

## 在稳定性冠心病中合理使用心肌灌注显像的成本效益分析

杨丽红<sup>1</sup> 曾艳<sup>2</sup> 李思进<sup>1</sup>

<sup>1</sup>山西医科大学第一医院核医学科,太原 030001;<sup>2</sup>国投健康产业投资有限公司,北京 100032

通信作者:李思进, Email: lisjnm123@163.com

**【摘要】** 我国心血管疾病死亡率较其他国家高,而在心血管疾病死亡原因中冠状动脉粥样硬化性心脏病(CAD)占首位。CAD 治疗费用也高。费用的增加一方面与 CAD 发病率有关,另一方面也可能与不合理的诊疗方案有关。随着许多国家医疗保健成本的不断上升,诊断和治疗手段的成本效益问题变得越发重要。很多研究表明,大多数无创性检查比冠状动脉造影(CAG)具有更好的成本效益。该文主要综述心肌灌注显像(MPI)与 CAG 相比用于稳定性 CAD 的成本效益研究,并且比较了 MPI 与其他无创性检查的成本效益。

**【关键词】** 冠心病;心肌灌注显像;费用效益分析;发展趋势

**基金项目:**国家自然科学基金(U22A6008)

DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20230327-00084

### Cost-effectiveness of the rational use of myocardial perfusion imaging in stable coronary artery disease

Yang Lihong<sup>1</sup>, Zeng Yan<sup>2</sup>, Li Sijin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Nuclear Medicine, First Hospital of Shanxi Medical University, Taiyuan 030001, China;

<sup>2</sup>SDIC Health Industry Investment Co., Ltd., Beijing 100032, China

Corresponding author: Li Sijin, Email: lisjnm123@163.com

**【Abstract】** China has the highest mortality rate from cardiovascular disease in the world and coronary artery disease (CAD) is the leading cause of death from cardiovascular disease. The cost of treatment for CAD is high, which is related to the incidence of CAD and possible irrational treatment protocols. However, with the escalating costs of healthcare in most countries, the cost-effectiveness of diagnostic and management testing is increasingly important. Many studies have shown that most non-invasive tests are more cost-effective than coronary angiography (CAG). This article reviews the cost-effectiveness of MPI compared with CAG and other non-invasive tests.

**【Key words】** Coronary disease; Myocardial perfusion imaging; Cost-benefit analysis; Trends

**Fund program:** National Natural Science Foundation of China (U22A6008)

DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20230327-00084

WHO 估计,至少在 2030 年之前,冠状动脉粥样硬化性心脏病(简称冠心病;coronary artery disease, CAD)将一直是全世界的主要死亡原因<sup>[1]</sup>。我国是世界心血管疾病死亡人数最多的国家,据推算目前患病人数达 3.30 亿,其中 CAD 1 139 万<sup>[2]</sup>。稳定性 CAD (stable CAD, SCAD) 是临床常见的 CAD 类型之一。有数据显示,SCAD 发病率为心肌梗死的 2 倍<sup>[3]</sup>,若不能及时诊断,SCAD 有可能发展为不良心脑血管事件。因此,SCAD 的早期诊断、危险分层、早期干预,对改善患者生活质量及预后具有重要价值。

目前诊断 CAD 的无创性检查包括负荷心电图、负荷超声心动图、心肌灌注显像(myocardial perfusion imaging, MPI)、冠状动脉 CT 血管成像(coronary CT angiography, CCTA)、心脏 MRI(cardiac MRI, CMR)等。其中,MPI 是应用广泛、循证医学证据最充分的诊断、评估 SCAD 的手段<sup>[4-5]</sup>,是检测心肌缺血的“金标准”。有创性检查中冠状动脉造影(coronary angiography, CAG)是诊断 CAD 的“金标准”。CAD 的治疗策略主要包括优化药物治疗和血运重建。采用不同

的检查和治疗方案,患者受益程度不同,所需花费也不同。2018 年,我国心脑血管疾病治疗总费用居各类疾病费用首位,其中 CAD 治疗费用高达 1 549.19 亿元(25.92%)<sup>[6]</sup>。随着许多国家医疗保健成本的不断上升,诊断和治疗手段的成本效益问题变得越来越重要。评估不同方案产生的临床结果及其成本的方法即成本效益分析(cost-effectiveness analysis)。本文就 MPI 和 CAG 用于 SCAD 患者成本效益的研究进行介绍,并且简单比较了 MPI 与其他无创性检查的成本效益。

