

STEMI患者非罪犯血管处理的研究进展

宋启龙, 许少宇*

山东大学齐鲁医院急诊科, 山东 济南

收稿日期: 2025年2月5日; 录用日期: 2025年2月28日; 发布日期: 2025年3月6日

摘要

约50%的ST段抬高性心肌梗死(ST-Segment Elevation Myocardial Infarction, STEMI)患者会合并多支血管病变(Multivessel Disease, MVD), 其高发病率、高致死率、高致残率、高复发率对社会及个人产生严重的负担。完全血运重建的获益已经在血流动力学稳定STEMI伴MVD患者中得到证实, 指南也对此给出了I类推荐(A级证据)。然而, 对于完全血运重建的最佳时机以及个体化干预的策略仍然存在争论。因此, 文章对STEMI合并MVD患者完全血运重建领域的循证证据进展进行了综述。

关键词

ST段抬高性心肌梗死, 多支血管病变, 完全血运重建, 经皮冠状动脉介入治疗

Research Advances in the Management of Non-Culprit Vessels in Patients with ST-Segment Elevation Myocardial Infarction

Qilong Song, Shaoyu Xu*

Department of Emergency, Qilu Hospital of Shandong University, Jinan Shandong

Received: Feb. 5th, 2025; accepted: Feb. 28th, 2025; published: Mar. 6th, 2025

Abstract

Approximately 50% of patients with ST-Segment Elevation Myocardial Infarction (STEMI) present with Multivessel Disease (MVD), imposing substantial socioeconomic and individual burdens due

*通讯作者。

文章引用: 宋启龙, 许少宇. STEMI 患者非罪犯血管处理的研究进展[J]. 临床医学进展, 2025, 15(3): 294-303.
DOI: 10.12677/acm.2025.153615

to its high incidence, mortality, disability, and recurrence rates. The prognostic benefits of complete revascularization (CR) have been well-established in hemodynamically stable STEMI patients with MVD, achieving a Class I recommendation (level A evidence) in current international guidelines. Nevertheless, critical uncertainties persist regarding the optimal timing of intervention (immediate vs. staged), site selection priorities, and individualized strategies for plaque vulnerability assessment. Based on recent meta-analyses and large-scale clinical trials, this review synthesizes updated evidence on CR in STEMI-MVD cohorts while delineating unresolved controversies in risk-stratified therapeutic algorithms for complex lesion subsets.

Keywords

ST-Segment Elevation Myocardial Infarction, Multivessel Disease, Complete Revascularization, Percutaneous Coronary Intervention

Copyright © 2025 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

心血管疾病(Cardiovascular Diseases, CVD)是世界范围内发病率和死亡率最高的疾病。[1] [2]据估计,目前中国 CVD 患者人数高达 3.3 亿,且患病率仍呈现一个持续上升的趋势。冠心病(Coronary Heart Disease, CHD)是心血管疾病的主要原因之一。急性 ST 段抬高性心肌梗死(ST-Segment Elevation Myocardial Infarction, STEMI)是动脉粥样硬化斑块破裂、糜烂及随后的血栓形成导致心肌血流急性中断和缺血性坏死的结果,为冠心病的严重类型,具有高发病率、高致死率、高致残率、高复发率的特点,及时开通梗死血管是挽救患者心肌及拯救患者生命的最有效手段,包括经皮冠状动脉介入治疗(Percutaneous Coronary Intervention, PCI)或冠状动脉旁路搭桥术(Coronary Artery Bypass Graft, CABG)。PCI 是目前治疗 STEMI 患者首选的最安全、最有效的手段,随着技术的进步,其已经被越来越多地用于 STEMI 患者的血运重建。[3] [4]然而,大部分的 STEMI 患者其动脉粥样硬化通常不只局限于单支血管,除罪犯血管外还累及多支血管,即所谓的冠状动脉多支病变。[5]相对于单支血管病变而言,STEMI 患者多支冠状动脉的发生率高达 40%~60%, [6] [7]与单支冠状动脉病变相比,这部分患者通常手术操作难度更大,合并症更多,预后更差,复发性心绞痛、再发心肌梗死及心源性死亡等不良事件的发生率更高。[8] [9]对于非罪犯血管的处理,研究已证明预防性干预即完全血运重建可以带来更大的获益,减少不良事件的发生,然而对于非罪犯血管预防性干预的时机及个性化干预策略的制定仍存在争议。

2. MVD 患者的定义

尽管研究中 MVD 的定义各不相同,大部分研究将其定义为冠状动脉存在 2 支以上的主要血管在冠脉造影(Coronary Angiography, CAG)下狭窄程度 $\geq 70\%$, [10]也有研究将其定义为冠脉造影下狭窄程度超过 70%或狭窄程度介于 50%~69%且伴有血流储备分数(Fractional Flow Reserve, FFR)大于 0.8。[11]-[13]尽管定义各不相同,但是根据冠脉的解剖学及功能学判断是否需要狭窄血管进行介入干预已成为指南及临床专家的共识。

