

对冠状动脉疾病中微循环阻力指数的测定方法的研究进展

卢晨¹, 莫静丽¹, 杨瑛^{2*}

¹大理大学临床医学院, 云南 大理

²大理大学第一附属医院心血管内科, 云南 大理

收稿日期: 2023年11月13日; 录用日期: 2023年12月7日; 发布日期: 2023年12月13日

摘要

心脏供血不足与心绞痛的问题主要源于冠状动脉微血管功能异常。在医学实践里, 精准地确定冠状动脉微血管功能状况及其障碍程度并对冠脉微循环功能做出定量分析, 这对疾病等级分类和预测结果有着重要的影响。当前, 最常用的方法就是利用压力导丝检测微循环阻力指数作为衡量冠状动脉微血管功能障碍的标准, 然而这种方式因为额外的时间消耗、费用支出以及注射液的使用等因素而受到限制, 无法广泛运用于实际治疗过程中。最近的研究表明, 采用冠状动脉造影技术可以有效代替传统的压力导丝法来计算微循环阻力指数。本篇文章将会对此种新技术的理论基础、准确度以及其实际应用效果等方面做全面介绍。

关键词

基于冠状动脉造影测定微循环阻力指数, 冠心病

Progress in the Study of Methods for the Determination of the Microcirculatory Resistance Index in Coronary Artery Disease

Chen Lu¹, Jingli Mo¹, Ying Yang^{2*}

¹School of Clinical Medicine, Dali University, Dali Yunnan

²Department of Cardiovascular Medicine, The First Affiliated Hospital of Dali University, Dali Yunnan

Received: Nov. 13th, 2023; accepted: Dec. 7th, 2023; published: Dec. 13th, 2023

*通讯作者。

文章引用: 卢晨, 莫静丽, 杨瑛. 对冠状动脉疾病中微循环阻力指数的测定方法的研究进展[J]. 临床医学进展, 2023, 13(12): 19081-19086. DOI: 10.12677/acm.2023.13122683

Abstract

The problem of insufficient blood supply to the heart and angina pectoris stems mainly from abnormal coronary microvascular function. In medical practice, precise determination of the state of coronary microvascular function and its degree of dysfunction and quantitative analysis of coronary microcirculatory function have a significant impact on the classification of disease levels and prediction of outcomes. Currently, the most commonly used method to measure coronary microvascular dysfunction is the microcirculatory resistance index using a pressure guidewire; however, this approach is limited by the additional time consumption, cost, and use of injectable fluids and cannot be widely utilized in the actual therapeutic process. Recent studies have shown that coronary angiography can be an effective alternative to the traditional pressure guidewire method for calculating the microcirculatory resistance index. The theoretical basis, accuracy, and practical application of this new technique will be presented in this article.

Keywords

Measurement of Microcirculatory Resistance Index Based on Coronary Angiography (AMR), Coronary Artery Disease (CAD)

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

一直以来,有创冠状动脉造影术(ICA)被视为诊断冠状动脉疾病(CAD)的最高准则。然而,冠状动脉狭窄程度与血流动力学及功能学意义之间的一致性较差,当前的研究已经逐渐揭示了冠脉小血管机能紊乱(Coronary Microvascular Dysfunction, CMD)在心血管疾病的发病机制中的核心地位及其对于不良结果的影响重大[1][2],这使得精确地确定并衡量其影响变得至关重要。由于它在大规模的心脏病变发展过程中发挥重要的调节角色,所以我们需要更加深入了解它的运作原理及如何有效测量以更好地理解病情的发展趋势并对症下药提供有效的建议。此外,我们也应该注意的是:虽然许多人把注意力放在大静脉上但事实上更小的毛细管也同样具有非常大的影响力;而这些被忽视的小型管道正是决定血液流动的关键所在。最近提出的“Microcirculation Resistance Index”或简称“IMR”已经被广泛接受为一项简单且高效的方法来检测这种小型通道的能力是否正常工作并且可以用于判断各种类型的心脏问题如急性血栓性闭塞或者因手术导致的堵塞等情况下的表现状况[3][4],这无疑是一个巨大的进步!

