

CT 冠状动脉造影与心肌灌注的研究进展

王艺静 孙艳秋

【摘要】 随着高端 CT 机型的出现, CT 对冠状动脉粥样硬化性心脏病的评估从单一的冠状动脉形态学改变过渡到联合心肌功能学评价心肌缺血和是否需要血运重建。CT 对心功能的评估与 MRI 和单光子发射计算机断层摄影等具有较好的一致性, 该文从 CT 冠状动脉造影和心肌灌注成像的研究现状和进展方面展开综述。

【关键词】 计算机 X 线体层扫描; 冠状动脉; 心肌灌注; 一站式成像

Research progress in CT coronary angiography and myocardial perfusion Wang Yijing, Sun Yanqiu.

Department of Imaging Center, Qinghai Provincial People's Hospital, Xining 810000, China

Corresponding author, Sun Yanqiu, E-mail: syqldn@126.com

【Abstract】 With the emergence of high-end computed tomography (CT) models, the CT assessment of coronary atherosclerotic heart disease is transitioning from coronary morphological changes alone to myocardial function to evaluate myocardial ischemia and whether revascularization is required. CT scan yields high consistency with MRI and single proton emission computed tomography in the assessment of cardiac function. In this article, current research progress in CT coronary angiography and myocardial perfusion imaging was reviewed.

【Key words】 Computed tomography; Coronary artery; Myocardial perfusion; One-stop imaging

冠状动脉粥样硬化性心脏病(冠心病)是全球最主要的致死性疾病, 其病理生理基础为各种原因引起冠状动脉狭窄, 冠状动脉供血减少而无法满足心肌需氧量, 最终出现缺血性心肌损害。作为筛查冠心病的非侵入性首选检查方式, CT 冠状动脉造影(CCTA)的安全性已得到临床实践证实^[1]。CCTA 在评定冠状动脉硬化、狭窄程度与斑块性质方面具有独特优势, 并能在一定程度上预测心血管事件的发生风险, 降低冠心病不良事件^[2]。单一的冠状动脉形态学改变尚不能很好地满足临床需求, 越来越多学者着手研究心肌功能改变和判断相关血管的病变^[3]。CCTA 和 CT 心肌灌注成像(CT-PI)相结合在确定冠状动脉狭窄血流动力学的准确性已得到了单中心和多中心研究的证实^[4,5]。

一、CCTA 研究现状

CCTA 是经静脉团注对比剂后, 在冠状动脉对比剂达到峰值时进行扫描, 再经过后处理获取重建后的冠状动脉图像, 进而评估斑块的位置、性质和血管狭窄程度。CCTA 对于梗阻性冠心病的诊断具

有良好的灵敏度, 提高图像质量、降低辐射剂量、分析斑块成分以及预测心血管事件发生风险是目前研究的热点^[6]。

1. 图像质量

影响图像质量的因素主要包括患者自身因素和技术因素, 前者主要指患者身高、体质量、BMI、心率、心律、呼吸运动、身体运动以及手术置入物等; 后者包括探测器排数、球管数目和转速、扫描参数(管电压、管电流等)、对比剂剂量、注入方案及重建技术等^[7]。采用个体化对比剂注射方案是保证图像质量的基石, 既保证冠状动脉内对比剂的浓度, 同时最大程度避免检查者注入过量的对比剂, 通常冠状动脉内对比剂浓度须达到 25 ~ 27 mgI/(kg · s)。以往快心率和心律不齐者是 CCTA 检查的禁忌, 2017 年《心脏冠状动脉 CT 血管成像技术规范应用中国指南》(《指南》)中明确指出, 为了保证图像质量和降低辐射剂量, 应当应用 64 排或 64 排以上的设备行 CCTA 检查^[8]。双源 CT 问世后快心率患者的冠状动脉伪影有所改善, 但多扇

区扫描心率可不一致并且可能在不同的心动周期进行扫描,这使得心率不齐的问题未得到很好解决^[9]。随着 256 排、320 排等宽体探测器 CT 问世,Z 轴覆盖范围可达 16 cm,一个心动周期即可实现全心覆盖,宽体探测器联合高时间分辨率保证了图像的优质性,即便是心房颤动患者也不例外^[10]。

