

多层螺旋 CT 冠状动脉血管成像

• 综述 •

宋光义 综述

【中图分类号】R814.42; R543.3 【文献标识码】C 【文章编号】1000-0313(2003)07-0518-03

导管法冠状动脉血管造影自应用于临床以来一直是诊断冠状动脉疾病的金标准,但其检查费用高,而且有一定的危险性,报道其病死率为 0.15%,并发症率为 1.5%^[1]。磁共振血管造影(magnetic resonance angiography, MRA)仅在发现冠状动脉近段 5cm 的病变中具有较高的敏感性和特异性,在中远节段仍不足以做出肯定诊断^[2]。多层螺旋 CT(multi slice spiral computed tomography, MSCT)不仅能准确发现、量化冠状动脉的钙化斑块,而且能发现导致急性冠状动脉综合征的软斑块。目前 MSCT 应用正迅速推广普及,其以亚秒级的扫描速度、多种后处理技术和回顾性心电门控软件的应用可以实现冠状动脉的 CT 二维和三维成像,有望作为一种日常检查手段应用于临床。国内外学者的最新研究显示 MSCT 可以显示冠状动脉狭窄和闭塞,进行冠状动脉搭桥血管和冠状动脉血管内支架术后的无创性追踪,显示冠状动脉瘤以及冠状动脉的解剖异常等。

MSCT 的技术

4 层 8 排探测器的 MSCT 的时间分辨率较单层螺旋 CT 明显提高,其时间分辨率为 125ms,空间分辨率同时也明显提高,在实际采集冠状动脉图像时应用的准直器宽度为 1mm。这主要是因为 MSCT 的技术改良,如锥形线束及宽探测器技术,在 Z 轴上的探测器排数已可增加到 8~34 排;层厚由被激发的各排探测器采集的不同信息组合决定;能同时进行 4 个层面以上的数据采集,在较短时间内完成较长范围的容积扫描;采用回顾性心电门控技术及 90°~180°MCI 插值算法的部分扫描重建技术^[3]。

MSCTA 的扫描操作步骤如下:①先扫胸部定位片;②小量对比剂预实验决定最佳延迟时间;15ml 对比剂以 4ml/s 流率推注,延迟 10s 后在主动脉根部层面连续同层动态扫描 20~30 层,利用计算机自动算出时间-密度曲线,得出最佳延迟时间;③行冠状动脉 MSCTA 扫描。利用回顾性心电门控、螺旋方式采集冠状动脉容积数据,层厚 1.25mm,重叠重建 0.6mm,旋转时间 500ms,电流 150mAs,140~160ml 对比剂,流率 4ml/s,根据预实验选定最佳延迟时间进行心脏 CT 容积扫描,CT 容积数据输入工作站进行图像重建与数据评估。

应用于冠状动脉的 CT 后处理技术包括多平面重建(multi-planar reconstruction, MPR)、最大密度投影(maximum intensity projection, MIP)、表面遮盖显示(surface shadow display, SSD)、容积重建(volume rendering, VR)、仿真内镜(virtual endoscopy, VE)。在冠状动脉 MPR 重建技术中,最常用的是曲面重建技术。曲面重建技术不需要手术切除影响冠状动脉显示的结构,

能展现走行迂曲的冠状动脉全貌。尽管冠状动脉曲面重建技术的处理相当简单,但对其结果的解释与操作者的技术以及对冠状动脉解剖的了解有很大的关系,应慎重应用和评价。MIP 是 CTA 和 MRA 后处理技术中最为广泛应用的技术,但 MIP 图像的制作过程需要大量的编辑工作,耗时是其最大的不足。而且 MIP 容易受部分容积效应的影响,只有 10% 的成像数据被利用^[4]。对冠状动脉而言,周围过多充盈对比剂结构的重叠使得人工消除有很大的难度,因而不很适于冠状动脉的成像。SSD 技术因可给不同的组织赋予不同的伪彩,能鲜明显示冠状动脉的走行,但因受阈值调节的影响,显示狭窄性病变更易低估病变程度。VR 技术不需要调节阈值,使血管的显示能弥补 SSD 的不足而得到最大程度的保留,并且能进行不同断面的切割旋转,有利于在不同角度与平面显示所保留的血管结构。VR 技术还可使 3D 物体的某些部分透明,显示出其后面的结构,其丰富的色彩配置类似解剖图。VR 技术因为同时可以显示心脏的解剖关系和冠状动脉的走行过程可作为最佳的心脏后处理技术^[4]。VE 有助于显示管腔的狭窄及钙化等,也可选择应用。