2. 冠状动脉循环结构的组成

心脏冠脉系统包含两个重要成分:一是以容积为主的外周型大中动脉;二是负责控制血液流动及供应能量的小规模网络——即所谓的“微循环”;其范围涵盖了<500 um 的大多数管腔结构如小型的前部皮层内侧支配动脉、中等大小且具收缩性的后壁分枝动脉与更小的末梢器官供养管道等等[5],尽管外部主干畅通无阻但若其中任何一部分出现问题都会导致局部缺氧现象发生[6]。从生物学的视角出发看的话,这个系统的构成可以分为三大部分——首先是 ≥ 500 um 的部分被称为第一个隔离区(R1),这主要是指那些较大的周围式主动脉结构而成并且能有效地输送低压强度的液体;其次则是介于 100~500 um 的区域被称

作第二个分离区间段(R2), 这个地方存在着一些较粗壮些的二次级别的周边动静混合管, 而最后则是一系列非常精密细致而且又很狭窄的一些通道它们就是我们常说的“微观环境”也就是那个占据整个体系 90% 以上压力值的地方[7]因为它们的尺度极小再加上影像技术的局域化限制使得对于 CMD 的定量评价变得有些棘手所以在实际操作过程中人们往往会采用诸如测算出心血管充盈速率或者计算一下“微环路抗拒系数”(index of microvascular resistance, IMR)之类的参数去衡量它的整体工作状况作为一种由压迫或者多普勒血液流动检测的功能化数量度标记物, CFR 受到了心脏外部皮层静脉及细密毛细管的影响; 无论何处导致的流量减缓都可能导致这个数标的下降并且它的复现率较低。只有当没有出现心血管的外部皮肤堵塞的时候, 才可以把 CFR 的减少视为患有 CMD 的一个信号。Fearon 等[8]在 2003 年第一次提出了 IMR 这个概念并通过实验证明了它可以在剖开的动物身上得到验证。而与此不同的是, IMR 仅仅是一个用来衡量精细化管道通畅性的“指针”[9], 和真实的冠状动脉内部流通障碍有着很好的关联关系而且因为它非生物因素引起的所以变化较少也更稳定一些, 因此能够保证较高的测试次数从而避免因外界环境的变化所带来的误判的可能性同时也不会被大面积的心脏表面肌肉收缩造成的问题干扰到判断结果当中去。另外值得一提的就是 AMR 是从已经做好的 X 光片里提取出来的数据然后经过计算得出的数字化的信息来表示出当前状态下的血压状况的一种方式方法不需要用专门的技术设备也不必借助特殊的药品就可以快速地完成一次全面细致的数据收集工作只需要花费大约两三分钟的时间就能达到预期的效果虽然说现在还不能确定到底哪种办法更加有效但是至少它们都有着各自独特的优点[10] [11] [12]。AMR < 251 可被定义为微循环功能正常, AMR ≥ 251 可被定义为微循环功能障碍[13] [14]。所以, 最近的许多科学研究都选择使用根据冠状动脉造影计算出来的 IMR (本文中我们称之为 AMR)作为压力导丝检测的替代方法。

3. IMRangio 的计算原理

对于心脏病患者来说, 确定是否存在心肌缺血是最重要的治疗依据之一。而根据最新的研究成果, QFR 作为一种新的测量方法, 能够有效地识别出这种状况并为医生提供准确的数据参考[15]。然而, 虽然该技术已经被广泛认可并在临床实践中有大量成功案例, 但实际运用到医疗过程中的频率却并不高。这主要是因为传统的 FFR 需要借助特殊的设备如压力导丝、注射器等来实现, 操作复杂并且耗时较长。为了解决这个问题, 一些科研机构利用现代科技手段发展出了另一种替代方案——QFR, 它不需要依赖这些传统设备就能完成对心血管功能的精确评估。经过实验验证, QFR 不仅能达到类似的效果, 而且比 FFR 更简便易行[16], 在评估冠状动脉狭窄的缺血性能方面似乎优于血管造影[17]。有两种方式用于测量 QFR: 一种是在线的实时操作; 另一种则是离线的预先设定速度(例如每秒 15 帧或者 30 帧)注入对比剂, 从而获取病灶区域两个超过 25 度的视角影像, 然后对其进行三维量的确定, 并以此计算出管道的狭窄比例、病变的长度、最小的通道尺寸、参照血管的前后直径及面积的缩减比例等数据。接着使用特定的电脑程序模拟测试压力图形, 选择管道两侧的压力, 也就是冠状动脉末端压强(Pa)和冠状动脉前端压强(Pa)的比例来推算 QFR 的数值[16]。QFR 是一个衡量心脏表层血管部分缺氧状况的指标, 但无法直接检测到冠状动脉微循环情况[18]。对于微循环阻力的估算, 我们可以利用微循环前后两端的压力差异除以微循环血液流量得出结果。如果静脉侧压力接近于零, 那么就可以将其视为恒定的心脏表面冠脉血流状态, 此时我们只需要考虑心外膜(Pa)和指示剂的平均经过时间(Tmean)即可。这个乘积可以被看作是一种反应微循环阻力大小的指数, 被称为 AMR。