#### 一、MPI 与 CAG 的成本效益比较

CAG 能直观显示冠状动脉解剖状况。对于可疑 CAD 患者,CAG 提供的冠状动脉狭窄的直接证据可明确 CAD 诊断。但是,CAG 只能显示血管解剖结构,不能显示血流动力学变化以及心肌细胞活性,且其为有创性检查,在检查过程中可能出现对比剂造成的肾功能衰竭、主动脉夹层等并发症,严重者甚至危及患者生命。对于 SCAD 患者,若 CAG 发现冠状动脉狭窄 $\geq 90\%$ ,可直接行经皮冠状动脉介入术(percutaneous coronary intervention, PCI)<sup>[7]</sup>。PCI 是急性心肌梗死的有

效治疗手段,但是接受 PCI 治疗的患者也面临着围手术期并发症和长期出血及支架血栓形成等风险。2013 年至 2017 年,美国心血管疾病住院死亡率呈上升趋势,在这期间 PCI 的数量增加 15.8%,主要是非选择性(未经无创性检查筛选)PCI 的数量增加了,这可能是住院死亡率增加的原因之一<sup>[8]</sup>。我国每年行 PCI 治疗的人数约 100 万例,CAG 达 500 万人次<sup>[9]</sup>。推测其中约有 400 万 CAG 结果为阴性或狭窄程度未达到 PCI 指征,有相当一部分冠状动脉支架植入不恰当。我国 1 项多中心研究发现,在 3 452 例行 PCI 治疗的患者中,20.9% 指征选择不适宜<sup>[10]</sup>,此类人群可以选择先行无创检查评估心肌缺血情况,从而避免过度的 CAG 检查和 PCI 治疗。患者不但不能从不恰当的 CAG 检查和 PCI 治疗中获益,反而可能受到更多伤害。Hung 等<sup>[11]</sup>的研究结果显示,对于可疑 CAD 或 SCAD 患者,与初始行 MPI 的队列相比,直接行 CAG 的队列的支架植入率增加 4 倍,心肌梗死发生率增加 4 倍,死亡人数增加 2 倍。因此,初始使用 MPI 可以增加患者获益。

此外,1 项在疑似或已知 SCAD 的患者中进行的研究表明,与单纯药物治疗相比,PCI 在缓解症状、降低心肌梗死率、全因死亡率等方面没有明显差异<sup>[12]</sup>。在稳定性胸痛、疑似 SCAD 的患者中直接行 PCI 治疗并不是最佳的选择。如何进行合理的个体化治疗成为国内外关注的焦点。几项荟萃分析均表明,PCI 和临床药物治疗对 SCAD 患者在预防主要心血管事件发生方面无明显差异<sup>[13-15]</sup>。研究人员对 SCAD 和轻度或中度心肌缺血的患者随访约 3 年,结果显示:与保守策略(优化药物治疗,或药物治疗无效后 PCI 治疗)相比,侵入性策略(冠状动脉旁路移植或 PCI 联合药物)并没有降低心血管事件或死亡的发生率<sup>[16]</sup>。对于中低风险 CAD 患者,MPI 可用于诊断并对 CAD 进行风险分层,从而为患者选择最佳的治疗方案。Lin 等<sup>[17]</sup>的研究表明,在 MPI 显示心肌缺血面积 $\leq 10\%$ 的情况下,优化药物治疗方案比直接行血运重建方案的中心性死亡率更低。相关指南和共识也推荐 PCI 治疗应该用于经优化药物治疗后仍有缺血表现和存在大范围缺血(缺血面积 $>10\%$ )的 CAD 患者<sup>[18-19]</sup>。

初始使用 MPI 不仅能使患者避免过度诊断和治疗,而且费用也降低。有学者提出渐进式方法[即先使用无创性方法(如 MPI),继而选择性行 CAG]可以实现成本效益最大化<sup>[4]</sup>,同时也提高了 PCI 治疗的合理性和精准度。MPI 的应用在保证患者临床结果相似的情况下降低了成本,这也是美国等国家和地区把 MPI 作为 CAG 和 PCI 介入手术“守门人”的原因。美国每年 MPI 人数超过 1 000 万例<sup>[20]</sup>,日本约 23 万例<sup>[21]</sup>,避免了侵入性检查和治疗的过度使用。Shaw 等<sup>[22]</sup>开展前瞻性随机研究,将 11 372 例表现为持续稳定性胸痛的患者随机分配为直接 CAG 组和初始负荷 MPI 后选择性 CAG 组,结果显示:2 组心源性死亡率及心肌梗死发生率相似,但初始 MPI 降低了 CAG 的数量,并将总成本降低了 30%~41%。成本节省的部分原因是 MPI 提示无心肌缺血或缺血程度较轻的患者预后较好,可接受药物治疗,无需行 CAG 及 PCI;对于高危患者能有针对性地进行再血管化治疗,实现效益最大化。

