维普资讯 http://www.cqvip.com

综 述 文章编号:0253-3626(2007)09-1005-04

16 层螺旋 CT 冠状动脉成像技术及图像质量相关影响因素

罗银灯 综述,赵建农 审校

(重庆医科大学附属第二医院放射科,重庆 400010)

【中国图书分类法分类号】R816.2 【文献标识码】A 【收稿日期】2007-03-01

随着多层螺旋 CT(Multi-slice spiral CT, MSCT)问世并应用于冠状动脉(简称冠脉)成像以来,已取得不少令人瞩目的成果,并逐渐成为冠心病筛查的最重要的影像学检查手段[1]。本文就 16 层螺旋 CT 冠脉成像技术、临床应用及图像质量相关影响因素综述如下。

1 16 层螺旋 CT 冠脉成像技术

1.1 扫描前准备

冠脉管径细小,走行迂曲,易受心脏搏动及呼吸运动的影响,在扫描前对患者进行屏气训练和控制心率至关重要。为延长屏气时间,通常还在检查前给患者吸氧。心率通常控制在 65 次 / min 左右比较合适[2,3],最好在 60 次 / min 以下[4]。常用药为 β 受体阻滞剂,如倍他洛克。

1.2 扫描参数

根据不同的 CT 机型,扫描参数略有差[1,5,6]。目前,16 层螺旋 CT 的 X 线球管旋转速度为 0.5 ~ 0.6s/r, 探测器宽度 16 × 1.25mm,120kV,250 ~ 600 mA,视野(FOV)25cm,层厚 0.5 ~ 1.25mm,螺距 0.375 ~ 1.500 之间。

1.3 对比剂的注射流率、总量及扫描延迟时间

目前常用两种方法来确定扫描延迟时间:对比剂智能追踪程序[1,5]和峰值测量程序[6,7]。前者是采用预先设置将要观察的靶血管的阈值(CT 值)的方法,然后经肘静脉注射对比剂,当所监测血管的对比剂浓度达到预先设置的阈值便自动触发扫描;后者是采用小剂量(20ml 左右)的非离子型对比剂经肘静脉团注测试升主动脉峰值密度 (注射流率 2.5 ~ 4.5ml / s),根据时间密度曲线从注射开始至峰值密度的时间再增加 2 ~ 4s 作为扫描延迟时间。然后, 用相同的流率注射对比剂(总量在 80 ~ 150ml)后并以确定好的延迟时间(一般在 18 ~ 25s 左右)开始扫描。

1.4 扫描步骤

根据不同的扫描方案[7],MSCT 冠脉成像的扫描步骤大致为以下四步:第 1 步为屏气定位像,第 2 步为平扫钙化积分测定, 第 3 步为小剂量循环时间测定或设定靶血管阈值,第 4 步为冠状动脉增强扫描。

1.5 心电门控技术

包括前瞻性心电门控和回顾性心电门控扫描。前瞻性心电门控扫描因只能固定在心动周期中的某一点来触发扫描,不利于在一次扫描中同时满意显示各支冠状动脉,因此不适合 MSCT 心脏扫描[8]。回顾性心电门控扫描技术是对 MSCT 原始扫描数据通过不同的时相(R-R 间期)触发来选取一段或几段扫描数据,再分别进行冠脉重建。这样不但时间分辨率可提高至 125 ~ 250ms, 而且可对各支冠脉分别选取最佳 R-R 间期进行容积重建,以尽可能减轻心脏运动伪影,提高图像质量[9]。

