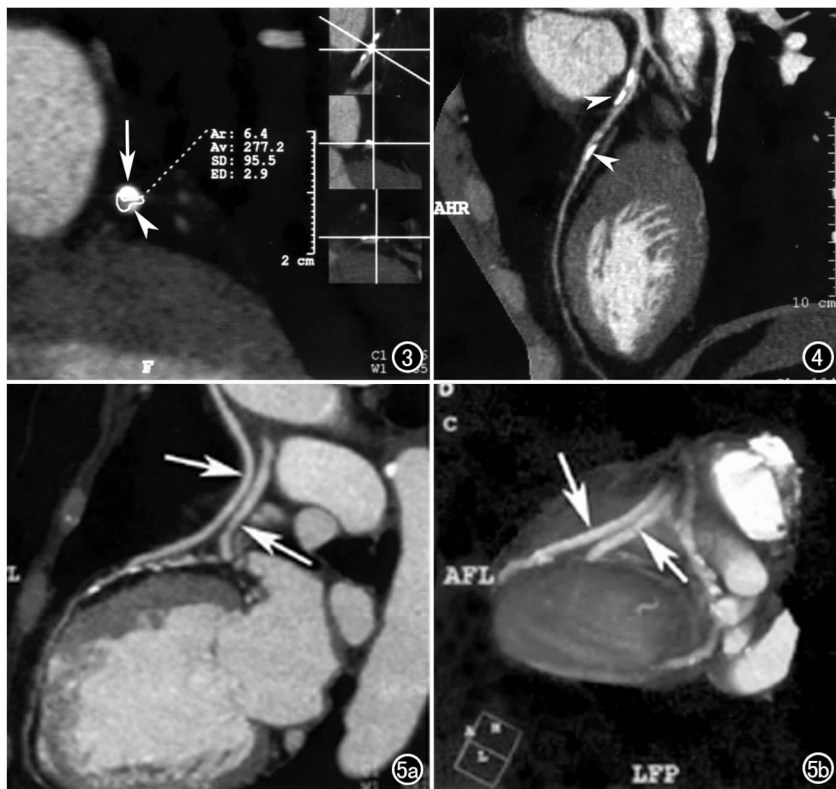


图 3 左旋支近端断面图像。附着在血管壁上的高密度影(箭)为钙化斑块,虚线围绕的 ROI 是管腔(强化后平均 CT 值为 277 HU);另 1 个钙化较少的斑块(箭头)位于对侧管壁。图 4 左前降支的曲面多平面重组图示其近段含钙化(箭头)的斑块性病变。图 5 冠状动脉搭桥术后,MSCT 能对搭桥血管(箭)的通畅性作出正确的评价。a) 曲面 MPR; b) VR。

屏气下完成全部冠状动脉树成像的优点。有望成为快速检测斑块,而又易于操作的影像设备。

造影增强的设计

在 MSCT 冠状动脉造影中,对比剂的最佳注入方法是一个关键性的参数,仍需进一步的研究。血管的狭窄性病变和远端微栓子的栓塞均导致冠状动脉内的血流减慢。这是一个普遍现象,即使在通常的导管动态冠状动脉造影中也存在。Gibson 等^[13]提出计算对比剂到达冠状动脉远端的电影帧数来确定造影的最佳延迟时间。MSCT 不能提供这种动态影像,因此,必须找到使冠状动脉远端显影的最佳延迟时间(如对比剂到达血管远端的时间),同时又要满足近段管腔处于最佳强化状态,以供诊断。对此,还需进一步的研究来确定这一成像参数,并满足病理诊断的要求。

目前临床应用的结果

在一系列的临床应用中,MSCT 已显示出其诊断价值。对搭桥血管的通畅性可作出值得信赖的评价(图 5),这方面的应用可作为常规检查。自然的(天生的)血管状态,则在很大程度上可排除冠心病(阴性预测指数达 95%以上)(图 6)。目前对狭窄的定量评估结果,与常规 X 线冠状动脉造影比较,往往高估了斑块的面积。因此,MSCT 可作为创伤性冠状动脉造影术前的守门人(gatekeeper)或筛选手段。

进一步的改进将集中在重组算法方面,要求尽可能减少钙化的部分容积效应和金属伪影,以便对冠状动脉的狭窄作出更准确的评估。

结论

目前,无创性 MSCT 冠状动脉造影适合筛选需要进一步行创伤性冠状动脉造影检查的病例。与常规 X 线冠状动脉造影相比,MSCT 的最大优点是同时显示冠状动脉的管壁和管腔。MRI 也具备这一优点,但其空间分辨率有限。CT 还可作为其它对斑块有较高分辨力的影像设备的筛选和随访检查工具,如 IVUS、光子相干影像(optical coherence imaging)和 MRI。扫描硬件、重组算法方面的进一步

