CT 动态负荷心肌灌注临床研究进展

王成英, 孙凯 综述 吕滨 审校

【摘要】 心肌灌注成像可评估心肌血流灌注的生理学信息,间接反映心肌微循环状态。许多研究表明,心肌功能学信息对指导临床诊疗及评价远期预后至关重要。传统的心肌灌注方法包括 PET、MRI、SPECT 心肌灌注,CT 心肌灌注是近年兴起的新技术,不仅可以定性诊断,还能得到心肌灌注的量化信息,从而进行功能学评价,指导临床诊疗,然而其作为一项新技术也存在诸多未确定的问题。本文回顾近年来该领域的研究进展,对 CT 心肌灌注的方法、临床应用价值、与传统心肌灌注方法的比较、辐射剂量及存在的问题进行综述。

【关键词】 体层摄影术, X 线计算机; 心肌灌注; 冠心病; 预后

【中图分类号】 R542.2; R814.42 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2017)01-0542-04

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2017.01.024

冠心病(coronary artery disease, CAD)是在冠状动脉粥样硬化的基础上,引起冠状动脉供血减少,心肌微循环状态失衡,从而引发心肌缺血。CT 冠状动脉造影(coronary CT angiography, CCTA)对冠心病有较高的诊断敏感度和阴性预测值,与冠状动脉造影金标准具有良好的一致性^[1-3];其临床应用包括冠状动脉钙化积分评估、冠状动脉解剖学评价、左心功能评估等。然而 CCTA 依然存在高估血管狭窄程度、钙化严重者评价受限等不足,只能提供血管的解剖学信息,不能显示心肌微循环障碍所引起的血流动力学改变^[4]。CT 心肌灌注成像(myocardial CT perfusion, CTP)是在解剖学成像的基础上通过连续动态扫描获取功能学成像信息,评价冠状动脉狭窄与心肌血供的关系,以弥补传统 CCTA 临床应用的不足。

心肌灌注是反映流经心肌冠状动脉血管网的血流,即血流从小动脉经毛细血管网到静脉流出的过程^[5],可直接反映心肌微循环的状态^[6-7]。许多研究表明,心肌功能学信息对指导临床诊疗及评价长期预后至关重要^[8-10]。传统的心肌灌注方法包括 PET、MRI、SPECT 心肌灌注,CTP 不仅可以得到传统方法的定性诊断信息,还能得到心肌灌注的量化信息。近年来随着 CT 扫描和成像技术的不断进步,CTP 亦有了长足进展,但也存在诸多未确定的问题。本文回顾近年来该领域的研究进展,对 CTP 的方法学、临床应用价值、与传统心肌灌注方法的比较、辐射剂量及存在的问题进行综述。

CT 负荷心肌灌注方法学

1. CT 负荷心肌灌注扫描技术

多项研究表明^[11-13],行动态 CT 心肌灌注前,先进行 CCTA 扫描,可以了解冠脉血管的解剖情况。患者行动态负荷试验前晚和当日晨起不饮浓茶、咖啡及含咖啡类饮品(如可乐);停用硝酸酯类扩血管药、 β 受体阻滞剂和钙拮抗剂 2 个半衰期^[14-15],检查前向患者说明检查目的、药物的安全性及可能发生的不良反应,并签署知情同意书。同时对患者进行呼吸训练,嘱患者轻轻憋气 30 s,必要时腹带加压。负荷检查时先以 140 $\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{min}$ 或 160 $\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{min}$ 速度经左肘前静脉泵入腺苷(或 ATP)持续 3~6 min,采用前瞻性门控,于升主动脉对比剂开始上升前 4 s 进行扫描,根据心率于 R 波后 175~250 ms 进行触发扫描以获取收缩末期图像。体重指数(body mass index, BMI) $\leq 30 \text{ kg}/\text{m}^2$ 的患者,管电压和管电流分别为 80~100 kV 和 200 mAs。采用双期注射方案先以 5.0 mL/s 的流率注入浓度为 370 mg I/mL 的对比剂 40 mL,然后以 5.0 mL/s 的流率注入 20 mL 盐水。动态负荷扫描历时约 30 s。负荷试验 20~30 min 后,以相同的扫描参数进行静息期扫描^[11,14-15]。此外,约有 1/3 的研究选择性行延迟期扫描,以查看心肌不可逆性缺损;也可先行静息期再行负荷期扫描。两种扫描方式的变化主要考虑到首次扫描对比剂的“洗脱”问题。因此,为防止对比剂污染第二期图像,两期扫描时间至少间隔 20~30 min^[16]。检查期间随时监测患者血压及心电图变化^[14-15]。CTP 负荷药物多为腺苷(或 ATP)、潘生丁等扩血管药物。潘生丁半衰期长,超过 20 min,患者发生不良反应的风险高;腺苷作用迅速,半衰期极短($< 10 \text{ s}$),虽有较多不良反应,一旦发生不良反应,停止输注 1~2 min 内症状即可自行缓解^[17],患者尚可