1.6 重建算法

心脏扫描重建方法主要分为单扇区重建法(One-sector reconstruction 或 Cardiac half reconstruction, CHR)和多扇区重建法(Multi-sector reconstruction, MSR)。CHR 是根据回顾性心电门控得到的 MSCT 螺旋扫描原始投影数据,用半重建技术进行影像重建;而 MSR 是在半重建技术的基础上,将单一扇区分割成多个扇区,从不同的心动周期和不同排列的探测器上采集相同时相但不同角度的原始数据进行影像重建。CHR 的时间分辨率是 X 线管旋转速度的 1/2, 最高可达 250ms;双扇区重建的最高分辨率是 CHR 的 2 倍,约 125ms;四扇区重建的最高分辨率是 CHR 的 4 倍, 约 62.5ms。双扇区、四扇区重建均属多扇区重建法。单扇区重建法的时间分辨率仅有 X 线管的旋转速度所决定,而多扇区重建法的时间分辨率不仅受 X 线管的旋转速度的影响,同时也受到扫描速度与心率匹配的影响。因而早在 MSCT 的心脏重组技术开发初期,用于多扇区重建法的变速扫描技术就被提了出来。变速扫描技术即根据患者的心动周期调节扫描速度的方式使扫描速度与心率自动匹配来提供最佳的时间分辨率[10]。

1.7 后处理技术

横断面图像是评价冠脉管腔、管壁及粥样斑快的基本方法,利用后处理技术可立体显示冠脉情况。常用的后处理技术包括多平面重组(Multi-planar reformation,MPR)、曲面重组(Curved planar reformation, CPR)、最大密度投影(Maxi-

作者介绍:罗银灯(1971-),男,博士生,技师,主要研究方向:心血管成像。

基金项目:重庆市科委自然科学基金计划资助项目(CSIC,2006BB5277)。

维普资讯 http://www.cqvip.com

mum intensity projection,MIP)、容积再现(Volume rendering, VR)及仿真内窥镜(Virtual endoscopy,VE)等。

2 临床应用

2.1 对钙化积分的定量评估

CT 冠脉成像最初是从检测冠脉钙化并进行定量分析开始的。冠脉钙化(Coronary artery calcification,CAC)是指冠脉硬化斑中的钙盐沉积,尸检和 CAG 均已证实 CAC 与冠脉粥样硬化以及冠脉疾病有直接联系，因此,CAC 的检出对诊断冠心病有重要意义。

MSCT 能发现冠脉钙化并能进行定量测定。通过平扫横断面显示各冠脉分支钙化斑块,根据其密度和面积进行积分评估从而获得最终的诊断报告。Horiguchi 等[11]研究发现以 130Hμ 为阈值,16 层 CT 钙化检测的敏感性和特异性为 98.7%和 100%，在定位和定量测定冠状动脉钙化上与电子束 CT(Electron beam computed tomography,EBCT)相仿。

冠脉钙化积分越高,冠脉狭窄的可能性就越大。研究显示[12,13]冠脉钙化积分越高,狭窄的程度越严重和(或)冠脉狭窄支数越多,两者呈正相关。由冠脉钙化诊断冠状动脉重度狭窄(≥75%)的敏感性为 94%,特异性为 76%。

冠脉钙化积分的进展还与冠心病发作紧密相关。冠脉钙化积分分数对患者目前潜在或存在的病变进行动态监测和评估,尤其是糖尿病、高脂血症、高胆固醇血症的患者常规进行定期检查,对指导临床治疗方案或干预手段很有价值。如当积分为 100～400，一般意味着有冠状动脉狭窄或冠心病存在,需要临床加以重视;如钙化积分高于 400,则提示有严重的冠脉狭窄，需要临床手术或介入治疗等进行进一步检查。Moser 等[13]主张对于存在 3 个及以上高危因素、很可能出现中、重度钙化的人群,行冠状动脉钙化积分普查。Agatston 评分 >100 者需随访观察,>400 者需随访心肌灌注 SPECT。

对于无症状人群,冠脉钙化积分的量化测定还能预测冠心病的危险程度,有助于早期发现冠心病,从而进行早期的预防和治疗。Becker 等[14]对 MSCT 和 EBCT 的对比研究显示 MSCT 的积分和病变数量不如 EBCT,但病变的密度、面积、容积的一致性较好。ROC 曲线下的面积 MSCT 较 EBCT 高,但特异性和敏感性近似。