心电门控的本质是在心脏搏动最慢的心动周期时点采集数据,将图像质量所受的影响减低到最小^[5]。心电门控分前瞻性和回顾性心电门控两种。前瞻性心电门控采用步进式扫描,采集既定时间如 R-R 间期 80% 时的心脏图像。EBCT 采用这种心电门控方式。因为各个冠状动脉的运动模式不同,预先选择心动周期时点不能将各个冠状动脉最佳显示,因此导致了研究中有关最佳时点选择的混乱,如从原来选择的 80% 重建时点到现在一些学者认为的 40%~50% 的重建时点^[6]。回顾性心电门控采集的是整个心动周期的容积数据,可以在 R-R 间期的任意百分点重建冠状动脉图像,弥补了前瞻性心电门控的不足,也有利于克服心律失常时心动周期不一致的限制。回顾性心电门控最佳重建时点可以增加诊断的准确性,有助于避免由于心脏运动伪影造成的错误解释。Hong 等^[7]的研究表明回顾性心电门控同步记录采集的 MSCTA 的右冠状动脉、左回旋支、左前降支最佳显示分别在 R-R 间期的 50%、60%、50% 或 60%,且心率与图像质量呈负相关,以 74.5 次/分以下心率为佳。Kopp 等^[8]发现右冠状动脉、左回旋支、左前降支最佳重建时点分别在 R-R 间期的 40%、50%、60%~70%。他们认为冠状动脉 CTA 的图像重建窗口应适合每一条冠状动脉,图像重建时固定心动周期时点不能提供最佳的图像质量。

临床应用

1. 正常冠状动脉的显示

MSCTA 显示的冠状动脉与传统血管造影间存在较高的一致性。Achenbach 等^[9]用 MSCT 对 25 例患者进行研究后认为 MSCTA 可以发现较长的冠状动脉节段,左主干(9±4)mm,左前降支(112±34)mm,左回旋支(80±29)mm,右主干(116±

* 云南省教育厅科学研究基金项目(02ZY151)

作者单位:650032 昆明,昆明医学院第一附属医院 CT 室

作者简介:宋光义(1954-),男,昆明人,主要从事 CT 介入及诊断学研究工作。

33) mm, 平均 78% ± 16% 的冠状动脉节段无运动伪影, 平均信噪比为 9.3 ± 3.3。MSCT 冠状动脉直径与传统冠状动脉造影密切相关[MSCT 为(3.3 ± 1.0) mm, 传统冠状动脉造影(3.2 ± 0.9) mm, 平均差异 0.38 mm, $r = 0.86$]。

2. 冠状动脉狭窄与闭塞

大多数冠状动脉 MSCTA 的文献报道都是和传统血管造影进行比较, 研究其发现冠状动脉狭窄和闭塞的能力, 研究结果发现其敏感性为 78% ~ 85%, 而特异性为 76% ~ 98%^[10-14](表 1)。这些结果与 EBCTA 相当, 优于 MRCA(表 2)^[15]。血管仿真内镜也被用于观察冠状动脉管腔内的情况, 但研究发现血管仿真内镜在发现未钙化或无血流动力学意义的病变时, 不如传统轴位图像优越^[16]。另有 1 份 MSCTA 的研究报道表明 4 种不同的显示技术——冠状扫描、仿真血管内镜、MPR、三维重建, 其显示冠状动脉狭窄的敏感性依次为 66.7%、55.9%、48.6%、33.3%, 显示粥样硬化斑块的敏感性依次为 71.2%、69.1%、55.6%、70.1%, 将 4 种显示方法结合发现冠状动脉斑块的敏感性为 74.2%, 发现冠状动脉高度狭窄的敏感性为 72%, 而特异性均达 91.9%。作者认为 MSCTA 不能取得如传统冠状动脉造影一样的敏感性, 且仅限于冠状动脉 3 大主支^[17]。以上大多数的研究所使用的对比剂量在 140 ~ 160 ml, 有 1 份用 100 ml 对比剂的冠状动脉 MSCTA 研究显示的敏感性、特异性和准确性均低^[18]。需要大量的对比剂可能也是 MSCTA 的一个不足之处。

