

·综述·

SPECT 定量心肌血流及冠状动脉血流储备的研究进展

薛冰冰 李剑明

泰达国际心血管病医院, 天津医科大学心血管病临床学院核医学科 300457

通信作者: 李剑明, Email: ichlijm@163.com

【摘要】 应用 SPECT、单光子显像剂及示踪动力学技术能方便地定量心肌血流量(MBF)及冠状动脉血流储备(CFR)。特别是碲锌镉心脏专用 SPECT 的使用, 能更快速、准确地获得定量结果。MBF、CFR 的获得对冠心病诊断准确性的提高、患者的再分层及进一步预后评估具有重要意义, 并且为冠状动脉微血管疾病的诊断提供客观依据。但是使用 SPECT 定量 MBF 及 CFR 仍存在一些不足之处尚待解决。笔者旨在对 SPECT 定量 MBF 及 CFR 的不同方法、初步应用结果及临床意义作一综述。

【关键词】 单光子发射型计算机断层摄影术; 冠心病; 心肌血流量; 心肌血流储备

基金项目: 天津市滨海新区卫生和计划生育委员会科技项目(2017BWKY025)

DOI: [10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2019.02.011](https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2019.02.011)

Research progress of quantifying myocardial flow and coronary flow reserve with SPECT

Xue Bingbing, Li Jianming

Department of Nuclear Medicine, TEDA International Cardiovascular Hospital, Clinical Cardiovascular College, Tianjin Medical University, Tianjin 300457, China

Corresponding author: Li Jianming, Email: ichlijm@163.com

【Abstract】 Quantitative measurement of myocardial blood flow (MBF) and coronary flow reserve (CFR) can be derived from myocardial perfusion imaging by using SPECT, single-photon tracers, and tracer kinetic techniques. The use of cadmium zinc telluride cadmium heart dedicated SPECT (CZT SPECT) enables faster and more accurate quantitative results. The determination of MBF and CFR is of great significance for improving the accuracy of coronary heart disease (CAD) diagnosis, re-stratification of CAD patients, and further prognosis evaluation. It can also provide an objective way for diagnosing coronary microvascular disease. However, some deficiencies need to be addressed. This article reviewed the different methods, preliminary results, and clinical significance of quantifying MBF and CFR with SPECT.

【Key words】 Single photon emission computed tomography; Coronary disease; Myocardial blood flow; Coronary flow reserve

Fund program: Science and Technology Fund of Tianjin Binhai New Area Health and Family Planning Commission (2017BWKY025)

DOI: [10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2019.02.011](https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2019.02.011)

冠状动脉血流储备 (coronary flow reserve, CFR) 是反映冠状动脉 (以下简称冠脉) 潜在最大供血能力的指标, 它是最大充血与静息状态下心肌血流量 (myocardial blood flow, MBF) 的比值。PET 为国际公认的无创性定量 MBF 及 CFR 的“金标准”^[1], 对冠心病 (coronary artery diseases, CAD) 的

早期诊断和准确评估均具有重要意义。但由于 PET 检查价格昂贵、医院配置率低^[2] 和需要配备加速器或正电子核素发生器等原因, 其广泛应用于临床受到一定制约。相比较而言, SPECT 安装普遍, 所应用的显像剂价格相对便宜且易随时获得, 应用 SPECT 测定 MBF 和 CFR 更具现实意义、高

性价比和推广价值。本文旨在对 SPECT 测定 MBF 和 CFR 的不同方法、初步应用结果及临床意义作一综述。

1 SPECT 定量 MBF 及 CFR 的方法

1.1 基本原理

心肌对 SPECT 心肌血流灌注显像剂的摄取量与局部 MBF 呈正相关, 显像剂进入体内后遵循一定的血流动力学原理, 在细胞、生理腔室、器官或整个机体层面上逐步被运输、交换、代谢及排泄, 通过体外 SPECT 设备连续记录其在体内随时间的变化的总过程, 之后选择合适的动力学模型(腔室模型或微球模型), 依据获得的动力学参数(动脉输入函数等)计算获得 MBF, 进而得出 CFR。查阅以往文献, 笔者总结主要有以下两种定量方法。