2.2 对冠脉斑块的评估

动脉粥样硬化斑块分为软斑块、中间斑块以及钙化斑块。MSCT 对冠状动脉不同程度的钙化敏感性高,可作为冠状动脉钙化的计数手段并可发现小的非钙化斑块，并明确斑块的位置、形态及长度[15]。通过对斑块 CT 值的测定,能有效反映出冠状动脉硬化斑块的病理结构，对易损性斑块的评价也有一定价值。研究证明 MSCT 对钙化的显示与 EBCT 有很高的一致性[14]，还能检测出冠状动脉的软性斑块[16]。

2.3 对冠脉狭窄的评估

MSCT 能显示冠脉通畅程度、管壁及壁外的情况,还可以测量冠脉直径,判断狭窄的程度、性质及形态特征。MSCT 对冠脉狭窄的诊断具有较高的准确性。文献报道[17～19]16 层螺旋 CT 冠脉成像对≥2.0mm 的冠脉分支中等及以上(≥50%)狭窄的显示的敏感度和特异度分别在 89%～95%和 86%～98%之间，阳性预测值和阴性预测值分别在 79%～90%和 97%～98%之间。因此 MSCT 冠脉成像用于冠脉较大分支中重度狭窄的诊断,其可行性及可靠性较好,可以作为 SCA 前的筛选检查。

2.4 对冠脉搭桥术及支架植入术后的评估

冠脉搭桥术及支架置入术已广泛应用于临床，术后再狭窄发生率较高,对术后疗效进行客观评价临床意义重大。冠脉搭桥术前,利用 MSCT 可明确病变的位置、范围,观察其与周围结构的关系,使手术路径更明确,并做出个体化的手术计划。作为一种非创伤性检查方法,MSCT 可显示搭桥血管的起始、走行及内腔通畅情况,发现搭桥血管的狭窄并对狭窄的程度进行评估,可用于冠脉搭桥术后的随访与评价。曹新山等[20]对 40 例患者分别行螺旋 CT 增强扫描和选择性冠脉造影后发现对桥血管的评价敏感性为 94.5%，特异性为 95.7%,阳性预测值 80.4%,阴性预测值 96.3%。MSCT 用于支架置入术后的随访,可以对支架的位置、形态及支架近侧、远侧的管腔进行评价。由于支架与腔内的对比剂均为高密度，二者重叠在一起使得对支架腔内的评价受到一定限制,利用各种重建方法进行综合分析,可以对支架管腔进行评价[21]。

2.5 对心功能的评估

2.5.1 形态功能分析　文献报道[22]常用指标有心室容积(Ventricular volume,VV)、每搏输出量(Stroke volume,SV)和射血分数(Ejection fraction,EF)、心输出量(Cardiac output, CO)、心肌质量 (Myocardial mass,MM)、高峰充盈率(The peak filling rate,PFR)和高峰收缩率(The peak ejection rate, PER)。

2.5.2 室壁运动分析　心肌节段性室壁运动障碍是临床诊断冠心病的主要依据,其程度与冠心病危险程度的预后密切相关[23]。

2.5.3 心肌灌注显像　心肌灌注是衡量心肌生物学活性的重要指标之一。CT 灌注成像的原理是利用对比剂在组织内的浓度随时间变化的动态曲线,根据不同的数学模型计算该组织的血流容积 (Blood volume,BV)、血流量 (Blood flow, BF)、峰值时间 (Time to peak,TP) 和平均通过时间(Mean transit time,MTT)等参数。随着 MSCT 在心血管领域的普及应用,已有文献报道应用 MSCT 进行心肌灌注的研究[24]。心肌灌注成像的临床意义有两方面。一方面,可以为冠心病早期诊断、治疗方法的选择及预后评估提供有价值的指导。另一方面,对于冠状动脉搭桥及支架置放术后的病人,在了解心肌缺血情况的同时亦可评价桥血管或支架的通畅性。