有研究从诊断、治疗及心血管疾病产生的下游费用以及患者预后等方面分析了直接 CAG 和 MPI 后选择性 CAG 的卫生经济学意义<sup>[23]</sup>。研究者来自多个国家的 396 例疑似

CAD 患者分为 4 组:运动心电图联合 CAG 组、运动心电图联合 MPI 和 CAG 组、MPI 联合 CAG 组、直接 CAG 组,收集患者的诊断、治疗平均费用以及 2 年后治疗费用、临床结果并进行对比,结果显示:4 组患者 2 年随访的临床结果相同;使用了 MPI 的策略比未使用 MPI 的策略在诊断成本上约平均节省 20.7%、在 2 年总体治疗成本上约平均节省 15.2%(最终无 CAD 诊断)~43.8%(最终诊断 CAD)。

上述均表明,初始使用 MPI 与使用 CAG 相比临床结果无明显差异,同时节省了医疗支出,因而初始使用 MPI 成本效益更优。

## 二、MPI 与其他无创性影像学检查的成本效益比较

CCTA 有较高的阴性预测价值,常用于临床 CAD 的筛查<sup>[24]</sup>。很多研究对 MPI 与 CCTA 的成本效益进行了比较。如 Stillman 等<sup>[25]</sup>将 1 050 例疑似 SCAD 患者随机分为 MPI 组和 CCTA 组,随访其主要不良心血管事件(major adverse cardiovascular event, MACE)(心源性死亡或心肌梗死)或血运重建的发生,结果显示:初始使用 CCTA 指导药物治疗或血运重建与初始使用 MPI 的策略相比,MACE 发生率没有差异。然而有研究表明,对于稳定性胸痛且非阻塞性 CAD 患者,CCTA 可提供比功能性检查更优的预后信息<sup>[26]</sup>。但是 CCTA 仅提供有关冠状动脉的形态学信息,如果检测到的冠状动脉狭窄不能确定其是否存在心肌缺血,建议通过功能性检查评估心肌灌注以及未来发生不良心脏事件的风险<sup>[27-28]</sup>。

使用 MPI 伴随着成本的降低。Hlatky 等<sup>[29]</sup>对 1 703 例疑似 CAD 患者进行了 2 年的随访,结果显示:在评估疑似 CAD 时使用 MPI 的策略成本降低,而 CCTA 组与 MPI 组相比死亡率没有明显差异。1 项大型前瞻性随机研究则比较了诊断 CAD 的常用检查(无创和有创)的成本效益。该研究将 898 例表现为稳定胸痛、无已知 CAD 和异常运动心电图的患者随机分配到 MPI、CMR、负荷超声心动图或 CAG 组,结果显示:MPI 组成本最低,而 MPI、负荷超声心动图和 CAG 组的 2 年死亡率相似,CMR 组略高,因此 MPI 是该研究中最具成本效益的检查<sup>[30]</sup>。

总之,MPI 与以 CCTA 为代表的其他无创性检查相比,临床结果没有明显差异,但是成本降低。

## 三、小结

以上研究显示,MPI 在 SCAD 中具有良好的成本效益,然而我国仍缺乏该方面的数据。相关研究以及临床应用指南<sup>[31-34]</sup>有利于拓展 MPI 的临床应用,但目前其应用例数没有明显增长。2018 至 2020 年二级以上医院心血管影像技术使用情况显示,CAG 的开展率为 65.8%,CCTA 的开展率为 64.5%,而负荷超声心动图(9.0%)、CMR(13.5%)及 MPI(12.9%)等检查技术均未得到广泛开展<sup>[9]</sup>。CAG 反映冠状动脉的解剖情况,MPI 反映心肌的血流动力学状态,两者相互补充、不可替代。对于 SCAD 的诊断和治疗方案,需要综合临床表现和各种化验检查结果等来选择,从而为患者提供获益最大、所需费用最少的方案。