3. 目前的治疗策略及优缺点

目前关于 MVD 血运重建的方式如下: 1) 不完全血运重建: 急诊 PCI 时仅处理罪犯血管,若患者后

期出现缺血表现再行其他血管的血运重建, 2) 完全血运重建: 指完全开通所有有意义的病变血管, 包括① 急诊 PCI 时同期处理非罪犯血管(即刻 PCI); ② 急诊 PCI 时仅处理罪犯血管, 择期处理非罪犯血管(择期 PCI)。由于非罪犯血管的狭窄导致相应的心肌供血不足, 加重了心功能的恶化及心律失常的发生, 因此, 早期预防性干预非罪犯血管病变理论上可以降低患者后续 MACE 事件的发生率。即刻 PCI 的优点主要包括: 1) 减少患者再住院的次数; 2) 急诊 PCI 时可能出现罪犯血管识别困难, STEMI 患者本来就是多罪犯血管病变; 3) 早期开通严重狭窄的血管, 可以增加梗死分水岭区域的心肌血供, 挽救冬眠的心肌, 从而改善心功能, 降低心源性休克的发生率, [14] 4) 防止因非罪犯血管不稳定斑块导致再次心梗的发生; 5) 减少二次手术对穿刺点皮肤及血管造成的损害及再次介入手术治疗的并发症。[15] 可能带来的风险: 1) 手术时间长、放射线暴露量高、对比剂使用量多, 可能增加对比剂肾病风险[16]。2) STEMI 患者病情不稳定(如血流动力学不稳定、心力衰竭、应激等), 对部分不稳定的非罪犯血管行 PCI 可能威胁到相应供血区域的心肌血运, 产生冠状动脉栓塞和无复流等严重并发症, 导致 PCI 相关心肌梗死(4a 型), 尽管发生率低、梗死面积小, 但也存在一定比例的缺血或梗死面积较大的高危者。[17] 3) 患者在发生 ACS 时, 全身处于高凝状态, 促血栓和促炎症的不良环境可能增加冠状动脉支架内血栓的机率。[18] 4) 使用儿茶酚胺或内皮功能障碍导致冠状动脉痉挛, 可能对非罪犯血管的狭窄程度高估。[19] 5) 由于时间紧迫, 可能难以获得患者全面的信息, 如并发症、出血风险、双重抗血小板治疗的耐受性, 围手术期不可避免地出现并发症风险升高。[20][21] 相比于即刻 PCI, 分期 PCI 可以给介入医生充足的时间来评估处理非罪犯血管的利弊, [22] 并让这部分心肌得到充分的休息和恢复, 减少手术可能带来的不良事件发生及 PCI 导致的心肌梗死。因此, 鉴于患者的临床合并疾病、心功能状况、冠状动脉解剖的复杂程度、术者的经验以及对可能出现的手术并发症的顾虑, 目前临床医生大多持谨慎态度, 采取分期血运重建的策略。

4. 不同策略的研究现状

4.1. 完全血运重建或不完全血运重建

既往的几项大型研究都表明, 对于 MVD 患者, 预防性开通非罪犯血管会增加死亡率及 MACE 的发生率, 这是对非罪犯血管的认知不足以及客观因素的存在导致的, [23][24] 因此临床医生和相关指南对非罪犯血管的开通采取相对保守的策略。然而, 随着相关队列研究以及高质量的随机对照试验结果的问世, 介入医生的观念及指南都做出了改变。PRAMI 研究[25]、CvLPRIT 研究[10][26]、DANAMI3-PRIMULTI 研究[11][12]、COMPARE-ACUTE 研究[13]及 Politi 等人[27]的研究结果均表明, 无论是在冠状动脉造影(CAG)引导下还是在 FFR 引导下的完全血运重建, 其后续 MACE 事件的发生率均低于仅开通罪犯血管的血运重建, 因此基于这些证据, 2015 年, ACC/AHA/SCAI [28] 对 STEMI 合并 MVD 且血流动力学稳定的 PCI 进行了更新, 从不推荐对非罪犯血管进行血运重建(Class III)升级为可以考虑对非罪犯血管进行处理(Class IIb)。随着 2020 年 COMPLETE 试验[29]结果的发布, 指南又进行了更新。COMPLETE 试验比较了完全血运重建与仅罪犯血管血运重建的优劣, 其随访 3 年的结果表明, 完全血运重建组 MACE 事件发生率为 8.9%, 仅罪犯血管血运重建组 MACE 事件的发生率为 16.7% ($p < 0.001$), 而两者之间的安全性差异无统计学意义。基于该实验研究的结果, 2021 年, ACC/AHA 血运重建指南[30]提出, 对于血流动力学稳定且冠脉病变复杂程度较低的 STEMI 合并 MVD 患者强烈建议分期完全血运重建(Class I)。然而由于该研究纳入的患者平均年龄较小、冠状动脉复杂性较低以及不包含心源性休克的患者, 因此对于血流动力学不稳定或病变复杂程度较高的患者无法给出一致的结论, 另外未纳入即刻 PCI 的患者, 因此完全血运重建的时机仍需进一步探索。