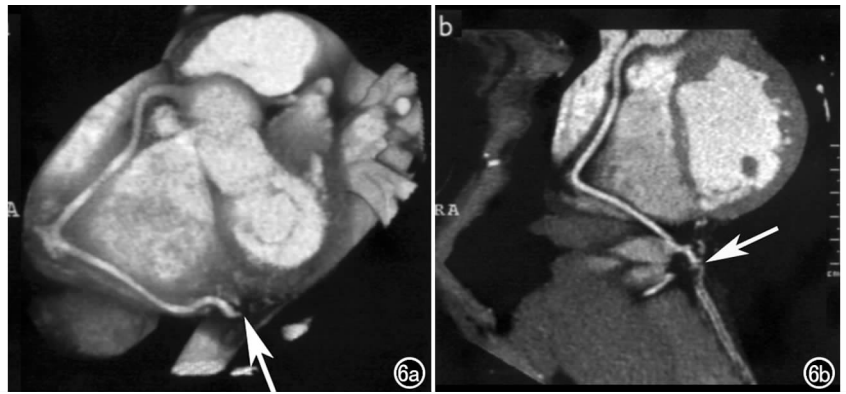


图 6 正常右冠状动脉的 MSCT 表现,未发现斑块性病变,心脏十字形区(箭)以上的管腔均能容易地作出评价。a) 曲面 MPR; b) MIP。

完善和更广泛的临床应用将增强 MSCT 发现和诊断冠心病的能力。

参考文献:

- [1] Bashore TM, Bates ER, Berger PB, et al. American College of Cardiology/Society for Cardiac Angiography and Interventions Clinical Expert Consensus Document on cardiac Catheterization laboratory Standards; a Report of the American College of Cardiology Task Force on Clinical Expert Consensus Documents [J]. J Am Coll Cardiol, 2001, 37(8): 2170-2214.
- [2] Windecker S, Maier-Rudolph W, Bonzel T, et al. Interventional Cardiology in Europe 1995; Working Group Coronary Circulation of the European Society of Cardiology [J]. Eur Heart J, 1999, 20(7): 484-495.
- [3] Kim WY, Danias PG, Stuber M, et al. Coronary Magnetic Resonance Angiography for the Detection of Coronary Stenoses [J]. N Engl J Med, 2001, 345(26): 1863-1869.
- [4] Lu B, Zhuang N, Mao SS, et al. Image Quality of Three-Dimensional Electron Beam Coronary Angiography [J]. J Comput Assist Tomogr, 2002, 26(2): 202-209.
- [5] Nieman K, Cademartiri F, Lemos PA, et al. Reliable Noninvasive Coronary Angiography with Fast Submillimeter Multislice Spiral Computed Tomography [J]. Circulation, 2002, 106(16): 2051-2054.
- [6] Heuschmid M, Kuttner A, Flohr T, et al. Visualization of Coronary Arteries in CT as Assessed by a New 16 Slice Technology and Reduced Gantry Rotation Time: First Experience [J]. Fortschr Röntgenstr, 2002, 174(6): 721-724.
- [7] Libby P. Vascular Biology of Atherosclerosis: Overview and State of the Art [J]. Am J Cardiol, 2003, 91(3A): 3-6.
- [8] Libby P. Molecular Bases of the Acute Coronary Syndromes [J]. Circulation, 1995, 19(11): 2844-2850.
- [9] Shechter G, Naveh G, Altman A, et al. Cardiac Image Reconstruction on a 16-Slice CT Scanner Using a Retrospectively ECG-Gated, Multi-Cycle 3D Back-Projection Algorithm [A]. In: Sonka M, Fitzpatrick M, eds. Medical imaging 2003: Image Processing-Proceedings [M]. Bellingham, WA: Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers, 2003. 1820-1828.
- [10] Flohr T, Ohnesorge B. Heart Rate Adaptive Optimization of Spatial and Temporal Resolution for Electrocardiogram-Gated Multislice Spiral CT of the Heart [J]. J Comput Assist Tomogr, 2001, 25(6): 907-923.
- [11] Achenbach S, Ropers D, Holle J, et al. In-Plane Coronary Arterial Motion Velocity: Measurement with Electron-Beam CT [J]. Radiology, 2000, 216(2): 457-463.
- [12] Mann JM, Davies MJ. Vulnerable Plaque, Relation of Characteristic to Degree of Stenosis in Human Coronary Arteries [J]. Circulation, 1996, 94(5): 928-931.
- [13] Gibson CM, Cannon CP, Daley WL, et al. TIMI Frame Count: a Quantitative Method of Assessing Coronary Artery Flow [J]. Circulation, 1996, 93(5): 879-888.

(收稿日期: 2004-12-02 修回日期: 2005-05-20)