4. AMR 诊断性能

根据 2019 年的《欧洲心血管疾病协会关于慢性和复杂冠脉疾病的临床实践指南》的观点来看, 如果

患者的心肌梗死风险指数(IMR) $\geq 25U$ 的话就可被视为患有心脑血管病变症候群的一种表现形式[19][20],而那些没有出现过血栓形成和斑块沉积的患者通常他们的 IMR 的数值会低于这个标准[21];另外一种评估方法就是通过对 AMR 这个指标的使用来判断是否存在超过了上述标准的危险因素的存在情况:其检测结果可以达到 91%的高精确度的识别能力并且能够有效地确定出最适合用于判定该类病情存在的临界线——当它的测量数据 $\geq 40 U$ 的时候就会有很高的可能导致不良的结果发生的情况的可能性增加的现象产生出来[22];同时研究也发现对于 PPCI 这项治疗方式来说一旦它所对应的数据超出了规定的范围那么就有可能带来一些负面影响的可能的增大的现象[23]。

研究表明,对于超过 40U IMR 的患者来说,使用 AMR 可以实现高精度的预判效果[24]。其曲线下的总积分为 0.96 (范围: 0.92 至 1.00; $p < 0.001$),且最优阈值设定于 40 单位水平上(灵敏率为 83%, 特定率为 100%; 假阳性的概率是 90.2%, 真阴性的可能则高达 96.8%; 总体判断正确率为 92.4%)。此外, Choi [10]等人也观察到 Angio-IMR 对 IMR 有很好的关联关系($r = 0.778$, $p < 0.001$)并且能够有效地识别出大于或等于 40U IMR 的情况(sensitivity 为 75.0%, specificity 为 84.2%, accuracy 和 AUC 分别达到 80.6% and 0.899 (range : 0.786 to 0.949))。