4.2. 完全血运重建的时机

既往研究对于即刻 PCI 的结论各不相同, 且先前进行的关于直接比较完全血运重建时机的研究多为

一些研究的亚组分析。[31] 2023 年 ESC 发布的关于 ACS 的诊断及治疗指南[32]中, 建议对 STEMI 合并 MVD 患者行即刻或择期完全血运重建, 但由于证据不足, 并未对完全血运重建时机做出明确推荐。因此, 目前关于多支血管病变患者完全血运重建时机仍存在争论, 本文对当前的研究进行了相关总结。

4.2.1. 支持即刻完全血运重建的研究

PRAMI 研究[25]对 465 名 STEMI 合并 MVD 的患者进行分析, 随访 23 个月时发现对于心源性死亡和非致死性心肌梗死组成的复合结局来说, 预防性血运重建组不良事件的发生率为 0.05%, 仅处理罪犯血管组血运重建的发生率为 0.11% (HR, 0.36; 95% CI: 0.18~0.73, $p = 0.004$), 由于试验结果有明显的差异, 该试验被提前终止。这为 STEMI 患者直接 PCI 同时干预严重狭窄的 non-IRA 病变提供了新的证据, 但该研究未对非罪犯血管血运重建的时机进行探索。CvLPRIT 研究[26]在长达 5.6 年的随访中, 发现完全血运重建组的主要 MACE 终点率为 24.0%, 但仅梗死相关动脉组为 37.7% (HR: 0.57; 95% CI: 0.37~0.87; $p = 0.0079$), 但该研究中完全血运重建组仅有 64% 的患者进行了即刻 PCI, 因此作者对即刻 PCI 和分期 PCI 进行亚组分析, 结果表明即刻 PCI 似乎优于分期 PCI, 但由于样本量过小, 无法得出肯定的结论。BIOVASC 试验[33]是第一项专门解决时机问题的随机研究。该试验结果表明, 就 MACE 的风险而言, 即刻完全血运重建不劣于分期血运重建, 并且在 30 天的预先指定分析中优于分期血运重建。分期完全血运重建组的计划外缺血驱动血运重建和 MI 发生率显著较高, 主要归因于指数手术和计划分期 PCI 之间的早期事件, 其中大多数是由于非梗死血管堵塞引起的自发性心肌梗死。然而该试验有局限性, 如分期组非罪犯血管血运重建的时间不同, 此外, 它不仅包括 STEMI 患者也有其他 ACS 的患者, 但亚组分析表明在这些人群中并没有观察到完全血运重建治疗效果的异质性。因此即刻完全血运重建可能是安全的, 并且与较低的缺血事件风险相关, 特别是在双血管疾病和单纯病变的患者中。MULTISTARS AMI 研究[34]比较了在急诊 PCI 后即刻多支血管 PCI 与罪犯病变 PCI 后 19 至 45 天内非罪犯血管分期 PCI。结果表明即刻多支血管 PCI 在 1 年时对 MACE 来说不劣于而优于分期多血管 PCI, 且主要是由于较少的非致命性心肌梗死和计划外血运重建驱动的。但该研究的局限性包括试验过程中主要终点的扩大(由于入组缓慢, 将卒中和因心力衰竭住院的复合终点添加到复合主要终点中, 这可能引入了对非劣效性的偏倚)、女性代表性不足, 其次该研究排除复杂病变(心源性休克、左主干冠状动脉疾病、慢性完全闭塞或既往冠状动脉旁路移植手术)的患者, 因此一定程度上限制了该研究结果在全人群中的推广。另外该研究的亚组分析表明年龄 ≥ 75 岁, 合并糖尿病, LAD 为罪犯血管, 从症状出现到开通罪犯血管时间 $> 6h$ 的患者来说, 就 MACE 发生率而言, 两者并无统计学差异, 因此即刻血运重建不劣于但也不优于分期完全血运重建, 然而目前缺乏长期随访的结果。