**利益冲突** 所有作者声明无利益冲突

**作者贡献声明** 杨丽红:数据采集与分析、论文撰写;曾艳:数据分析、论文修改;李思进:论文指导、经费支持

## 参 考 文 献

- [1] World Health Organization. World health statistics 2022: monitoring health for the SDGs, sustainable development goals[R/OL]. Geneva: World Health Organization, 2022(2022-05-19) [2022-11-05]. <https://www.who.int/data/gho/publications/world-health-statistics>.
- [2] 中国心血管健康与疾病报告编写组. 中国心血管健康与疾病报告 2020 概要[J]. 中国循环杂志, 2021, 36(6): 521-545. DOI: 10.3969/j.issn.1000-3614.2021.06.001.  
The Writing Committee of the Report on Cardiovascular Health and Diseases in China. Report on cardiovascular health and diseases burden in China; an updated summary of 2020[J]. Chin Circ J, 2021, 36(6): 521-545. DOI: 10.3969/j.issn.1000-3614.2021.06.001.
- [3] Virani SS, Alonso A, Aparicio HJ, et al. Heart disease and stroke statistics—2021 update: a report from the American Heart Association[J]. Circulation, 2021, 143(8): e254-e743. DOI: 10.1161/CIR.0000000000000950.
- [4] Vitola JV. A need to reduce premature CV mortality in the developing world; how could appropriate use of non-invasive imaging help? [J]. J Nucl Cardiol, 2019, 26(3): 975-985. DOI: 10.1007/s12350-018-01526-6.
- [5] Vitola JV, Shaw LJ, Allam AH, et al. Assessing the need for nuclear cardiology and other advanced cardiac imaging modalities in the developing world[J]. J Nucl Cardiol, 2009, 16(6): 956-961. DOI: 10.1007/s12350-009-9104-y.
- [6] 张毓辉, 柴培培, 翟铁民, 等. 2017 年我国心脑血管疾病治疗费用核算与分析[J]. 中国循环杂志, 2020, 35(9): 859-865. DOI: 10.3969/j.issn.1000-3614.2020.09.003.  
Zhang YH, Chai PP, Zhai TM, et al. Study on accounting and analysis of curative expenditure on cardio-cerebrovascular diseases in China [J]. Chin Circ J, 2020, 35(9): 859-865. DOI: 10.3969/j.issn.1000-3614.2020.09.003.
- [7] 中华医学会心血管病学分会介入心脏病学组, 中国医师协会心血管内科医师分会血栓防治专业委员会, 中华心血管病杂志编辑委员会. 中国经皮冠状动脉介入治疗指南(2016)[J]. 中华心血管病杂志, 2016, 44(5): 382-400. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0253-3758.2016.05.006.  
Interventional Cardiology Group of Chinese Society of Cardiology, Thrombosis Prevention and Control Committee of Chinese College of Cardiovascular Physicians, the Editorial Committee of the Chinese Journal of Cardiology. Chinese guideline for percutaneous coronary intervention(2016)[J]. Chin J Cardiol, 2016, 44(5): 382-400. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0253-3758.2016.05.006.
- [8] Inohara T, Kohsaka S, Spertus JA, et al. Comparative trends in percutaneous coronary intervention in Japan and the United States, 2013 to 2017[J]. J Am Coll Cardiol, 2020, 76(11): 1328-1340. DOI: 10.1016/j.jacc.2020.07.037.
- [9] 吕滨, 任心爽, 安云强, 等. 中国心血管影像技术应用现状调查与医疗质量报告[J]. 中国循环杂志, 2020, 35(7): 625-633. DOI: 10.3969/j.issn.1000-3614.2020.07.001.  
Lyu B, Ren XS, An YQ, et al. Survey of the application status of cardiovascular imaging modalities and medical quality report in China[J]. Chin Circ J, 2020, 35(7): 625-633. DOI: 10.3969/j.issn.1000-3614.2020.07.001.
- [10] 林深, 于春宇, 饶辰飞, 等. 稳定性冠心病患者冠状动脉血运重建指征适宜程度的多中心研究[J]. 中国循环杂志, 2019, 34(9): 859-865. DOI: 10.3969/j.issn.1000-3614.2019.09.004.  