作者单位: 014010 内蒙古科技大学包头医学院,包头市中心医院核医学科(王成英、孙凯);100037 北京,中国医学科学院阜外医院放射影像科(吕滨)

作者简介:王成英(1990—),女,山东济宁人,硕士研究生,主要从事心血管病影像学诊断工作。

通讯作者:吕滨, E-mail: blu@vip.sina.com

基金项目:国家自然科学基金项目(2012-GZ20)

接受。其他负荷药物如多巴酚丁胺等氧耗型药物,目前多用于负荷超声心动图及核素心肌灌注^[16],在CTP的可行性上还未充分证实。

2. CT 负荷心肌灌注图像处理

灌注图像利用标准的工作站及专用灌注软件进行动态数据处理,通过对左心室心肌(单位 HU)阈值的界定和峰值增强的分析,动脉输入功能(arterial input function, AIF)分别定位于降主动脉头足位的 2 个椭圆的感兴趣区(ROI)图像集中取样,得出 ROI 的时间衰减曲线(time-attenuation curve, TAC)。使用去卷积技术,最后得到灌注量化指标,包括心肌血流量(myocardial blood flow, MBF)、心肌血容量(myocardial blood volume, MBV)、达峰时间(time to peak, TTP)、组织通过时间(tissue transit time, TTT)和血管组织渗透率(Ktrans)。MBF 的评估有 3 种模型、1 种方法,即双室模型、轴向分布模型、绝热近似组织均匀模型及非模型 slop-based 方法等。相关研究表明^[18],这 4 种方式对 MBF 的评估无明显差异,但综合 MBF 评估的标准误差, slop 方法是最理想的。

CT 动态负荷心肌灌注的临床应用

1. 评估心肌缺血及心肌梗死

CTP 是利用某些药物增加心肌耗氧或“冠状动脉窃血”状态^[17],正常冠脉血管扩张,血流增加至静息状态的 4~5 倍^[19],病变冠状动脉向心肌供血减少,造成相应心肌缺血,碘对比剂渗入病变区缓慢,使正常冠状动脉供血区和狭窄病变供血区心肌内出现碘分布差异。如冠状动脉持续阻塞,心肌出现不可逆性功能改变,即心肌梗死。心肌梗死患者由于心肌微血管床损害,导致细胞间隙扩大,对比剂在梗死心肌的细胞间隙聚集,从而出现延迟强化^[20]。CTP 全定量图像分析可以提供绝对定量的灌注信息,并能在心肌缺血严重程度、检测微血管病变及生存质量分析中进行客观和可重复性的评估^[14,16];但由于灌注量化指标较多,较为公认的量化指标为心肌血流量。Ho 等^[14]对 35 例患者进行研究,得出正常人静息期 MBF 值为(74.08 ± 16.30) mL/100g·min,负荷期 MBF 为(135.24 ± 28.89) mL/100g·min,心肌缺血患者静息期 MBF 为(82.29 ± 16.87) mL/100g·min,负荷期为(107.95 ± 25.25) mL/100g·min,心肌梗死患者静息期 MBF 为(81.98 ± 18.54) mL/100g·min,负荷期为(106.93 ± 32.91) mL/100g·min;此外,该研究也计算了冠状动脉血流储备(coronary flow reserve, CFR),CFR = MBF 负荷 / MBF 静息或 MBF 负荷 / MBF 校正,得出正常人群 CRF 值为(1.86 ± 0.38),可逆性心肌缺血患者 CRF 值为(1.33 ± 0.27),不可逆性缺血者 CRF 为