1.2 动态平面采集与静态 SPECT 采集结合法

多项研究使用此方法对 SPECT 定量 MBF 及 CFR 进行了分析^[3-8]。此法基于“微球”模型, 在负荷或静息状态下经静脉“弹丸”式注射显像剂后即刻行动态平面显像, 并对动脉血流进行首过分析(first-pass analysis), 通过勾画 ROI(心脏大血管结构、左心室和主肺动脉等)分析获得区域时间放射性曲线(time activity curve, TAC)作为动脉输入函数, 局部心肌放射性计数由静态 SPECT 心肌灌注显像(myocardial perfusion imaging, MPI)结果获得, 根据测得的局部心肌计数及动脉输入函数代入相应数学公式获得 MBF 及 CFR^[3]。此法的假设条

件是心肌对显像剂的摄取量取决于首次通过, 且显像剂被摄取后滞留于心肌组织无再循环^[9]。虽然⁹⁹Tc^m 标记的显像剂 [⁹⁹Tc^m-MIBI、⁹⁹Tc^m-替曲磷(⁹⁹Tc^m-tetrofosmin)等] 的示踪动力学与微球模型并不完全相符, 而且由于所用显像剂的首过心肌摄取分数较低, 尤其在负荷状态冠脉血流量较高的情况下首过心肌摄取分数并非呈线性增加, 因此, SPECT-CFR 会显著低于 PET 及介入多普勒导丝测量结果, 部分相关研究结果^[3-7, 9-10] 见表 1。

1.3 动态 SPECT 采集法

负荷及静息状态下经静脉“弹丸”式注射显像剂后即刻行动态断层数据(dynamic SPECT)采集, 获得心室腔及局部心肌节段的 TAC, 并根据合适的房室模型计算出 MBF 及 CFR^[11-12]。

使用传统 SPECT 进行动态断层采集, 理论上需要探头的快速旋转以获取示踪剂在体内的快速变化信息, 但从设备固有的构造、旋转速度及患者安全的角度考虑, 具体实现有一定难度, 并且降低了采集图像的空间、时间分辨率, 使得使用传统 SPECT 这种方式难以获得足够的计数以精准定量血流量^[13]。

近年来上市的配备新型的碲锌镉(cadmium zinc telluride, CZT)固态半导体探测器的心脏专用 SPECT(CZT SPECT)能量分辨率为传统 SPECT 的 1.65 倍, 光子灵敏度是传统 SPECT 的 3~5 倍, 空间分辨率为传统 SPECT 的 1.7~2.5 倍^[14], 极大地缩短了成像时间及降低了显像剂的使用剂量^[15-16],

表 1 使用动态平面采集与静态 SPECT 采集结合法测定 CFR 的部分研究结果

Table 1 Partial results of the coronary flow reserve determination using dynamic planar acquisition combined with static SPECT acquisition

研究者	显像剂	结果
Sugihara等 ^[3]	⁹⁹ Tc ^m -替曲磷	健康人CFR为1.47, 梗死及缺血区为1.08、1.11, 均较PET测量结果低
Taki等 ^[4]	⁹⁹ Tc ^m -MIBI	以多普勒导丝测量 CFR 结果为参照, CFR<2.5 时, 心肌内显像剂滞留量与血流量呈正相关; CFR>2.5 时, 滞留量并不随血流量的增加而增加达到“平台期”。证明此法在高血流量时会低估 CFR
Ito等 ^[5]	⁹⁹ Tc ^m -MIBI	健康人、CAD患者的CFR分别为2.13、1.48, 而PET-CFR分别为3.76、1.97; 两组数据呈显著相关性
Storto等 ^[6]	⁹⁹ Tc ^m -MIBI	CAD 患者的 CFR 均数为 1.36, 多普勒导丝测量结果为 1.39, 呈显著相关性; 较健康人 CFR(2.19)显著降低
Pellegrino等 ^[7]	⁹⁹ Tc ^m -MIBI	患者CFR较健康人显著降低, 并且发现CFR降低与内皮功能障碍程度相关
Apostolopoulos等 ^[9]	⁹⁹ Tc ^m -替曲磷	通过 CT 设备对采集数据进行散射及衰减校正, 及对显像剂的“脱洗”(washout)量进行校正, 测得的健康人及 CAD 患者 CFR 与负荷状态下 MBF 分别为 1.68、1.72 及 1.39、1.42, 该研究并未与 PET 结果直接对比
Nose等 ^[10]	⁹⁹ Tc ^m -MIBI	所测CFR虽与PET-CFR显著相关, 但该法在高血流量时低估CFR