3 图像质量相关影响因素

维普资讯 http://www.cqvip.com

MSCT 冠脉成像质量受诸多因素影响，如心率、心率波动、心脏搏动、扫描速度、重建算法和重建相位窗等。

3.1 心率及其波动对图像质量的影响

文献[25]表明心率是影响 MSCT 冠脉成像图像质量的一个重要因素，其影响主要表现为心脏搏动时产生的运动伪影。心率越慢，R-R 间期越长，R-R 间期相同相位的采集时间越长，图像质量越好。随着心率的增加，心动周期将缩短，收缩期与舒张期都将缩短，但舒张期缩短更明显，而冠脉相对静止的时相也将缩短，R-R 间期也缩短，成像时间占心动周期的比例将不断增加，且包含的时相也相应增加，因而心脏的搏动伪影就会增加，在影像上就会出现扭曲、条带状伪影或阶梯状伪影，重组的冠脉图像质量随之下降。在诸多影响因素中，心率波动对图像质量影响最大[26]，可导致心电门控与螺距床进速度不匹配、采集时相失控、冠脉 CT 数据采集不一致，从而造成锯齿样、阶梯样或条带状伪影、图像错层或部分缺失。

3.2 X 线球管旋转速度对图像质量的影响

X 线管转速越快即旋转一圈的时间越短，扫描速度越快，时间分辨率越高，因而图像质量就越好。

3.3 重建算法对图像质量的影响

对于心脏重建算法对图像质量的影响，不同作者看法各异。刘新等[27]认为单扇区重建技术采集的数据完整，图像质量好，双扇区重建技术提高了时间分辨率，但因重组数据的减少会降低图像质量。刘斌等[28]研究显示在同一条件下多扇区重建算法较单扇区重建算法提高了图像质量评分。

3.4 重建时相对图像质量的影响

回顾性心电门控技术的应用，使得冠脉的图像重建变得容易且方便，可对整个心动周期的容积数据在 R-R 间期的任意时相重建图像，显示冠脉，增加诊断的准确性。文献报道[29]冠脉运动在心室舒张中期(即 R-R 间期的 75%相位时)相对较弱，将图像重建的相位窗置于舒张中期时，通常可获得较良好的冠脉图像。Kopp 等[30]认为左前降支重建图像质量最佳的相位窗为 60%~70%，左回旋支为 50%，右冠状动脉为 40%。Hong 等[31]认为右冠状动脉在 50%R-R 时相显示最佳，左回旋支在 60%R-R 时相显示最佳，左前降支在 50%和 60%R-R 时相显示最佳。邵广瑞等[32]认为左主干、前降支和回旋支在 R-R 间期的 75%、87.5%时相、右冠状动脉在 62.5%R-R 时相显示较好。邝平定等[9]研究得出：左前降支、左回旋支和右冠状动脉重建的最佳时相为 50.0%和 62.5% R-R 时相。

总之，16 层螺旋 CT 可在短时间内大范围容积扫描、空间分辨及信噪比高。作为无创性的检查手段，16 层螺旋 CT 能充分显示冠脉主干及其主要分支的正常解剖以及病变特征，可对钙化积分作定量评估，对冠脉斑块性质及转归进行评估，对冠脉狭窄进行评估，对冠脉搭桥术及支架植入术后进行评估，对心功能进行评估。随着临床应用的逐步增多，MSCT 必将发挥重要的作用。

(通讯作者：赵建农，教授，博士生导师，主要研究方向：腹部影像。电话：023-63848300。E-mail:zhaojiannong@tom.com)

参 考 文 献

[1] 李东野，刘素堂，徐 凯，等.心率及其波动对 16 层螺旋 CT 冠状动脉成像质量的影响[J]. 中国医学影像技术，2006；22(9)：1351-1353.