Lin S, Yu CY, Rao CF, et al. Appropriateness of coronary revascularization in patients with stable coronary artery disease: a multicenter clinical trial[J]. Chin Circ J, 2019, 34(9): 859-865. DOI: 10.3969/j.issn.1000-3614.2019.09.004.
- [11] Hung GU, Ko KY, Lin CL, et al. Impact of initial myocardial perfusion imaging versus invasive coronary angiography on outcomes in coronary artery disease; a nationwide cohort study[J]. Eur J Nucl Med Mol Imaging, 2018, 45(4): 567-574. DOI: 10.1007/s00259-017-3872-4.
- [12] Boden WE, O'Rourke R A, 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. DOI: 10.1056/NEJMoa070829.
- [13] De Bruyne B, Pijls NH, Kalesan B, et al. Fractional flow reserve-guided PCI versus medical therapy in stable coronary disease[J]. N Engl J Med, 2012, 367(11): 991-1001. DOI: 10.1056/NEJMoa1205361.
- [14] Gaba P, Gersh BJ, Ali ZA, et al. Complete versus incomplete coronary revascularization; definitions, assessment and outcomes [J]. Nat Rev Cardiol, 2021, 18(3): 155-168. DOI: 10.1038/s41569-020-00457-5.
- [15] Chacko L, P Howard J, Rajkumar C, et al. Effects of percutaneous coronary intervention on death and myocardial infarction stratified by stable and unstable coronary artery disease: a Meta-analysis of randomized controlled trials [J]. Circ Cardiovasc Qual Outcomes, 2020, 13(2): e006363. DOI: 10.1161/CIRCOUTCOMES.119.006363.
- [16] Maron DJ, Hochman JS, Reynolds HR, et al. Initial invasive or conservative strategy for stable coronary disease[J]. N Engl J Med, 2020, 382(15): 1395-1407. DOI: 10.1056/NEJMoa1915922.
- [17] Lin FY, Dunning AM, Narula J, et al. Impact of an automated multimodality point-of-order decision support tool on rates of appropriate testing and clinical decision making for individuals with suspected coronary artery disease: a prospective multicenter study[J]. J Am Coll Cardiol, 2013, 62(4): 308-316. DOI: 10.1016/j.jacc.2013.04.059.
- [18] 中华医学会心血管病学分会介入心脏病学组, 中华医学会心血管病学分会动脉粥样硬化与冠心病学组, 中国医师协会心血管内科医师分会血栓防治专业委员会, 等. 稳定性冠心病诊断与治疗指南[J]. 中华心血管病杂志, 2018, 46(9): 680-694. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0253-3758.2018.09.004.  
Interventional Cardiology Group of Chinese Society of Cardiology, Atherosclerosis and Coronary Heart Disease Group of Chinese Society of Cardiology, Thrombosis Prevention and Control Committee of Chinese College of Cardiovascular Physicians, et al. Guidelines for the diagnosis and treatment of stable coronary artery disease[J]. Chin J Cardiol, 2018, 46(9): 680-694. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0253-3758.2018.09.004.
- [19] Neumann FJ, Sousa-Uva M, Ahlsson A, et al. 2018 ESC/EACTS guidelines on myocardial revascularization[J]. Eur Heart J, 2019, 40(2): 87-165. DOI: 10.1093/eurheartj/ehy394.
- [20] Schwaiger M. From  $^{201}\text{Tl}$  to  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -sestamibi [J]. J Nucl Med, 2020, 61(Suppl 2): 110S-111S. DOI: 10.2967/jnumed.120.251439.
- [21] Nishiyama Y, Kinuya S, Kato T, et al. Nuclear medicine practice in Japan; a report of the eighth nationwide survey in 2017[J]. Ann Nucl Med, 2019, 33(10): 725-732. DOI: 10.1007/s12149-019-01382-5.