注: 表中, CFR: 冠状动脉血流储备; CAD: 冠心病; PET: 正电子发射断层显像术; MBF: 心肌血流量; SPECT: 单光子发射体层摄影术; MIBI: 甲氧基异丁基异腈。

以及明显提高了成像的时间分辨率,使得快速动态断层采集成为现实。目前市面上该类设备有两个生产厂家:美国GE公司(Discovery NM530c/570c)及以色列Spectrum Dynamics Medical公司(D-SPECT),这两种设备的几何构型均采用半环形结构,且成像时所有探测器全部聚焦于心脏且在成像过程中均保持探头静止,使用该型设备可精确定量CFR及MBF。CZT SPECT可使用列表模式(list mode)^[17]对心肌进行动态断层数据采集,精确记录显像剂进入血液及被血液输送,被器官和组织吸收,然后被细胞或细胞表面吸收,或者释放回血液的动态过程,该模式下的重建图像具有更高的对比度^[18]。多项研究对该类型设备绝对定量MBF及CFR的可行性进行分析,并将定量结果直接与使用¹³N-氨水和¹⁵O-水的PET定量结果进行了对比^[19-22],相关研究结果见表2。

Ben-Haim等^[13]使用D-SPECT进行了定量整体及局部CFR的可行性研究,使用因子分析获得时间活性曲线并作为二室模型的血流动力学函数,分别计算负荷及静息时的 K_1 (显像剂的摄取)值,并将 K_2 (显像剂脱洗)值设置为0。CFR为负荷与静息时的 K_1 值之比;对静态MPI图像进行半定量评价,总灌注缺损(total perfusion defect, TPD)大于5%定义为异常,结果发现灌注异常及经冠脉造影证实冠脉显著狭窄区域的CFR显著较正常区域低;同时作者认为由于MBF与心肌对显像剂的摄取直接呈非线性相关关系,该方法在高血流量时有低估CFR的可能。Nkoulou等^[19]使用NM 570c SPECT/CT(SPECT部分同NM530c)对MBF及CFR进行绝对定量研究并将结果与PET所测得的结果(显像剂为¹³N-氨水)进行对比,负荷/静息采用列表模式采集,对左右心腔及左室壁勾画ROI,获

取相应区域时间活性曲线作为一室模型的输入函数,结果表明静息MBF与PET测量结果无明显差异,但是由于负荷的MBF显著低于PET测量值,导致所测CFR较PET所测显著低;将PET-CFR作为标准,SPECT-CFR截断值设定为1.26时,PET-CFR分别为2、>2及<2时,SPECT-CFR的灵敏度分别为78%、70%及75%。Agostini等^[20]将CZT SPECT定量结果与PET(显像剂为¹⁵O-H₂O)及多普勒导丝测得血流储备分数进行对比,其使用净滞留动力学模型评估整体心肌摄取值,并对显像剂摄取分数进行校正,得出MBF,结果静息及负荷时整体及左冠脉前降支、回旋支支配区MBF显著高于PET测量值(校正摄取分数所致),但是CFR差异并无统计学意义,探测血流储备分数<0.8的病变区域,CZT设备的灵敏度、特异度、准确率、阳性预测值及阴性预测值分别为58.3%、84.6%、81.1%、36.8%及93%。为了缩短检查时间、充分发挥CZT设备的性能优势,Fang等^[23]设计了一个单次采集共计24 min定量负荷MBF的方案:静息状态下注射显像剂1 h后,采用列表模式连续动态采集,先采集5 min,后药物负荷高峰注射显像剂(注射总时间4 min),延迟5 min后行10 min动态采集,第二次采集数据获取负荷TAC及输入函数时均减去静息残余活性数据,结果测得的负荷MBF与磁共振MBF呈强相关,与磁共振CFR呈中等相关,以磁共振结果作为参照(CFR<1.3),该法探测冠脉狭窄的灵敏度、特异度和准确率为94%、90%和93%。考虑到运动负荷试验更具有生理学意义,可以评估心功能、运动诱发性心律失常和心率恢复等信息,Daquarti等^[22]使用D-SPECT测定CFR,负荷由运动试验诱导,结果无CAD危险因素的患者CFR中位数为2.38,静息及负荷