表 1 MSCTA 发现冠状动脉狭窄研究的总结

作者	发表年	狭窄标准	病例数	可评价冠状动脉支数或节段数		
				敏感性	特异性	
Nieman ^[10]	2001	50%	31	73%	81%	97%
Achenbach ^[11]	2001	70%	64	64%	91%	84%
Knez ^[12]	2001	50%	43	94%	85%	76%
					78%	98%
Nieman ^[13]	2002	50%	53	70%	82%	93%
洪澄 ^[14]	2002	50%	32	-	95%	80%

表 2 3 种无创性技术发现冠状动脉直径 > 50% 狭窄的诊断价值

	EBCTA	MSCTA	MRA	
			自由呼吸	呼吸门控
可评价冠脉数 (%)	80	70	75	70
敏感性 (%)	80	80	50	70
特异性 (%)	95	95	90	95
准确性 (%)	90	90	85	90

3. 冠状动脉搭桥术后的评价

研究发现, 有 10% ~ 20% 的搭桥血管在术后 1 ~ 2 年内闭塞, 45% ~ 55% 的搭桥血管在术后 10 ~ 12 年闭塞, 而在术后第 1 年隐静脉搭桥血管和内乳动脉搭桥血管的闭塞率约为 20%、5%^[19]。因此术后监控搭桥血管的通畅性有重要的临床价值。MRCA 发现隐静脉搭桥血管通畅性的敏感性和特异性分别为 85% ~ 90%、60% ~ 100%; 内乳动脉为 96%、67%。EBCTA 发

现隐静脉搭桥血管通畅性的敏感性为 100%, 特异性为 86% ~ 100%; 内乳动脉的敏感性为 80% ~ 100%, 特异性为 82% ~ 100%^[19]。EBCTA 还能发现搭桥血管有血流动力学意义

的狭窄性病变, 其敏感性为 100%, 特异性为 97%^[20]。

回顾性心电门控 MSCTA 多种后处理重建可以准确显示搭桥血管的通畅情况以及血管腔内的情况, 但有关这方面的报道仍较少。Nieman 等^[10]报道的亚组中有 4 例患者共有 17 个搭桥血管, MSCTA 有 15 个血管(15/17)可以评价, 2 例不能评价的血管是因为血管太小和金属夹引起的伪影, MSCTA 发现了 2 例狭窄和 2 个完全闭塞的搭桥血管。Ropers 等^[21]的研究包括了 65 个患者, 其 182 个搭桥移植血管, 传统冠状动脉造影显示 124 个通畅, 58 个闭塞。99 个搭桥血管包括吻合口未见有意义狭窄, 25 个有高度狭窄, 其中 16 例位于移植血管本身, 9 例位于远端吻合口处。MSCTA 正确发现了 124 例传统冠状动脉造影血流通畅的移植血管中的 122 例, 58 例闭塞血管中的 57 例, 敏感性和特异性分别为 97%、98%。124 例血流通畅的移植血管中仅有 77 例可以评价有无高度狭窄病变, 有 40 例隐静脉和 7 例内乳动脉移植血管不能评价, 在可评价 77 例移植血管中, 16 例搭桥血管狭窄有 12 例由 MSCTA 发现, 而 61 例中有 56 例正确排除了病变。敏感性、特异性、阳性预测值和阴性预测值分别为 75%、92%、71%、93%。当包括全部的搭桥血管时, MSCTA 发现狭窄的全部敏感性为 48%。

4. 冠状动脉血管内支架术后的评价

EBCT 的大宗病例报道证实, EBCT 发现冠状动脉血管内支架高度狭窄的敏感性为 78%, 特异性高达 98%, 并认为 EBCT 有利于发现冠状动脉血管内支架的位置, 评价支架的通畅性, 推迟多数患者再次行导管法冠状动脉造影检查的时间^[22]。到目前为止, 有关支架放置后冠状动脉通畅与否的 MSCTA 评价尚未见到大宗报道。但 Nieman 等^[10]的亚组小范围病例和一些个案报道显示 MSCTA 也能正确发现支架的位置, 评价支架近、远段血管的血流而间接发现支架的通畅情况。