2. 辐射剂量

前瞻性心电门控技术、调整管电流与管电压均可有效降低辐射剂量,前瞻性心电门控模式不同于传统回顾性心电门控的全心周期扫描,仅在预先设定的 R-R 间期曝光,可明显降低受检者的辐射剂量。宽体探测器的智能心电门控技术是根据不同的心率和心律推荐合适的扫描期相,汪芳等^[11]应用 Revolution CT 智能心电门控技术对 200 名检查者进行研究,证实了 256 排宽体 CT 智能心电门控技术可在不控制心率的情况下一次心动周期内实现冠状动脉的扫描,且图像质量和辐射剂量均得到了改善,不同心率组的辐射剂量不尽相同,心率小于 70 次/秒者的辐射剂量可达到 1 mSv 以下。通常在智能心电门控模式下,心率小于 70 次/秒,采用 75% 的舒张期相;位于 70~80 次/秒之间的,既可采用 40%~55% 的收缩期相也可采用 70%~80% 的舒张期相,对于超过 80 次/秒的高心率者应当联合冠状动脉追踪冻结技术(SSF)^[12]。《指南》中提出宽体 CT 设备在辐射剂量足够低时,可考虑使用前瞻性心电门控进行全期相扫描,有利于分析检查者的心功能。辐射剂量与管电压的平方和管电流呈正比,管电压主要根据受检者的 BMI 进行调控,正常 BMI 者选用 100 kV 的管电流相对于 120 kV 能降低大约 30% 的剂量,低 BMI 者可选用 80 kV 甚至 70 kV,并不会对图像质量造成影响^[13]。

3. CCTA 对冠状动脉斑块的研究进展

由于冠心病对健康最大的威胁在于斑块破裂并继发血栓形成,进而导致 ACS,因此斑块的特征与心血管事件密切相关,目前影像学研究也愈加注重对斑块性质的评估,尤其是不稳定斑块的成分。易损斑块是导致 ACS 的主要原因,其病理特征是起分隔作用的纤维帽较薄、脂质核心大并伴有活动性炎症。稳定性斑块则是以钙化和纤维增殖为主,包膜较厚、脂质内核小,对冠状动脉的影响仅限于机械性占位。一般情况下,软斑(脂质斑块)CT 值为 42~47 HU,纤维斑块(中等密度斑块)为 61~112 HU,硬化斑块(钙化斑)为 126~726 HU,但脂质斑块与纤维斑块密度容易出现重叠,需要进一步区

分^[14]。CCTA 的后处理技术可实现对斑块特性的定量分析,小点状钙化斑块(钙化 < 1 mm)、正性重构(血管代偿性扩展)的斑块以及大负荷斑块与心血管事件发生的潜在关系已得到证实^[15]。自 2009 年 GE 公司推出宝石能谱 CT 以来,“平均密度值”时代已逐渐过渡到“绝对 CT 值”时代,能谱 CT 对于斑块纤维帽的厚度、脂质核的大小和斑块有无溃疡、出血等能作出更准确的判断,进而明确是否为易损斑块^[16]。冠状动脉成像自迭代重建算法等技术能有效降低钙化斑块的伪影,对于冠状动脉斑块及狭窄检出的准确率高于常规 CCTA,并且能精确地评定支架植入术后血管腔内的情况^[17]。

二、CTPI 的研究现状

心肌灌注是携带氧和营养物质的血液流经冠状动脉毛细血管网,从而实现对心肌的营养作用。与其他心脏检查不同,CTPI 需要满足高强度的心肌增强、快速心脏覆盖以及在合理的辐射剂量下进行采集^[18]。影像学上心肌灌注基于组织器官对比剂稀释理论,正常心肌、缺血心肌甚至梗死的心肌对碘对比剂的摄取存在差异,可通过定性、半定量或定量地分析心肌灌注是否正常,从而判断心肌活性。单光子发射计算机断层摄影(SPECT)心肌灌注被认为是判断心肌功能的金标准,能敏感地发现冠状动脉疾病引起的心肌缺血性改变,但其空间分辨率较低、辐射剂量大、可重复性差并且费用高昂。MRI 在心肌功能的诊断和指导临床治疗中也起到了重要作用,其空间分辨率高,但特异性较低且对受检者自身要求较高。近年来,CT 扫描时间缩短、辐射剂量减少以及后处理技术不断革新推动了 CTPI 的发展,研究者开始将 CT 提供的冠状动脉形态学改变与心肌血流灌注功能学方面的信息结合起来^[19]。一项多中心研究将 CCTA 与 CTPI 结合起来,敏感度 74%,阳性预测值为 86%,另一项研究将 CCTA 与 CTPI 相结合与单一 CCTA 比较,发现敏感度由 83% 提高到 91%,阳性预测值由 66% 提高到 86%,阴性预测值由 87% 提高到 93%^[20-21]。

1. 静息态 CTPI

也称首过灌注,是通过分析在首过阶段分布在冠状动脉中的造影剂来判断心肌微循环灌注情况。其优势在于单次扫描、辐射剂量低、无需药物负荷、适用性广泛。目前由于设备的时间分辨率和探测器覆盖范围能达到全心灌注的要求,一站式 CCTA + CTPI 的研究相对较为广泛。静息态 CTPI