(1.33 ± 0.46)。但是由于样本量小,并且选择的是亚洲人群,不能作为全球正常人群的参考值。此外有文献指出^[21-22]透壁灌注比率(trans-myocardial perfusion ratio, TPR, TPR = 心内膜下心肌密度 / 心外膜下心肌密度)较 MBF 更能反映心肌血流量的跨壁梯度,研究发现冠心病患者的血流跨壁梯度与正常人相比不管在静息态还是负荷态都有差异,认为 TPR < 0.99 时存在心肌缺血。由于量化指标没有统一的参考标准,目前多采用定性分析方法,与传统心肌灌注方法相比,具有良好的一致性^[2,23]。彭晋等^[24]对犬的急性心肌梗死模型进行研究,以病理结果为金标准,发现 CTP 诊断急性心肌梗死的敏感度、特异度、阳性预测值、阴性预测值分别为 85.0%、84.1%、65.4%、94%。Bamberg 等^[25]以血流储备分数(fractional flow reserve, FFR)为金标准,CTP 诊断心肌缺血的灵敏度、特异度、阳性预测值、阴性预测值分别为 93%、87%、75%、96.7%。因此,CTP 对临床鉴别梗死心肌和缺血心肌具有重要价值。

2. 提高 CT 对冠心病的诊断效能

CCTA 对评估和排除冠脉有意义狭窄具有较高的诊断准确度^[26],目前已被临床广泛应用。但 CCTA 存在以下不足:首先 CCTA 仅提供解剖学信息,而冠状动脉功能学信息对临床诊疗及长期预后有重要意义,且血管解剖学狭窄与心肌功能学异常往往无明显相关性^[27]。其次,受钙化斑块及支架的影响,CCTA 往往高估血管狭窄^[16],从而对临床诊疗途径的选择带来一定影响。因此,CCTA/CTP 联合检查,可同时提供冠状动脉形态学与功能学相关信息,为临床诊断缺血性心脏病提供依据,是一种重要、无创的“一站式”检查技术。Rocha-Filho 等^[28]研究表明,CCTA 与 CTP 两者联合检查较单一 CCTA 检查,敏感度由 83% 提高到 91%,特异度由 71% 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%。Ladeiras-Lopes 等^[29]对 95 例冠脉钙化患者进行研究,发现 CCTA 检查钙化积分 > 400 分的患者进一步行心脏 CTP 检查,可弥补 CCTA 因钙化较重而狭窄评估受限的不足。Ko 等^[30]以 FFR 为标准,评价 320 排 CT 对冠心病的诊断价值,得出 CTP 诊断病变血管供血区心肌缺血的敏感度为 70%,特异度为 84%;CCTA 联合 CTP 诊断心肌缺血的特异度为 98%,阴性预测值为 100%。因此,CCTA/CTP 联合检查可进一步提供心脏功能学信息,矫正 CCTA 诊断过度及易受钙化影响的问题,提高 CT 对冠心病的诊断效能^[31]。

与传统心肌灌注方法的比较

心肌灌注的方法有很多,包括 PET、SPECT、心脏

MR及CT心肌灌注。其中,SPECT心肌灌注显像已经得到临床的广泛应用^[32],但其空间分辨力较低,检查时间长,不能早期显示心内膜下梗死,尤其对于三支病变的患者易出现假阴性且不能显示冠脉的管腔结构^[33]。相比之下,心脏MR无辐射,对软组织具有较高的空间分辨力,可清晰显示心内膜下病变,并能判断心脏功能;但成像时间较长,检查禁忌症较多,有心脏起搏器、除颤器及幽闭症患者不能接受该检查^[34]。许多研究表明CTP与PET、SPECT、心脏MR灌注成像具有良好的一致性(表1);且CTP空间分辨率高,能够定量分析,进行解剖和功能一站式成像,其辐射剂量同核医学相比也不会太高^[16]。Wang等^[11]以SPECT为参考标准,得出CTP诊断心肌缺血的敏感度、特异度、阳性预测值、阴性预测值分别为85%、92%、55%、98%;George等^[35]以同样的标准进行研究,其结果分别为78.0%、62%、58%、81%。Ho等^[15]以SPECT为标准,其评估心肌缺血的敏感度、特异度、阳性预测值、阴性预测值分别为83%、78%、79%、82%;Weininger等^[36]以MR为参考标准,CTP评估梗死心肌的敏感度、特异度、阳性预测值、阴性预测值分别为86%、98%、94%、96%。因此,CT心肌灌注不仅具有较高的诊断准确度,还能弥补传统灌注方法的不足,具有重要的临床应用价值。