[2] Thomas Flohr，Bernd Ohnesorge. Hearl rate adaptive optimization of spatial and temporal reso lution for electrocardiogram-gated multislice spiral CT of the heart[J]. J Computut Assist Tomogr，2001；25(6)：907-923

[3] 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.

[4] 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；88:1191-1194.

[5] Dewey M，Laule M，Krug L，et al. Multisegment and halfsan reconstruction of 16-slice computed tomography for detection of coronary stenoses[J]. Invest Radiol，2004；39(4)：223-229.

[6] 毛新波，朱新进，曾惠良，等.16 层螺旋 CT 冠状动脉重建成像在冠状动脉疾病诊断中的临床应用[J]. 影像诊断与介入放射学，2005；14(2)：77-79.

[7] 张竹花，金征宇，李冬晶，等.多层螺旋 CT 冠状动脉成像研究[J]. 中华放射学杂志，2003；37(9)：147-152.

[8] Ohnesorge B，Flohr T，Becker C，et al. Cardiac imaging by means of electrocardiographically gated multisection spiral CT:initial experience[J]. Radiology，2000；217:564-571.

[9] 邝平定，张敏鸣，朱建华，等.多层螺旋 CT 回顾性心电门控冠状动脉重建的最佳 R-R 时相及其临床应用[J]. 中华放射学杂志，2004；38(2)：178-183.

[10] 周 诚，沈 云.多层螺旋 CT 的图像重组原理和技术进展[J]. 中华放射学杂志，2006；40(9)：991-993.

[11] Horiguchi J，Yamamoto H，Akiyama Y，et al. Coronary artery calcium scoring using 16-MDCT and a retrospective ECG-gating reconstruction algorithm[J]. AJR，2004；183:103-108.

[12] 汪蔚青，金惠根，尚孝堂，等. 多排螺旋 CT 冠状动脉钙化积分与冠心病关系的研究[J]. 介入放射学杂志，2003；12：454-455.

[13] Moser KW，O'Keefe JH Jr，Bateman TM，et al. Coronary calcium screening in asymptomatic patients as a guide to risk factor modification and stress myocardial perfusion imaging[J]. J Nucl Cardiol，2003；10:590-598.

[14] Becker CR，Kleffel T，Crispin A，et al.Coronary artery Calcium measurement:agreement of multi-row detector and electron beam CT [J]. AJR，2001；176(5)：1295-1298.

[15] 萧 毅，田建明，王培军，等.多层螺旋 CT 冠状动脉造影的扫描技术与临床应用[J]. 中华放射学杂志，2002；36:357-361.

[16] Becker CR，Knez A，Ohnesorge B，et al. Imaging of noncalci-

维普资讯 http://www.cqvip.com

fied coronary plaques using helical CT with retrospective ECG gating [J]. AJR,2000;175(2):423-424.

[17] 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.

[18] Ropers D,Baum U,Pohle K,et al. Detection of coronary artery stenoses with thin-slice multi-detector row spiral computed tomography and mutiplanar reconstruction[J]. Circulation,2003;107(5):664-666.

[19] Martuscellia E,Romagnoli A,Eliseo AD,et al. Accuracy of thin-slice computed tomography in the detection of coronary stenoses [J]. European Heart Journal,2004;25(4):1043-1048.

[20] 曹新山,赵建农,罗银灯,等.多层螺旋 CT 在冠状动脉搭桥术后的临床应用[J]. 中国医学影像技术,2006;22(8):1207-1209.

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

[22] Juergens KU,Grude M,Maintz D,et al. Multi-detector row CT of left ventricular function with dedicate analysis software versus MR imaging: initial experience[J]. Radiology,2004;230(2):403-410.

[23] Elhendy A,van Domburg RT,Bax JJ,et al. The grade of worsening of regional funtion during dobulamine stress echocardiography predicts the extent of myocardia perfusion abnormalities [J]. Heart,2000;83(1):35-39.

[24] Wintersperger BJ,Ruff CR,Becker CR,et al. Assessment of regional myocardial perfusion using multirow-detector computed tomography[J]. ECR,2002;B-0847.