表2 CZT SPECT使用动态SPECT采集法测定CFR的部分研究结果

Table 2 Partial results of the coronary flow reserve determination using dynamic SPECT acquisition with cadmium zinc telluride SPECT

研究者	显像剂	结果
Nkoulou等 ^[19]	⁹⁹ Tc ^m -替曲磷	CFR中位数为1.32, PET为2.36, 以PET为参照, 截断值为1.26时, 其探测异常的灵敏度为75%
Agostini等 ^[20]	⁹⁹ Tc ^m - MIBI	与PET所测CFR并无明显差异, 但是整体及左前降支、左旋支支配区静息及负荷MBF均较PET测量值高
Miyagawa等 ^[21]	⁹⁹ Tc ^m - MIBI	冠脉1、2、3支病变组的整体CFR中位数分别为1.46、1.33、1.18, 并且与多普勒导丝血流储备分数呈显著相关性
Daquarti等 ^[22]	⁹⁹ Tc ^m - MIBI	该研究负荷由运动诱导, 无冠心病危险因素患者的CFR中位数为2.38

注:表中,CZT: 碲锌镉; CFR: 冠状动脉血流储备; PET: 正电子发射断层显像术; MBF: 心肌血流量; SPECT: 单光子发射体层摄影术; MIBI: 甲氧基异丁基异腓。

MBF 中位数分别为 1.26、3.59, 1 例有糖尿病及抽烟史的患者 CFR 为 1.37, 不过该研究仅有 10 例患者。

2 定量 MBF 及 CFR 的临床意义

2.1 提高 CAD 的诊断准确率

SPECT-MPI 作为一种无创的影像学检查技术, 已被广泛地应用于 CAD 的诊断、危险分层、预后评估和疗效评价等方面^[13]。目前广泛使用的对 MPI 图像的视觉及半定量分析^[24]主要是通过显示心肌相对灌注差异识别病变, 而这造成了其固有的缺陷而低估病变程度及范围^[25-26]: 如对冠脉左主干及三支均衡性病变所致的供血区域血流均衡性减低而导致对病变的漏诊, 或者对于多支非均衡型病变仅能显示灌注减低最明显处的一支和(或)双支灌注区域而低估其他支病变的严重程度, 导致传统目测判断或半定量分析 MPI 仅有 1/3 多支病变能被检测到。定量 MBF 和 CFR 的测定有望克服上述缺陷, 提升对多支病变的检出率^[25, 27]。文献结果表明, 与负荷总评分相比, CFR 是最强的三支病变预测因子之一^[26]; 有研究数据显示通过定量 MBF, 可将传统 MPI 探测三支病变的准确率由 46% 提升至 93%^[28]。

2.2 对 CAD 患者再分层及评估预后

目前主要通过评价左室功能、冠脉狭窄、心肌缺血程度及范围对 CAD 患者进行危险分层, 但是这些指标并不能完全(特别是在高危亚组)预测心脏恶性事件。Murthy 等^[29]的研究表明, CFR<1.5 时, 心脏死亡事件发生的概率增加了 5.6 倍, 并且通过测定 CFR 使得 15%、48% 及 12% 的低、中、高危患者再分层, 可以更精确评估患者预后风险, 降低的 CFR 能鉴别出灌注及射血分数正常人群中的高危患者。