5. 冠状动脉瘤及其它疾病的评价

MSCTA 有可能更好的发现狭窄之外的其它病变, 如冠状动脉瘤、冠状动脉的解剖异常等。1 组 9 例川崎病患者共有 18 个冠状动脉瘤, 利用二维和三维显示, MSCTA 准确发现了其中的 17 个, 他们还测量了这 17 个冠状动脉瘤以及 29 个近段冠状动脉节段, 并与传统冠状动脉造影进行了相关性分析, 相关系数为 0.938, $P < 0.0001$ ^[23]。

Nieman 等^[10]用 MSCTA 发现了 2 例起源于左冠状窦的右冠状动脉起源异常, 其起源和走行的空间关系均能在三维图像上清晰显示。这些少量的研究与 MRA 关于冠状动脉解剖异常的报道相似。尽管还没有大宗的报道, 但这些报道也显示 MSCTA 在这些病变检查中的作用。

存在问题及研究展望

MSCTA 发现冠状动脉狭窄或闭塞仍限于冠状动脉的近、中节段, 远节段的显示仍然困难, 而且近、中节段也仅有 70% ~ 80% 可满足诊断要求。这主要是因为空间分辨率不足, 尤其是 Z 轴的分辨率不足; 时间分辨率也不足; 患者闭气的时间较长(约 40s 左右)以及冠状动脉的严重钙化等。因为冠状动脉处于不停的运动中, 因此冠状动脉 MSCTA 的图像质量明显受到心

率的影响,且与心率呈负相关,在小于 60~70 次/分的心率可获得较好的图像质量,使用普洛尔等降低心率的药物可以提高图像质量,建议在进行冠状动脉 MSCTA 前使用^[24]。在非窦性心率的患者,尤其是频发早搏者,难以取得较好质量的冠状动脉 MSCTA 图像^[15]。这些都是在目前的技术条件下进行冠状动脉 MSCTA 时应该注意到的。为了取代传统的冠状动脉造影,冠状动脉成像的空间分辨率要在 0.5mm×0.5mm×0.5mm,时间分辨率达 30~50ms,而目前 MRI 的空间分辨率为 1.25mm×1.25mm×1.25mm,时间分辨率为 100~125ms;E-BCTA 的空间分辨率为 0.7mm×0.7mm×(1.5~3.0)mm,时间分辨率为 100ms,最高达 50ms;MSCTA 的空间分辨率为 0.6mm×0.6mm×1.2mm,时间分辨率为 125~250ms^[16]。

灌注软件目前已在一些研究中心进行实验阶段的研究,相信随着技术的成熟会应用于临床实践中,用于心肌梗死后存活心肌的评价。用对比剂增强 MSCT 可量化心肌血流及血容量分布,这些均可以伪彩心肌灌注图显示出灌注缺乏区,绘制心肌梗死的范围及分布,并有可能提示梗死的性质是否为透壁梗死,而这些是灌注成像的金标准——PET 成像所不能做到的。此进展必将会加大 MSCT 在心脏成像中的应用前景,向目前比较成熟的 MR 心肌灌注成像提出挑战。更多排数探测器的 MSCT 或平板探测器 CT 正在或有望应用于临床,势必改善 CT 在冠状动脉成像中时间分辨率不足的问题,其和传统导管法冠状动脉造影的大宗对照研究,以及在冠状动脉血管搭桥术后和冠状动脉血管内支架放置术后再狭窄的评价仍是以后冠状动脉 MSCTA 的重要课题。

参考文献:

[1] Marcus ML, Skorton DJ, Johnson MR, et al. Visual estimates of percent diameter coronary stenosis: "a battered gold standard" [J]. J Am Coll Cardiol, 1988, 11(4): 882-885.

[2] Kim WY, Daniels PG, Stuber M, et al. Coronary magnetic resonance angiography for the detection of coronary stenoses [J]. N Eng J Med, 2001, 345(26): 1863-1869.

[3] 侯阳, 郭启勇. 冠状动脉多层 CT 血管造影发展现状 [J]. 中国临床医学影像杂志, 2001, 13(4): 285-287.

[4] Rensing BJ, Bongaerts AHH, van Geuns RJM, et al. Intravenous coronary angiography using electron beam computed tomography [J]. Prog Cardiovasc Dis, 1999, 42(2): 139-148.