表1 几篇文献的CTP诊断效能比较

作者	参考标准	样本量(例)	敏感度	特异度	阳性预测值	阴性预测值
Wang等	SPECT	30	85.0%	92.0%	55.0%	98.0%
George等	SPECT	381	78.0%	62.0%	58.0%	81.0%
Weininger等	MRI	20	86.0%	98.0%	94.0%	96.0%
Bamberg等	SPECT	35	93.0%	87.0%	75.0%	96.7%

辐射剂量

相关文献报道^[21-22]动态负荷CTP辐射剂量相对较高,100 kV管电压、300~330 mAs管电流的扫描参数下辐射剂量为9.2~12.5 mSV,静息灌注扫描的剂量小于5.3 mSV;Wang等^[11]在腺苷动态负荷CTP与传统冠状动脉造影和SPECT心肌灌注显像的对比性研究中,显示CCTA/CTP联合检查的总平均有效辐射剂量为(12.8±1.6) mSV。Kim等^[37]在腺苷负荷心肌灌注管电压、管电流及碘对比剂浓度对图像质量和辐射剂量影响的研究中,通过设置不同管电压、管电流及对比剂浓度,以评估负荷试验下的图像质量及辐射剂量;该研究发现,对BMI≤30 kg/m²的患者,在不影响图像质量情况下,80 kV管电压、自动管电流及400 mg/mL对比剂浓度时的辐射剂量为(4.6±1.1) mSV;从而得出80 kV管电压及高浓度对比剂扫描,可有效降低辐射剂量。因此,随着CT技术的进步和发展,可以优化扫描方案,使辐射剂量进一步降低。

存在的问题及展望

1. 正常参考值的问题

目前CTP对心肌缺血及心肌梗死的诊断包括定性诊断、半定量诊断及定量诊断^[14]。定性诊断主要是观察心肌强化缺损区,因此,经验积累尤其重要。有文献报道^[38],适合心肌灌注定性诊断的窗宽、窗位分别为200~300 HU及100~150 HU。另外,心肌不同节段密度值不同^[23],因此,心肌强化密度值降低是由于心肌节段不同还是心肌缺血还需进一步鉴别。此外,各种量化指标没有统一的参考值,例如反映冠状动脉血流储备的CRF值,可能因负荷药物的不同而出现差异^[14]。

2. 伪影

主要是运动伪影及线束硬化伪影(beam-hardening, BH),特别是BH。BH是由于部分组织优先吸收了混合能量X线束里的低能光子束能量,影响了心肌组织CT值衰减程度,导致在心肌灌注成像中出现低灌注区域,从而出现假阳性^[21,39]。然而BH也有一些特征,包括呈三角形;在心肌高密度周围呈放射状低密度分布;且主要分布于左室后壁、室间隔及基底段。目前应用迭代重建算法来降低BH正在研究当中^[16]。

3. 患者检查风险

CTP负荷药物中腺苷最为常用^[17,40],然而其不良反应发生率较高(80%~90%),多为面色潮红、呼吸急促、胸闷头晕等轻度不良反应^[41],严重不良反应很少见(<1%),包括严重心绞痛伴ST段明显压低、急性支气管发作、严重窦房传导阻滞、急性心肌梗死等。目前虽没有死亡病例报告,但仍存在药物负荷风险。此外,也有可能存在对比剂过敏的风险等。

4. 展望

随着对CTP研究的深入,其成像方法更成熟、可靠、安全;特别是近年来MSCT球管的改良及扫描速度的增快,使得扫描条件进一步优化,辐射剂量大大降低;未来需要通过前瞻性随机大样本的研究,进一步统一诊断标准,CTP有望作为一项诊断冠心病的无创技术应用于临床。

综上所述,CT心肌灌注方法学基本建立,能够量化心肌灌注,评价心肌缺血及心肌梗死,且与传统方法相比,具有较高的诊断准确度。但是,目前也存在该技术没有统一扫描方案及图像分析方法,又受到线束硬化伪影的影响,辐射剂量相对较高等诸多问题,其真正在临床的广泛应用尚需要大规模的前瞻性随机研究的支持。

参考文献:

- [1] Rossi A, Papadopoulou SL, Pugliese F, et al. Quantitative computed tomographic coronary angiography; does it predict functionally significant coronary stenoses? [J]. *Circ Cardiovasc Imaging*, 2014, 7(1): 43-51.
- [2] Danad I, Szymonifka J, Schulman-Marcus J, et al. Static and dynamic assessment of myocardial perfusion by computed tomography[J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2016, 17(8): 836-844.
- [3] Spevack DM, Levsky JM. Relationship between noninvasive coronary angiography with multislice computerized tomography and myocardial perfusion imaging[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2007, 50(3): 288-289.
- [4] Pflederer T, Marwan M, Renz A, et al. Noninvasive assessment of coronary in-stent restenosis by dual-source computed tomography[J]. *Am J Cardiol*, 2009, 103(6): 812-817.
- [5] 庞丽芳, 张欢. MRI及MSCT心肌灌注成像的研究进展[J]. *放射学实践*, 2011, 26(1): 97-100.
- [6] Li W, Zhu X, Li J, et al. Comparison of the sensitivity and specificity of 5 image sets of dual-energy computed tomography for detecting first-pass myocardial perfusion defects compared with positron emission tomography[J]. *Medicine (Baltimore)*, 2014, 93(28): 329.
- [7] Lin GA, Dudley RA, Lucas FL, et al. Frequency of stress testing to document ischemia prior to elective percutaneous coronary intervention[J]. *JAMA*, 2008, 300(15): 1765-1773.
- [8] Shaw LJ, Berman DS, Maron DJ, et al. Optimal medical therapy with or without percutaneous coronary intervention to reduce ischemic burden: results from the clinical outcomes utilizing revascularization and aggressive drug evaluation (COURAGE) trial nuclear substudy[J]. *Circulation*, 2008, 117(10): 1283-1291.
- [9] Boden WE, O'Rourke RA, Teo KK, et al. Optimal medical therapy with or without PCI for stable coronary disease[J]. *N Engl J Med*, 2007, 356(15): 1503-1516.
- [10] Hachamovitch R, Hayes SW, Friedman JD, et al. Comparison of the short-term survival benefit associated with revascularization compared with medical therapy in patients with no prior coronary artery disease undergoing stress myocardial perfusion single photon emission computed tomography[J]. *Circulation*, 2003, 107(23): 2900-2907.
- [11] 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.
- [12] Tamarappoo BK, Dey D, Nakazato R, et al. Comparison of the extent and severity of myocardial perfusion defects measured by CT coronary angiography and SPECT myocardial perfusion imaging[J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2010, 3(10): 1010-1019.
- [13] Siontis KC, Gersh BJ, Williamson EE, et al. Diagnostic performance of myocardial CT perfusion imaging with or without coronary CT angiography[J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2016, 9(3): 322-324.
- [14] Ho KT, Ong HY, Tan G, et al. Dynamic CT myocardial perfusion measurements of resting and hyperaemic blood flow in low-risk subjects with 128-slice dual-source CT[J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2015, 16(3): 300-306.
- [15] Ho KT, Chua KC, Klotz E, et al. Stress and rest dynamic myocardial perfusion imaging by evaluation of complete time-attenuation curves with dual-source CT[J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2010, 3(8): 811-820.
- [16] Techasith T, Cury RC. Stress myocardial CT perfusion: an update and future perspective[J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2011, 4(8): 905-916.
- [17] 黄钢. 心脏核医学[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2011: 19-47.
- [18] Bindschadler M, Modgil D, Branch KR, et al. Phys Med Biol. Comparison of blood flow models and acquisitions for quantitative myocardial perfusion estimation from dynamic CT[J]. *Phys Med Biol*, 2014, 59(7): 1533-1556.
- [19] 田月琴, 王金城, 何作祥, 等. 腺苷负荷试验心肌灌注显像诊断冠心病的临床价值[J]. *中华心血管病杂志*, 2005, 33(1): 58-61.
- [20] George RT, Lardo AC, Lima JAC, et al. Added value of CT myocardial perfusion imaging[J]. *Cur Cardiovasc Imag Rep*, 2008, 20(1): 96-104.
- [21] George RT, Arbab-Zadeh A, Miller JM, et al. Computed tomography myocardial perfusion imaging with 320-row detector computed tomography accurately detects myocardial ischemia in patients with obstructive coronary artery disease[J]. *Circ Cardiovasc Imaging*, 2012, 5(3): 333-340.
- [22] 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.
- [23] 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.
- [24] 彭晋, 张龙江, 朱飞鹏, 等. 双源CT心肌灌注碘成像与核素心肌灌注显像诊断急性心肌梗死研究[J]. *中华放射学杂志*, 2011, 45(2): 128-132.
- [25] Bamberg F, Becker A, Schwarz F, et al. Detection of hemo-dynamically significant coronary artery stenosis: incremental diagnostic value of dynamic CT-based myocardial perfusion imaging[J]. *Radiology*, 2011, 260(8): 689-698.
- [26] Miller JM, Rochitte CE, Dewey M, et al. Diagnostic performance of coronary angiography by 64-row CT[J]. *N Engl J Med*, 2008, 359(22): 2324-2336.
- [27] Meijboom WB, Van Mieghem CA, van Pelt N, et al. Comprehensive assessment of coronary artery stenoses: computed tomography coronary angiography versus conventional coronary angiography and correlation with fractional flow reserve in patients with stable angina[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2008, 52(8): 636-643.
- [28] 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.
- [29] Ladeiras-Lopes R, Bettencourt N, Ferreira N, et al. CT myocardial perfusion and coronary CT angiography; influence of