5. AMR 在心血管疾病方面的价值

AMR 与 PCI 患者预后具有一定预测价值,血管-IMR 对接受 PCI 治疗的 CAD 患者的预后影响接受 PCI 的 CAD 患者在手术后中位数 28 个月的随访中、AMR ≥ 251 的患者显示出其心脏死亡或因心力衰竭而再次入院的发生率明显高于血管 AMR < 251 的患者。AMR ≥ 251 因心力衰竭而导致的风险明显较高,主要是由于心力衰竭导致的再入院风险增加, AMR ≥ 251 是一个是心脏死亡或因心力衰竭再入院的独立预测因素。预测心脏死亡或心力衰竭再入院风险的 AMR 的最佳临界值是 273 [25]。AMR 的增加与心源性死亡或再出血的风险较高有关。AMR 与形态学和生理学上的狭窄相关, AMR 的分布在有不同程度狭窄的患者中得到了区分[26]。Ki Hong Choi [10]的研究结果与上述结果类似,除此外其研究表明 AMR 增高患者其 FFR 相应增高,急性 ST 段抬高型心肌梗死患者术前左室射血分数无明显差异性,术后 1 年随访中, AMR > 400 者,超声心动图检查中,左室射血分数明显降低,患者预后相对较差,心血管不良事件发生率增加[27]。心血管核磁成像技术揭示了小静脉堵塞现象即为大面积急性缺血事件中早期 PCI 术后的不良结果预测因素之一——也就是我们所说的“狭窄”或称之为“闭锁”,这种病症通常被称为“microvascular occlusion (MVO)”或者称为“Microcirculatory Blockage”,它常常出现在那些患有 STEMI 的病人身上;而对于这些接受过 PCI 手术的患者来说,“Angiographic Index of Myocardial Revascularization (Angio-IMR)”这个数值则可以用来衡量他们的心脏功能状况及病情严重程度等信息内容。AMR > 400 可高度预测 CMR 中 MVO 的存在[28]。急性心肌梗死患者经 PCI 术后,部分患者可出现冠状动脉慢血流现象(CSF),部分心绞痛患者行诊断性冠状动脉造影术时同样存在冠状动脉慢血流现象,目前一般认为冠状动脉慢血流现象与冠状动脉微血管功能障碍相关,但两者之间的联系尚不明确,通过测量 Angio-IMR,对比冠状动脉正常患者,发现慢血流现象患者 AMR 值明显增加(>251),进一步证明微循环功能障碍导致冠状动脉慢血流现象[29]。目前针对冠状动脉疾病患者严重钙化病变的主要工具是冠状动脉旋磨术,在接受冠状动脉旋磨术的 CAD 患者中, AMR ≥ 251 是 MACEs 和靶血管重建(TVR)的独立和重要预测因素。冠状动脉旋磨术后严重冠状动脉钙化患者的微循环功能障碍发生率为 45.8%。AMR 对于严重钙化的冠状动脉病变患者具有重要的预测意义[30]。在 Takotsubo 患者中,通过 AMR 的测量发现,至少有一条心外膜冠状动脉的 AMR 值升高(≥ 251)。左前左前降支冠状动脉(LAD)的 AMR 值高于左侧回旋支动脉(LCX)和右侧冠状动脉(RCA)的 AMR 值。AMR 值在左心室收缩力模式和右心室收缩力模式之间存在差异。AMR 值与 TTS 患者的 CMD 程度和范围相关。较低的 LVEF 也与较高的 AMR 值相关[31]。

6. 小结

AMR 作为一种非导丝式的 IMR 评定方式, 它可以有效地取代基于压力线的 IMR 测算, 并能大幅度优化对冠状动脉微循环功能评价的过程。同时, 其在 STEMI、NSTEMI 和 CCS 患者的测试结果上也表现出高度一致性和优秀的诊断能力。这不仅能在节省检测时间的条件下降低手术使用药物的需求, 还能减轻病人的财务负担, 从而提供了一种高效率且可靠的评估工具。此外, 这一微创而稳定的微血管测量技术在心肌梗死的血液再灌注疗法的选择决策中有重要作用和实际运用效果。并且, 这也可能会推进 CMD 治疗技术的进步发展。然而, 这项技术仍然处在实验阶段, 大量的临床比较试验主要关注于其与压力线测量的相似性问题, 缺少关于病人预后的研究。通过加入更多有关病人预后的研究, 我们可以更快速地改进他们的病情, 提升他们的生活品质, 因此未来的 AMR 与心血管疾病的预后关系研究将会成为可见的研究趋势。