需要在造影剂峰值期进行扫描,对造影剂注射的时间依赖性较强,仅能进行定性或者半定量的评估。定性分析是基于心肌灌注图中造影剂浓度与碘对比剂的浓聚密度呈正相关这一特点,密度减低区反映其对碘对比剂的摄取能力下降,因此凭经验即可判断感兴趣区与正常心肌的灌注是否存在灌注减低或缺损,定性分析用于诊断心肌灌注缺损的敏感性和特异性存在一些缺陷。半定量分析是通过绘制感兴趣区的时间密度曲线(TAC),并通过后处理软件自动计算相应血流参数,从而对局部心肌血流灌注情况得到较为准确的评价。有研究证实结合 CCTA 与首过 CTPI 对缺血性冠状动脉疾病的诊断效能与 SPECT 相近^[22]。

2. 负荷 CTPI

负荷 CTPI 是通过连续扫描从而获得造影剂-时间衰减曲线,得到以心肌血流量(MBF)、心肌血容量(MBV)等代表心肌灌注的参数值。负荷的方式有运动介导和药物介导 2 种方式,运动负荷可行性低,临床多采用腺苷等药物进行介导,且负荷 CTPI 需要行静息-负荷 2 次灌注扫描才能实现全面评估,无论是先行静息扫描或先行负荷扫描,2 次扫描之间均需保证 10~20 min 的间隔,以保证对比剂充分洗脱。负荷 CTPI 采用的评估方式是全定量分析,能绘制出全面的 TAC 曲线,其最大斜率即为 MBF,通过计算能进一步获得 MBV 等动态参数。选择性地对患者进行 CCTA + 负荷 CTPI 检查能提高其诊断价值,例如用于评价冠状动脉搭桥术后心肌的存活率,血管再通后心肌的再灌注损伤程度等^[23]。负荷 CTPI 能全面地分析心肌灌注情况,对心肌缺血诊断的敏感性较高,但实际临床工作中,由于存在冠心病患者不耐受药物负荷或运动负荷的风险,且该检查时间长、辐射剂量大,因此并未在临床大范围地实施。

三、心脏 CT 的不足与展望

受不同 CT 灌注技术、不同设备和不同的研究群体限制,CT 心肌灌注发展到临床应用的进程较为缓慢,目前仍未确定出最佳的负荷态扫描方案。心脏 CT 现阶段面临的最大问题在于图像质量和辐射剂量,随着宽体 CT 问世,例如后高端 CT 时代的开启者——Revolution CT,球管速度为 0.28 s/r,呼吸和血管搏动对图像质量的影响几乎忽略不计,高心率者联合 SSF 技术进行冠状动脉冻结,也能重建出优质图像。一站式 CCTA + CTPI 检查剂量通常为 3.3~4.6 mSv,明显低于 SPECT 和传统 CT 的心

肌灌注剂量,目前许多研究通过低管电压、管电流调制结合迭代重建技术、提高时间分辨率等方式为更低剂量扫描而不断努力。期待 CT 心脏检查更安全准确地提供冠状动脉和心肌功能的信息,为临床治疗决策提供更好的影像依据。

参 考 文 献

- [1] Kolossváry M, Szilveszter B, Merkely B, Maurovich-Horvat P. Plaque imaging with CT—a comprehensive review on coronary CT angiography based risk assessment. *Cardiovasc Diagn Ther*, 2017, 7 (5): 489-506.
- [2] 倪炯,王培军.合理应用心脏 CT 诊断冠状动脉粥样硬化性心脏病. *中华医学杂志*, 2015, 95 (11): 801-802.
- [3] Yang DH, Kim YH, Roh JH, Kang JW, Ahn JM, Kweon J, Lee JB, Choi SH, Shin ES, Park DW, Kang SJ, Lee SW, Lee CW, Park SW, Park SJ, Lim TH. Diagnostic performance of on-site CT-derived fractional flow reserve versus CT perfusion. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2017, 18 (4): 432-440.
- [4] George RT, Arbab-Zadeh A, Miller JM, Vavere AL, Bengel FM, Lardo AC, Lima JA. Computed tomography myocardial perfusion imaging with 320-row detector computed tomography accurately detects myocardial ischemia in patients with obstructive coronary artery disease. *Circ Cardiovasc Imaging*, 2012, 5 (3): 333-340.
- [5] George RT, Arbab-Zadeh A, Cerci RJ, Vavere AL, Kitagawa K, Dewey M, Rochitte CE, Arai AE, Paul N, Rybicki FJ, Lardo AC, Clouse ME, Lima JA. 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. *AJR Am J Roentgenol*, 2011, 197 (4): 829-837.
- [6] Pelgrim GJ, Dorrius M, Xie X, den Dekker MA, Schoepf UJ, Henzler T, Oudkerk M, Vliegenthart R. The dream of a one-stop-shop: meta-analysis on myocardial perfusion CT. *Eur J Radiol*, 2015, 84 (12): 2411-2420.
- [7] 唐太松,何丹.多层螺旋 CT 冠状动脉成像现状及进展. *实用放射学杂志*, 2014, (11): 1927-1930.
- [8] 中华医学会放射学分会心胸学组,《中华放射学杂志》心脏冠状动脉多排 CT 临床应用指南写作专家组.心脏冠状动脉 CT 血管成像技术规范应用中国指南. *中华放射学杂志*, 2017, 51 (10): 732-743.
- [9] Sidhu MS, Venkatesh V, Hoffmann U, Ghoshhajra BB. Advanced adaptive axial-sequential prospectively electrocardiogram-triggered dual-source coronary computed tomographic angiography in a patient with atrial fibrillation. *J Comput Assist Tomogr*, 2011, 35 (6): 747-748.
- [10] 刘卓,张诚,陈尘,綦维维,安备.高时间分辨率宽体探测器 CT 对心房颤动患者冠状动脉造影可行性研究. *临床放射学杂志*, 2016, 35 (5): 786-789.
- [11] 汪芳,郝万庆,杨利莉,郑静瑶,哈若水,王泽润,曹永佩,黄飞.256 排宽体探测器 CT 智能心电门控技术在不控