2.3 为冠脉微血管疾病 (coronary microvascular diseases, CMVD) 的诊断提供客观依据

CMVD 近些年逐渐受到临床重视, 它也是 CAD 患者重要的独立的预后因子, 但如何能无创、早期诊断该病一直受到挑战。虽然 PET 和 MRI 在该病诊断和评价方面有一定进展, 但是从全世界范围来看, SPECT-MPI 开展更为广泛, 每年约进行 1500 万~2000 万例次的检查。CFR 测定为 CMVD 的诊断提供了思路, CFR 是由冠脉心外膜大血管和心肌内微血管共同决定的, 但是在排除冠脉大血管梗阻性狭窄后, CFR 的减低基本是

由 CMVD 造成, 这也是 CFR 测定诊断 CMVD 的基础^[30-31]。SPECT-CFR 测定为其广泛推广使用奠定了基础。

3 小结

综上所述, 通过 SPECT、单光子示踪剂和示踪动力学技术来定量 MBF 及 CFR 是可行的, 并且所测得的 CFR 与 PET 及冠脉内多普勒结果之间有相对较好的一致性。但应注意这种方法在心肌高血流量情况下会低估负荷 MBF 而导致低估 CFR。CZT SPECT 能够实现快速动态断层 MPI, 极大提高了时间及空间分辨率, 可以更精确获得显像剂在体内动态分布的信息, 用这些图像信息所勾画的左心室时间活性曲线(输入函数)和心肌组织在负荷及静息时的心肌计数(输出功能)更能准确快速定量 MBF 及 CFR。通过定量 MBF 及 CFR 能提高诊断 CAD 的准确率、对 CAD 患者危险程度再分层及进一步预后评估, 并为 CMVD 的诊断提供客观依据。但是使用 SPECT 定量 MBF 和 CFR 还有一些问题需要进一步研究和解决, 如合适的显像剂的血流动力学模型构建和校正、衰减及散射校正、部分容积效应的去除和补偿, 这些尚需进一步完善^[32], 并且目前尚无直接针对其定量结果的可重复性及预后价值的研究见诸发表, 结果的正常范围尚未被确定。

利益冲突 本研究由署名作者按以下贡献声明独立开展, 不涉及任何利益冲突。

作者贡献声明 薛冰冰负责论文的撰写; 李剑明负责命题的提出、论文的审阅。

参 考 文 献

- [1] Ziadi MC. Myocardial flow reserve (MFR) with positron emission tomography (PET)/computed tomography (CT): clinical impact in diagnosis and prognosis[J]. *Cardiovasc Diagn Ther*, 2017, 7(2): 206-218. DOI: 10.21037/cdt.2017.04.10.
- [2] 中华医学会核医学分会. 2018 年全国核医学现状普查结果简报[J]. *中华核医学与分子影像杂志*, 2018, 38(12): 813-814. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2018.12.010. Chinese Society of Nuclear Medicine. A brief report on the results of the national survey of nuclear medicine in 2018[J]. *Chin J Nucl Med Mol Imaging*, 2018, 38(12): 813-814. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2018.12.010.
- [3] Sugihara H, Yonekura Y, Kataoka K, et al. Estimation of coronary flow reserve with the use of dynamic planar and SPECT images of Tc-99m tetrofosmin[J]. *J Nucl Cardiol*, 2001,