参考文献

- [1] Camici, P.G. and Crea, F. (2007) Coronary Microvascular Dysfunction. *The New England Journal of Medicine*, **356**, 830-840. <https://doi.org/10.1056/NEJMra061889>
- [2] Wei, J., Cheng, S. and Bairey Merz, C.N. (2019) Coronary Microvascular Dysfunction Causing Cardiac Ischemia in Women. *JAMA*, **322**, 2334-2335. <https://doi.org/10.1001/jama.2019.15736>
- [3] Fearon, W.F., Low, A.F., Yong, A.S., et al. (2013) Prognostic Value of the Index of Microcirculatory Resistance Measured after Primary Percutaneous Coronary Intervention. *Circulation*, **127**, 2436-2441. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.112.000298>
- [4] Kobayashi, Y. and Fearon, W.F. (2014) Invasive Coronary Microcirculation Assessment—Current Status of Index of Microcirculatory Resistance. *Circulation Journal*, **78**, 1021-1028. <https://doi.org/10.1253/circj.CJ-14-0364>
- [5] Mittal, N., Zhou, Y., Linares, C., et al. (2005) Analysis of Blood Flow in the Entire Coronary Arterial Tree. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, **289**, H439-H446. <https://doi.org/10.1152/ajpheart.00730.2004>
- [6] Britten, M.B., Zeiher, A.M. and Schachinger, V. (2004) Microvascular Dysfunction in Angiographically Normal or Mildly Diseased Coronary Arteries Predicts Adverse Cardiovascular Long-Term Outcome. *Coronary Artery Disease*, **15**, 259-264. <https://doi.org/10.1097/01.mca.0000134590.99841.81>
- [7] Diez-Delhoyo, F., Gutierrez-Ibanez, E., Loughlin, G., et al. (2015) Coronary Physiology Assessment in the Catheterization Laboratory. *World Journal of Cardiology*, **7**, 525-538. <https://doi.org/10.4330/wjc.v7.i9.525>
- [8] Fearon, W.F., Balsam, L.B., Farouque, H.M., et al. (2003) Novel Index for Invasively Assessing the Coronary Microcirculation. *Circulation*, **107**, 3129-3132. <https://doi.org/10.1161/01.CIR.0000080700.98607.D1>
- [9] Ng, M.K., Yeung, A.C. and Fearon, W.F. (2006) Invasive Assessment of the Coronary Microcirculation: Superior Reproducibility and Less Hemodynamic Dependence of Index of Microcirculatory Resistance Compared with Coronary Flow Reserve. *Circulation*, **113**, 2054-2061. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.105.603522>
- [10] Choi, K.H., Dai, N., Li, Y., et al. (2021) Functional Coronary Angiography-Derived Index of Microcirculatory Resistance in Patients with ST-Segment Elevation Myocardial Infarction. *JACC: Cardiovascular Interventions*, **14**, 1670-1684. <https://doi.org/10.1016/j.jcin.2021.05.027>
- [11] Tebaldi, M., Biscaglia, S., Di Girolamo, D., et al. (2020) Angio-Based Index of Microcirculatory Resistance for the Assessment of the Coronary Resistance: A Proof of Concept Study. *Journal of Interventional Cardiology*, **2020**, Article ID: 8887369. <https://doi.org/10.1155/2020/8887369>
- [12] Li, W., Takahashi, T., Rios, S.A., et al. (2022) Diagnostic Performance and Prognostic Impact of Coronary Angiography-Based Index of Microcirculatory Resistance Assessment: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Catheterization and Cardiovascular Interventions*, **99**, 286-292. <https://doi.org/10.1002/ccd.30076>
- [13] 周文杰, 刘华芬, 张燕, 等. 冠脉造影衍生的微循环阻力指数在冠心病患者中的应用及其影响因素分析[J]. 微循环学杂志, 2022, 32(3): 34-38.
- [14] Mejia-Renteria, H., Lee, J.M., Choi, K.H., et al. (2021) Coronary Microcirculation Assessment Using Functional Angiography: Development of a Wire-Free Method Applicable to Conventional Coronary Angiograms. *Catheterization and Cardiovascular Interventions*, **98**, 1027-1037. <https://doi.org/10.1002/ccd.29863>
- [15] Desai, N.R., Bradley, S.M., Parzynski, C.S., et al. (2015) Appropriate Use Criteria for Coronary Revascularization and