- coronary calcium on a stress-rest protocol[J]. J Cardiovasc Comput Tomogr, 2016, 10(3): 215-220.
- [30] 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.
- [31] Bettencourt N, Chiribiri A, Schuster A, et al. Direct comparison of cardiac magnetic resonance and multidetector computed tomography stress-rest perfusion imaging for detection of coronary artery disease[J]. J Am Coll Cardiol, 2013, 61(10): 1099-1107.
- [32] Wijns W, Kolh P, Danchin N, et al. Guidelines on myocardial revascularization[J]. Eur Heart J, 2010, 31(20): 2501-2555.
- [33] Abidov A, Bax JJ, Hayes SW, et al. Transient ischemic dilation ratio of the left ventricle is a significant predictor of future cardiac events in patients with otherwise normal myocardial perfusion SPECT[J]. J Am Coll Cardiol, 2003, 42(10): 1818-1825.
- [34] Feuchtner 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.
- [35] George RT, Mehra VC, Chen MY, et al. Myocardial CT perfusion imaging and SPECT for the diagnosis of coronary artery disease; a head-to-head comparison from the CORE320 multicenter diagnostic performance study[J]. Radiology, 2015, 274(2): 626.
- [36] Weininger M, Schoepf UJ, Ramachandra A, et al. Adenosine-stress dynamic real-time myocardial perfusion CT and adenosine-stress first-pass dual-energy myocardial perfusion CT for the assessment of acute chest pain; initial results[J]. Eur J Radiol, 2012, 81(12): 3703-3710.
- [37] Kim SM, Cho YK, Choe YH. Adenosine-stress dynamic myocardial perfusion imaging using 128-slice dual-source CT in patients with normal body mass indices; effect of tube voltage, tube current, and iodine concentration on image quality and radiation dose[J]. Int J Cardiovasc Imaging, 2014, 30(2): 95-103.
- [38] Valdiviezo C, Ambrose M, Mehra V, et al. Quantitative and qualitative analysis and interpretation of CT perfusion imaging[J]. J Nucl Cardiol, 2010, 17(6): 1091-1100.
- [39] Techasith T, Cury RC. Stress myocardial CT perfusion; an update and future perspective[J]. JACC Cardiovasc Imaging, 2011, 4(8): 905-916.
- [40] 关志伟. 在冠心病临床研究中核医学显像技术应用进展[N]. 中国医学论坛报, 2008-12-18(3).
- [41] 张瑞生. 药物负荷心肌灌注显像进展[J]. 中国医学影像技术, 2002, 18(11): 1208-1210.

(收稿日期: 2016-05-09 修回日期: 2016-07-15)

中华医学会放射学分会第十届 中国放射青年医师学术论坛

由中华医学会、中华医学会放射学分会、中华医学会放射学分会青年委员会主办, 陕西省医学会和西安交通大学第一附属医院承办的中华医学会放射学分会第十届中国放射青年医师学术论坛拟定于 2017 年 6 月 23 日 ~ 25 日在西安市召开。

本次学术大会着重在以下两方面进行交流与探讨: “医学影像新技术的临床应用”、“医学影像住院医师规范化培训”。会议将邀请国内著名专家作专题讲座, 为广大与会同行搭建一个高水平的学术交流平台。活动还将继续根据青年医师的特点, 在来稿中挑选优秀论文, 进行中、英文优秀论文比赛、博士论坛等专场, 以增加交流的广泛性和鼓励青年医师积极向上的优秀品质。欢迎全国中青年放射医师及研究生踊跃投稿、积极参会。本次论坛为国家级继续教育项目, 授予国家级继续教育 I 类学分。

(中华医学会放射学分会)