- 8(5): 575–579. DOI: [10.1007/mnc.2001.115934](https://doi.org/10.1007/mnc.2001.115934).
- [4] Taki J, Fujino S, Nakajima K, et al. ^{99m}Tc-sestamibi retention characteristics during pharmacologic hyperemia in human myocardium: comparison with coronary flow reserve measured by Doppler flowwire[J]. *J Nucl Med*, 2001, 42(10): 1457–1463.
- [5] Ito Y, Katoh C, Noriyasu K, et al. Estimation of myocardial blood flow and myocardial flow reserve by ^{99m}Tc-sestamibi imaging: comparison with the results of [¹⁵O]H₂O PET[J]. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2003, 30(2): 281–287. DOI: [10.1007/s00259-002-1031-y](https://doi.org/10.1007/s00259-002-1031-y).
- [6] Storto G, Cirillo P, Vicario ML, et al. Estimation of coronary flow reserve by Tc-99m sestamibi imaging in patients with coronary artery disease: comparison with the results of intracoronary Doppler technique[J]. *J Nucl Cardiol*, 2004, 11(6): 682–688. DOI: [10.1016/j.nuclcard.2004.08.007](https://doi.org/10.1016/j.nuclcard.2004.08.007).
- [7] Pellegrino T, Storto G, Filardi PP, et al. Relationship between brachial artery flow-mediated dilation and coronary flow reserve in patients with peripheral artery disease[J]. *J Nucl Med*, 2005, 46(12): 1997–2002.
- [8] Daniele S, Nappi C, Acampa W, et al. Incremental prognostic value of coronary flow reserve assessed with single-photon emission computed tomography[J]. *J Nucl Cardiol*, 2011, 18(4): 612–619. DOI: [10.1007/s12350-011-9345-4](https://doi.org/10.1007/s12350-011-9345-4).
- [9] Apostolopoulos DJ, Kaspiri A, Spyridonidis T, et al. Assessment of absolute Tc-99m tetrofosmin retention in the myocardium as an index of myocardial blood flow and coronary flow reserve by gated-SPECT/CT: a feasibility study[J]. *Ann Nucl Med*, 2015, 29(7): 588–602. DOI: [10.1007/s12149-015-0982-6](https://doi.org/10.1007/s12149-015-0982-6).
- [10] Nose N, Fukushima K, Lapa C, et al. Assessment of coronary flow reserve using a combination of planar first-pass angiography and myocardial SPECT: Comparison with myocardial ¹⁵O-water PET[J]. *Int J Cardiol*, 2016, 222: 209–212. DOI: [10.1016/j.ijcard.2016.07.183](https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2016.07.183).
- [11] Iida H, Eberl S, Kim KM, et al. Absolute quantitation of myocardial blood flow with ²⁰¹Tl and dynamic SPECT in canine: optimisation and validation of kinetic modelling[J]. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2008, 35(5): 896–905. DOI: [10.1007/s00259-007-0654-4](https://doi.org/10.1007/s00259-007-0654-4).
- [12] Shrestha U, Sciammarella M, Alhassen F, et al. Measurement of absolute myocardial blood flow in humans using dynamic cardiac SPECT and ^{99m}Tc-tetrofosmin: Method and validation [J]. *J Nucl Cardiol*, 2017, 24(1): 268–277. DOI: [10.1007/s12350-015-0320-3](https://doi.org/10.1007/s12350-015-0320-3).
- [13] Ben-Haim S, Murthy VL, Breault C, et al. Quantification of Myocardial Perfusion Reserve Using Dynamic SPECT Imaging in Humans: A Feasibility Study[J]. *J Nucl Med*, 2013, 54(6): 873–879. DOI: [10.2967/jnumed.112.109652](https://doi.org/10.2967/jnumed.112.109652).
- [14] Sharir T, Slomka PJ, Berman DS. Solid-state SPECT technology: fast and furious[J]. *J Nucl Cardiol*, 2010, 17(5): 890–896. DOI: [10.1007/s12350-010-9284-5](https://doi.org/10.1007/s12350-010-9284-5).
- [15] Esteves FP, Galt JR, Folks RD, et al. Diagnostic performance of low-dose rest/stress Tc-99m tetrofosmin myocardial perfusion SPECT using the 530c CZT camera: quantitative vs visual analysis[J]. *J Nucl Cardiol*, 2014, 21(1): 158–165. DOI: [10.1007/s12350-013-9827-7](https://doi.org/10.1007/s12350-013-9827-7).
- [16] Sharir T, Pinskiy M, Pardes A, et al. Comparison of the diagnostic accuracies of very low stress-dose with standard-dose myocardial perfusion imaging: Automated quantification of one-day, stress-first SPECT using a CZT camera[J]. *J Nucl Cardiol*, 2016, 23(1): 11–20. DOI: [10.1007/s12350-015-0130-7](https://doi.org/10.1007/s12350-015-0130-7).
- [17] Gullberg GT, Reutter BW, Sitek A, et al. Dynamic single photon emission computed tomography—basic principles and cardiac applications[J]. *Phys Med Biol*, 2010, 55(20): R111–191. DOI: [10.1088/0031-9155/55/20/R01](https://doi.org/10.1088/0031-9155/55/20/R01).
- [18] Winant CD, Aparici CM, Zelnik YR, et al. Investigation of dynamic SPECT measurements of the arterial input function in human subjects using simulation, phantom and human studies[J]. *Phys Med Biol*, 2012, 57(2): 375–393. DOI: [10.1088/0031-9155/57/2/375](https://doi.org/10.1088/0031-9155/57/2/375).
- [19] Nkoulou R, Fuchs TA, Pazhenkottil AP, et al. Absolute Myocardial Blood Flow and Flow Reserve Assessed by Gated SPECT with Cadmium-Zinc-Telluride Detectors Using ^{99m}Tc-Tetrofosmin: Head-to-Head Comparison with ¹³N-Ammonia PET[J]. *J Nucl Med*, 2016, 57(12): 1887–1892. DOI: [10.2967/jnumed.115.165498](https://doi.org/10.2967/jnumed.115.165498).
- [20] Agostini D, Roule V, Nganoa C, et al. First validation of myocardial flow reserve assessed by dynamic ^{99m}Tc-sestamibi CZT-SPECT camera: head to head comparison with ¹⁵O-water PET and fractional flow reserve in patients with suspected coronary artery disease. The WATERDAY study[J]. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2018, 45(7): 1079–1090. DOI: [10.1007/s00259-018-3958-7](https://doi.org/10.1007/s00259-018-3958-7).
- [21] Miyagawa M, Nishiyama Y, Uetani T, et al. Estimation of myocardial flow reserve utilizing an ultrafast cardiac SPECT: Comparison with coronary angiography, fractional flow reserve, and the SYNTAX score[J]. *Int J Cardiol*, 2017, 244: 347–353. DOI: [10.1016/j.ijcard.2017.06.012](https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2017.06.012).
- [22] Daquarti G, Meretta AH, Rosa D, et al. ASSESSMENT OF EXERCISE CORONARY FLOW RESERVE WITH CADMIUM ZINC TELLURIDE GAMMA CAMERA[J/OL]. *J Am Coll Cardiol*, 2018, 71(11): A1503[2018-06-22]. https://www.researchgate.net/publication/236908429_Gender_differences_in_the_evaluation_of_coronary_artery_disease_with_a_cadmium_m-zinc_telluride_camera. DOI:10.1016/S0735-1097(18)32044-8.
- [23] Fang YD, Liu YC, Ho KC, et al. Single-scan rest/stress imaging with ^{99m}Tc-Sestamibi and cadmium zinc telluride-based SPECT for hyperemic flow quantification: A feasibility study evaluated with cardiac magnetic resonance imaging[J/OL]. *PLoS One*, 2017, 12(8): e0183402[2018-06-22]. <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0183402>. DOI: 10.1371/journal.pone.0183402.
- [24] Petretta M, Cuocolo R, Acampa W, et al. Quantification of Myocardial Perfusion: SPECT[J/OL]. *Curr Cardiovasc Imaging Rep*, 2012, 5(3): 144-150[2018-06-22]. <https://link.springer.com/>