- Trends in Utilization, Patient Selection, and Appropriateness of Percutaneous Coronary Intervention. *JAMA*, **314**, 2045-2053. <https://doi.org/10.1001/jama.2015.13764>
- [16] Tu, S., Westra, J., Yang, J., *et al.* (2016) Diagnostic Accuracy of Fast Computational Approaches to Derive Fractional Flow Reserve from Diagnostic Coronary Angiography: The International Multicenter FAVOR Pilot Study. *JACC: Cardiovascular Interventions*, **9**, 2024-2035. <https://doi.org/10.1016/j.jcin.2016.07.013>
- [17] Westra, J., Andersen, B.K., Campo, G., *et al.* (2018) Diagnostic Performance of In-Procedure Angiography-Derived Quantitative Flow Reserve Compared to Pressure-Derived Fractional Flow Reserve: The FAVOR II Europe-Japan Study. *Journal of the American Heart Association*, **7**, e009603. <https://doi.org/10.1161/JAHA.118.009603>
- [18] 郑文, 黄鑫, 赵雪东. 基于冠状动脉造影测定微循环阻力指数的研究进展[J]. 中国介入心脏病学杂志, 2022, 30(6): 448-451.
- [19] Knuuti, J., Wijns, W., Saraste, A., *et al.* (2020) 2019 ESC Guidelines for the Diagnosis and Management of Chronic Coronary Syndromes. *European Heart Journal*, **41**, 407-477. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehz425>
- [20] Kotronias, R.A., Terentes-Printzios, D., Shanmuganathan, M., *et al.* (2021) Long-Term Clinical Outcomes in Patients with an Acute ST-Segment-Elevation Myocardial Infarction Stratified by Angiography-Derived Index of Microcirculatory Resistance. *Frontiers in Cardiovascular Medicine*, **8**, Article 717114. <https://doi.org/10.3389/fcvm.2021.717114>
- [21] Takahashi, T., Theodoropoulos, K., Latib, A., *et al.* (2022) Coronary Physiologic Assessment Based on Angiography and Intracoronary Imaging. *Journal of Cardiology*, **79**, 71-78. <https://doi.org/10.1016/j.jjcc.2021.07.009>
- [22] Ai, H., Feng, Y., Gong, Y., *et al.* (2020) Coronary Angiography-Derived Index of Microvascular Resistance. *Frontiers in Physiology*, **11**, Article 605356. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.605356>
- [23] Carrick, D., Haig, C., Ahmed, N., *et al.* (2016) Comparative Prognostic Utility of Indexes of Microvascular Function Alone or in Combination in Patients with an Acute ST-Segment-Elevation Myocardial Infarction. *Circulation*, **134**, 1833-1847. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.116.022603>
- [24] De Maria, G.L., Scarsini, R., Shanmuganathan, M., *et al.* (2020) Angiography-Derived Index of Microcirculatory Resistance as a Novel, Pressure-Wire-Free Tool to Assess Coronary Microcirculation in ST Elevation Myocardial Infarction. *The International Journal of Cardiovascular Imaging*, **36**, 1395-1406. <https://doi.org/10.1007/s10554-020-01831-7>
- [25] Dai, N., Che, W., Liu, L., *et al.* (2021) Diagnostic Value of Angiography-Derived IMR for Coronary Microcirculation and Its Prognostic Implication after PCI. *Frontiers in Cardiovascular Medicine*, **8**, Article 735743. <https://doi.org/10.3389/fcvm.2021.735743>
- [26] Wang, B., Gao, Y., Zhao, Y., *et al.* (2023) The Spectrum of Angiography-Derived IMR according to Morphological and Physiological Coronary Stenosis in Patients with Suspected Myocardial Ischemia. *Clinical Cardiology*, **46**, 502-511. <https://doi.org/10.1002/clc.23999>
- [27] Huo, Y. and Gregory, S.D. (2022) Editorial: Computational Biomechanics for Ventricle-Arterial Dysfunction and Remodeling in Heart Failure, Volume II. *Frontiers in Physiology*, **13**, Article 1100037. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.1100037>
- [28] Shin, D., Kim, J., Choi, K.H., *et al.* (2022) Functional Angiography-Derived Index of Microcirculatory Resistance Validated with Microvascular Obstruction in Cardiac Magnetic Resonance after STEMI. *Revista Española de Cardiología*, **75**, 786-796. <https://doi.org/10.1016/j.rec.2022.01.004>
- [29] Li, M., Su, H., Jiang, M., *et al.* (2022) Predictive Value of Thrombolysis in Myocardial Infarction Frame Count for Coronary Microvascular Dysfunction Evaluated with an Angiography-Derived Index of Microcirculatory Resistance in Patients with Coronary Slow Flow. *Quantitative Imaging in Medicine and Surgery*, **12**, 4942-4952. <https://doi.org/10.21037/qims-22-224>
- [30] Wang, B., Gao, Y., Zhao, Y., *et al.* (2023) Prognostic Value of Angiography-Derived Index of Microcirculatory Resistance in Patients with Coronary Artery Disease Undergoing Rotational Atherectomy. *RCM*, **24**, 131. <https://doi.org/10.31083/j.rcm2405131>
- [31] Sans-Rosello, J., Fernandez-Peregrina, E., Duran-Cambra, A., *et al.* (2022) Prognostic Value of Microvascular Resistance at Rest in Patients with Takotsubo Syndrome. *JACC: Cardiovascular Imaging*, **15**, 1784-1795. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2022.03.030>