[5] Woodhouse CE, Janowitz WR, Viamonte MJR, et al. Coronary arteries: retrospective cardiac gating technique to reduce cardiac motion artifact at spiral CT [J]. Radiology, 1997, 204(2): 566-569.

[6] Mao S, Lu B, Oudiz RJ, et al. Coronary artery motion in electron beam tomography [J]. J Comput Assist Tomogr, 2000, 24(2): 253-258.

[7] Hong C, Becker CR, Huber A, et al. ECG-gated reconstructed multi-detector row CT coronary angiography: effect of varying trigger delay on image quality [J]. Radiology, 2001, 220(3): 712-717.

[8] Kopp AF, Schroeder S, Kuettner A, et al. Coronary arteries: retrospectively ECG-gated multi-detector row CT angiography with selective optimization of the image reconstruction window [J]. Radiology, 2001, 221(3): 683-688.

[9] Achenbach S, Ulzheimer S, Baum U, et al. Noninvasive coronary angiography by retrospectively ECG-gated multislice spiral CT [J]. Circulation, 2000, 102(2): 2823-2828.

[10] Nieman K, Oudkerk M, Rensing BJ, et al. Coronary angiography with multi-slice computed tomography [J]. Lancet, 2001, 357(9256): 599-603.

[11] Achenbach S, Giesler T, Ropers D, et al. Detection of coronary artery stenoses by contrast-enhanced, retrospectively electrocardiographically-gated, multislice spiral computed tomography [J]. Circulation, 2001, 103(21): 2535-2538.

[12] Knez A, Becker CR, Leber A, et al. Usefulness of multislice spiral computed tomography angiography for determination of coronary artery stenoses [J]. Am J Cardiol, 2001, 88(10): 1191-1194.

[13] Nieman K, Rensing B, van Geuns RM, et al. Usefulness of multislice computed tomography for detecting obstructive coronary artery disease [J]. Am J Cardiol, 2002, 89(4): 913-918.

[14] 洪澄, Becker CR, 朱芳, 等. 冠状动脉狭窄的多层螺旋 CT 诊断 [J]. 中华放射学杂志, 2002, 36(7): 605-608.

[15] De Feyter PJ, Nieman K. New coronary imaging techniques: what to expect [J]. Heart, 2002, 87(3): 195-197.

[16] Schroeder S, Kopp AF, Ohnesorge B, et al. Virtual coronary angiography using multislice computed tomography [J]. Heart, 2002, 87(3): 205-209.

[17] Herzog C, Ay M, Engelmann K, et al. Visualization techniques in multislice CT coronary angiography of the heart. Correlations of axial, multiplanar, three dimensional and virtual endoscopic imaging with the noninvasive diagnosis [J]. Fortschr Röntgenstr, 2001, 173(2): 341-349.

[18] Nitatori T, Takahashi S, Yakoyama K, et al. Comparison of detectability of coronary arterial stenosis by MR angiography and multidetector CT [J]. Radiology, 2001, 221(suppl): 200.

[19] Duerinckx AJ. Coronary MR angiography [J]. Radiol Clin North Am, 1999, 37(2): 273-318.

[20] Achenbach S, Moshage W, Ropers D, et al. Noninvasive, three-dimensional visualization of coronary bypass grafts by electron beam tomography [J]. Am J Cardiol, 1997, 79(7): 851-856.

[21] Ropers D, Ulzheimer S, Wenkel E, et al. Investigation of aortocoronary artery bypass grafts by multislice spiral computed tomography with electrocardiographically-gated image reconstruction [J]. Am J Cardiol, 2001, 88(2): 792-795.

[22] Mochizuki T, Higashino H, Koyama Y, et al. Assessment of coronary artery aneurysm in Kawasaki disease using multi-detector-row CT [J]. Circulation, 2001, 104(suppl II): 615.

[23] Pump H, Mohlenkamp S, Sehnert CA, et al. Coronary arterial stent patency: assessment with electron beam CT [J]. Radiology, 2000, 214(2): 447-452.

[24] Schroeder S, Kopp AF, Kuettner A, et al. Influence of heart rate on vessel visibility in noninvasive coronary angiography using new multislice computed tomography: experience in 94 patients [J]. Clin Imaging, 2002, 26(2): 106-111. (2002-10-04 收稿)