- article/10.1007/s12410-012-9131-y. DOI: 10.1007/s12410-012-9131-y.
- [25] Ben BF, Roubille F, Lattuca B, et al. SPECT Myocardial Perfusion Reserve in Patients with Multivessel Coronary Disease: Correlation with Angiographic Findings and Invasive Fractional Flow Reserve Measurements[J]. *J Nucl Med*, 2015, 56(11): 1712-1717. DOI: 10.2967/jnumed.114.143164.
- [26] Ziadi MC, Dekemp RA, Williams K, et al. Does quantification of myocardial flow reserve using rubidium-82 positron emission tomography facilitate detection of multivessel coronary artery disease?[J]. *J Nucl Cardiol*, 2012, 19(4): 670-680. DOI: 10.1007/s12350-011-9506-5.
- [27] Leccisotti L, Lavalle M, Giordano A. Clinical relevance of PET myocardial blood flow quantification[J]. *Q J Nucl Med Mol Imaging*, 2016, 60(4): 338-353.
- [28] Parkash R, deKemp RA, Ruddy TD, et al. Potential utility of rubidium 82 PET quantification in patients with 3-vessel coronary artery disease[J]. *J Nucl Cardiol*, 2004, 11(4): 440-449. DOI: 10.1016/j.nuclcard.2004.04.005.
- [29] Murthy VL, Naya M, Foster CR, et al. Improved cardiac risk assessment with noninvasive measures of coronary flow reserve[J]. *Circulation*, 2011, 124(20): 2215-2224. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.111.050427.
- [30] Djaïleb L, Riou L, Piliero N, et al. SPECT myocardial ischemia in the absence of obstructive CAD: Contribution of the invasive assessment of microvascular dysfunction[J]. *J Nucl Cardiol*, 2018, 25(3): 1017-1022. DOI: 10.1007/s12350-017-1135-1.
- [31] Feher A, Sinusas AJ. Quantitative Assessment of Coronary Microvascular Function: Dynamic Single-Photon Emission Computed Tomography, Positron Emission Tomography, Ultrasound, Computed Tomography, and Magnetic Resonance Imaging[J/OL]. *Circ Cardiovasc Imaging*, 2017, 10(8): pii: e006427[2018-06-22]. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28794138>. DOI: 10.1161/CIRCIMAGING.117.006427.
- [32] Petretta M, Storto G, Pellegrino T, et al. Quantitative Assessment of Myocardial Blood Flow with SPECT[J]. *Prog Cardiovasc Dis*, 2015, 57(6): 607-614. DOI: 10.1016/j.pcad.2014.12.007.