- [22] Shaw LJ, Hachamovitch R, Berman DS, et al. The economic consequences of available diagnostic and prognostic strategies for the evaluation of stable angina patients; an observational assessment of the value of precatheterization ischemia. Economics of Noninvasive Diagnosis (END) Multicenter Study Group[J]. J Am Coll Cardiol, 1999, 33(3): 661-669. DOI:10.1016/s0735-1097(98)00606-8.
- [23] Underwood SR, Godman B, Salyani S, et al. Economics of myocardial perfusion imaging in Europe—the EMPIRE Study [J]. Eur Heart J, 1999, 20(2): 157-166. DOI:10.1053/ehj.1998.1196.
- [24] 中华医学会, 中华医学杂志社, 中华医学会全科医学分会, 等. 稳定性冠心病基层诊疗指南(2020年)[J]. 中华全科医师杂志, 2021, 20(3): 265-273. DOI: 10.3760/cma.j.cn114798-20210120-00079. Chinese Medical Association, Chinese Medical Journals Publishing House, Chinese Society of General Practice, et al. Guideline for primary care of stable coronary artery disease(2020)[J]. Chin J Gen Pract, 2021, 20(3): 265-273. DOI: 10.3760/cma.j.cn114798-20210120-00079.
- [25] Stillman AE, Gatsonis C, Lima J, et al. Coronary computed tomography angiography compared with single photon emission computed tomography myocardial perfusion imaging as a guide to optimal medical therapy in patients presenting with stable angina; the RESCUE trial[J]. J Am Heart Assoc, 2020, 9(24): e017993. DOI: 10.1161/JAHA.120.017993.
- [26] Hoffmann U, Ferencik M, Udelson JE, et al. Prognostic value of non-invasive cardiovascular testing in patients with stable chest pain: insights from the PROMISE trial (Prospective Multicenter Imaging Study for Evaluation of Chest Pain)[J]. Circulation, 2017, 135(24): 2320-2332. DOI:10.1161/CIRCULATIONAHA.116.024360.
- [27] Gulati M, Levy PD, Mukherjee D, et al. 2021 AHA/ACC/AASE/CHEST/SAEM/SCCT/SCMR guideline for the evaluation and diagnosis of chest pain: executive summary: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Joint Committee on Clinical Practice Guidelines[J]. Circulation, 2021, 144(22): e368-e454. DOI:10.1161/CIR.0000000000001030.
- [28] Knuuti J, Wijns W, Saraste A, et al. 2019 ESC Guidelines for the diagnosis and management of chronic coronary syndromes[J]. Eur Heart J, 2020, 41(3): 407-477. DOI:10.1093/eurheartj/ehz425.
- [29] Hlatky MA, Shilane D, Hachamovitch R, et al. Economic outcomes in the Study of Myocardial Perfusion and Coronary Anatomy Imaging Roles in Coronary Artery Disease registry: the SPARC Study[J]. J Am Coll Cardiol, 2014, 63(10): 1002-1008. DOI: 10.1016/j.jacc.2013.11.038.
- [30] Thom H, West NE, Hughes V, et al. Cost-effectiveness of initial stress cardiovascular MR, stress SPECT or stress echocardiography as a gate-keeper test, compared with upfront invasive coronary angiography in the investigation and management of patients with stable chest pain: mid-term outcomes from the CECaT randomised controlled trial [J]. BMJ Open, 2014, 4(2): e003419. DOI: 10.1136/bmjopen-2013-003419.
- [31] 杜艳, 王雅雯, 张海龙, 等. 以定量冠状动脉造影为“金标准”评价 ATP 负荷心肌灌注显像对冠心病的诊断价值[J]. 中华核医学与分子影像杂志, 2023, 43(2): 70-74. DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20210729-00255. Du Y, Wang YW, Zhang HL, et al. Diagnostic value of ATP stress myocardial perfusion imaging in detecting coronary artery disease with quantitative coronary angiography as the gold standard [J]. Chin J Nucl Med Mol Imaging, 2023, 43(2): 70-74. DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20210729-00255.
- [32] 蔡敏, 沈锐, 宋雷, 等. 骨髓间充质干细胞移植治疗猪急性心肌梗死疗效与机制的影像学评价[J]. 中华核医学与分子影像杂志, 2015, 35(6): 420-427. DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2015.06.002. Cai M, Shen R, Song L, et al. Multimodality imaging evaluation of the treatment effect and mechanism of bone marrow mesenchymal stem cells transplantation in swine with acute myocardial infarction [J]. Chin J Nucl Med Mol Imaging, 2015, 35(6): 420-427. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2015.06.002.
- [33] 马宁帅, 李素平.  $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MIBI 门控心肌灌注显像与超声斑点追踪技术评价心肌梗死的相关性[J]. 中华核医学与分子影像杂志, 2015, 35(6): 428-433. DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2015.06.003. Ma NS, Li SP. Correlation of  $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MIBI gated myocardial perfusion SPECT imaging and two-dimensional speckle tracking imaging in swine model of myocardial infarction [J]. Chin J Nucl Med Mol Imaging, 2015, 35(6): 428-433. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2015.06.003.
- [34] 中华医学会核医学分会, 中华医学会心血管病学分会. 核素心肌显像临床应用指南(2018)[J]. 中华心血管病杂志, 2019, 47(7): 519-527. DOI:10.3760/cma.j.issn.0253-3758.2019.07.003. Society of Nuclear Medicine of Chinese Medical Association, Society of Cardiology of Chinese Medical Association. Guideline for the clinical use of myocardial radionuclide imaging (2018)[J]. Chin J Cardiol, 2019, 47(7): 519-527. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0253-3758.2019.07.003.

(收稿日期:2023-03-27)