[25] 朱海峰,范家栋,郑卓肇,等. 16 层螺旋 CT 冠状动脉成像初步探讨[J]. 中华放射学杂志,2006;40(10):1064-1068.

[26] 王怡宁,金征宇,孔令燕,等.64 层螺旋 CT 冠状动脉成像初步研究[J]. 中华放射学杂志,2006;40(8):797-801.

[27] 刘 新,蔡祖龙,蔡幼铨,等. 多层螺旋 CT 和三维屏气 MR 冠状动脉成像的对比研究[J]. 中华放射学杂志,2006;40(6):597-602.

[28] 刘 斌,赵 红,吴兴旺,等.64 层螺旋 CT 冠状动脉成像图像质量的相关影响因素分析 (心脏体模模拟实验)[J]. 中华放射学杂志,2006;40(9):980-983.

[29] kobs TJ,Becher CR,Ohnesorge B,et al. Multislice helical CT of the heart with retrospective ECG gating: reduction of radiation exposure by ECG-controlled tube current modulation[J]. Eur Radiol,2002;12:1081—1086.

[30] 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;221:683-688.

[31] Hong C,Becker CR, Huber A,et al. ECG-gated reconstructed multidetector row CT coronary angiography:effect of varying trigger delay on image quality[J]. Radiology,2001;220:712-717.

[32] 邵广瑞,柳 澄,刘延军,等.多层螺旋 CT 与选择性冠状动脉造影对照研究及其临床应用[J]. 中华放射学杂志,2003;37(9):805-808.

(上接第 1004 页)

[J]. Biochem Biophys Res Commun,1998;244:268-274.

[12] M.Elkjaer,Z.Vajda,L.N.Nejsum,et al. Immunolocalization of AQP9 in liver,epididymis,testis,spleen,and brain[J]. Biochem Biophys Res Commun,2000;276:1118-1128.

[13] H.Kuriyama,S.Yamashita,I.Shimomura,et al. Enhanced expression of hepatic acyl-coenzyme a synthetase and microsomal triglyceride transfer protein messenger RNAs in the obese and hypertriglyceridemic rat with visceral fat accumulation[J]. Hepatology,1998;27:557-562.

[14] H.Kuriyama,I.Shimomura,K.Kishida,et al. coordinated regulation of fat-specific and liver-specific glycerol channels, aquaporin adipose and aquaporin 9[J]. Diabetes,2002;51:2915-2921.

[15] J.M.Carbrey,D.A.Gorelick-Feldmam,D.Kozono,et al. Aquaglyceroporin AQP9:solute permeation and metabolic control of expression in liver[J]. Proc Natl Acad Sci USA,2003;100:2945-2950.

[16] N.Maeda,T.Nakamura,T.Hibuse,et al. Adaptation to fasting by glycerol transport through aquaporin 7 in adipose tissue[J]. Proc Natl Acad Sci USA,2004;101:17801-17806.

[17] T.Hibuse,N.Maeda,T.Funahashi,et al. Aquaporin 7 deficiency is associated with development of obesity through activation of adipose glycerol kinase[J]. Proc Natl Acad Sci USA,2005;102:10993-10998.

[18] M.Hara-Chikuma,E.sohara,T.Rai,et al. Progressive adipocyte hypertrophy in aquaporin-7-deficiency mice:adipocyte glycerol permeability as a novel regulator of fat accumulation[J]. J Biol Chem,2005;280:15493-15496.

[19] J.I.Yeh,V.Charrier,J.Paulo,et al. Structures of enterococcal glycerol kinase in the absence and presence of glycerol:correlation of conformation to substrate binding and a mechanism of activation by phosphorylation[J]. Biochemistry,2004;43:362-373.

[20] H.P.Guan,Y.Li,M.V.Jensen,et al. A futile metabolic cycle activated in adipocytes by antidiabetic agents[J]. Nat Med,2002;8:1122-1128.