(收稿日期: 2018-06-23)

· 读者 · 作者 · 编者 ·

关于 2019 年中华医学会系列杂志编排规范修订的通知

根据国家有关法规和中华医学会系列杂志未来数字化、自动化出版的要求,结合本刊实际情况,从 2019 年第 1 期起编排规范修订如下。

1. 整体版式: 将作者信息(包括作者、作者单位、通信作者、作者单位变更、同等贡献等)置于文题之下。

2. 中文作者: 要求在作者名后用上角码编号,同时作者单位前均冠上编号,作者与作者单位通过编号对应。

3. 中文作者单位: 中文作者单位需著录全称,如作者为同一机构的不同科室,要全部著录,不做缩略处理。作者单位名称不能体现单位所在地者,在邮政编码前给出单位所在地。

4. 英文作者和作者单位: 修改同中文,均不做删减。英文作者单位必须补全,且与作者一一对应。英文作者不使用缩略名(如 Song NL),而采用全称。

5. 英文摘要: 英文摘要要表述的项目原则上与中文摘要一致。包括: 主标题、副标题、作者、作者单位、摘要/提要、关键词、基金项目、通信作者、DOI 编号、作者同等贡献说明、作者工作地址变更说明。为方便英文读者,结果项内容可适当扩充。为避免提取数据丢失信息,建议英文摘要中不要出现需造字的特殊字符,比如牙位,建议用文字描述;(均值±标准差)建议用(Mean ± SD),不再使用($\bar{x} \pm s$)。

6. 图、表的双语问题: 要求先出现中文,后出现英文。包括: 图题、表题、图说明、表注。

7. 指南共识类文献: 包括专家组名单、执笔、学术秘书等内容属于正文部分,直接排在正文后,参考文献前。

8. 利益冲突声明: 利益冲突信息应为稿件的一部分,有或无利益冲突均需在文章中报告。要求在文后、参考文献前注明利益冲突。