- 制心率患者冠状动脉 CTA 中的应用. 中国医学影像技术, 2017, 33 (7): 1080-1084.
- [12] Fan L, Zhang J, Xu D, Dong Z, Li X, Zhang L. CTCA image quality improvement by using snapshot freeze technique under prospective and retrospective electrocardiographic gating. J Comput Assist Tomogr, 2015, 39 (2): 202-206.
- [13] 王均庆. CT 及磁共振冠状动脉血管成像的进展. 医学综述, 2013, 19 (4): 712-716.
- [14] Sandfort V, Lima JA, Bluemke DA. Noninvasive imaging of atherosclerotic plaque progression: status of coronary computed tomography angiography. Circ Cardiovasc Imaging, 2015, 8 (7): e003316.
- [15] Takahashi S, Kawasaki M, Miyata S, Suzuki K, Yamaura M, Ido T, Aoyama T, Fujiwara H, Minatoguchi S. Feasibility of tissue characterization of coronary plaques using 320-detector row computed tomography: comparison with integrated backscatter intravascular ultrasound. Heart Vessels, 2016, 31 (1): 29-37.
- [16] 齐琳, 毛定飏, 毕正宏, 滑炎卿. 宝石能谱 CT 显示支架内腔及再狭窄--体模初步实验研究. 中国医学计算机成像杂志, 2013, 19 (1): 70-74.
- [17] 李博, 崔冰. CT 能谱成像在冠心病中应用进展. 中华实用诊断与治疗杂志, 2016, 30 (2): 117-119.
- [18] Branch KR, Haley RD, Bittencourt MS, Patel AR, Hulten E, Blankstein R. Myocardial computed tomography perfusion. Cardiovasc Diagn Ther, 2017, 7 (5): 452-462.
- [19] Rossi A, Merkus D, Klotz E, Mollet N, de Feyter PJ, Krestin GP. Stress myocardial perfusion: imaging with multidetector CT. Radiology, 2014, 270 (1): 25-46.
- [20] Rochitte CE, George RT, Chen MY, Arbab-Zadeh A, Dewey M, Miller JM, Niinuma H, Yoshioka K, Kitagawa K, Nakamori S, Laham R, Vavere AL, Cerci RJ, Mehra VC, Nomura C, Kofoed KF, Jinzaki M, Kuribayashi S, de Roos A, Laule M, Tan SY, Hoe J, Paul N, Rybicki FJ, Brinker JA, Arai AE, Cox C, Clouse ME, Di Carli MF, Lima JA. Computed tomography angiography and perfusion to assess coronary artery stenosis causing perfusion defects by single photon emission computed tomography: the CORE320 study. Eur Heart J, 2014, 35 (17): 1120-1130.
- [21] Rocha-Filho JA, Blankstein R, Shturman LD, Bezerra HG, Okada DR, Rogers IS, Ghoshhajra B, Hoffmann U, Feuchtner G, Mamuya WS, Brady TJ, Cury RC. Incremental value of adenosine-induced stress myocardial perfusion imaging with dual-source CT at cardiac CT angiography. Radiology, 2010, 254 (2): 410-419.
- [22] 于雪芳, 张璋, 陈俊. 冠状动脉狭窄的 CT 功能评价技术进展. 中华放射学杂志, 2017, 51 (4): 314-316.

(收稿日期: 2018-05-12)

(本文编辑: 杨江瑜)