4.2.2. 即刻完全血运重建与分期完全血运重建无差异

Politi 等人[27]研究的亚组分析表明, 对 STEMI 合并 MVD 患者不同时机的完全血运重建进行亚组分析, 随访 25 个月后发现主要 MACE 事件(心源性和非心源性死亡、住院期间死亡率、再次 MI、住院和血运重建)两者之间无统计学差异。Islam Y. Elgendy [35]进行的一项 Meta 分析表明, 即刻 PCI 完全血运重建与住院期间分期 PCI 完全血运重建相比, 在 MACE 事件全因死亡率及再次紧急血运重建方面无统计学差异, 但该文章纳入的所有研究并未直接比较完全血运重建的不同时机, 而只作为亚组分析的一部分进行讨论。Soohyung Park 等人[36]比较即刻 PCI 与分期 PCI (平均在急诊 PCI 后 4.4 天时进行)对 STEMI 合并 MVD 患者预后的影响, 随访一年发现, 即刻血运重建组 MACE 发生率为 11.6%, 分期血运重建组 MACE 发生率为 7.5% (HR 1.60, 95% CI: 0.65~3.91)。即刻组的总死亡发生率在数值上高于分期组(9.7% vs 2.8%, HR 3.53, 95% CI: 0.97~12.84), 两组在 MACE 任何单个组成部分的风险、心源性死亡、卒中和院内并发症(如输血需求、出血、急性肾功能衰竭和急性心力衰竭)方面并无显著差异。但由于该研究使用的支

架已停产, 在只纳入 248 名患者后试验被迫终止, 因此未得出关于完全血运重建时机的明确结论。

4.2.3. 支持分期完全血运重建的研究

HORIZON-AMI 研究得出了不一致的结论, 该研究的亚组分析包含 275 例即刻 PCI 完全血运重建和 393 例分期 PCI 的 STEMI 患者, 随访 12 个月后发现, 即刻 PCI 完全血运重建与 1 年死亡率增高心源性死亡以及确定的、可能的支架内血栓明显相关, 相反分期 PCI 与术后 30 天和 1 年全因死亡率降低呈独立相关性。因此, 该研究认为不应在初次 PCI 期间对患者进行非梗死动脉的即刻 PCI。[37] Cem Dogan 结果表明在 30 天的短期随访中, 即刻 PCI 组和分期 PCI 组主要结局事件的发生率分别为 11.2% 和 5% (OR = 3.02; 95% CI: 1.51~6.02; $p = 0.002$), 即刻 PCI 中 30 天的不良事件几乎是分期 PCI 的两倍, 且完全血运重建时间是不良事件的最强预测因子。该研究还表明前壁心肌梗死、左前降支血管为罪犯血管以及 KILLIP 分级 $\geq$ II 级是影响即刻 PCI 不良结局的预后因素。[38] Giuseppe Tarantini 等人的 META 分析共纳入 32 项研究, 包括 13 项前瞻性研究和 19 项回顾性研究, 对 3 项不同完全血运重建策略进行成对和网状荟萃分析。成对荟萃分析显示, 与仅罪犯血管 PCI 和即刻 PCI 相比, 分期 PCI 与较低的短期和长期死亡率相关, 而与即刻 PCI 相比, 仅罪犯血管 PCI 与较低的死亡率相关。在网状分析中, 分期 PCI 也与生存率的提高相关。因此该研究得出的结论为在接受原发性 PCI 的 STEMI 患者中, 分期多血管血运重建策略可能会改善早期和晚期生存率。[39] 另有一项荟萃分析表明, 在 STEMI 患者的首次 PCI 过程中, 即使患者存在适合 PCI 的非梗死相关血管病变, 也不应当对多支病变中的非罪犯血管进行一次性 PCI, 而应对其进行择期处理。[40]

5. 影响完全血运重建预后的因素

对于患者个体化干预策略的制定一直没有一致的评判标准。在临床实践中, 我们应该个体化考虑, 根据患者的整体情况、病变解剖特点及技术等因素, 全面考虑影响患者预后的因素。[41] [42]

5.1. 年龄

目前, 接受经皮冠状动脉介入治疗的患者群体中老年患者的比例越来越大, 而且, 老年人比年轻人有更大的缺血负担, 因此从冠状动脉血运重建中的获益理论上是更大的。然而, 与年龄相关的生理变化(虚弱等)增加了冠状动脉血运重建的潜在风险和手术相关不良结局的几率。[43] [44] 从冠状动脉的角度来看, 需要血运重建的老年患者比年轻人更容易患上复杂的多血管疾病, 需要更具挑战性的多病变干预。[45] 另外年龄也是冠状动脉钙化的重要预测指标。早期研究显示, 年龄每增加一年, 冠状动脉钙化评分 > 900 的风险会增加 11%。[46] 而对钙化斑块的干预与围手术期并发症的发生率增加、手术成功率降低、支架扩张不足以及再狭窄发生率增加有关。其次, 老年人的血管更加迂曲, 这增加了支架放置的难度和与血管通路相关并发症的风险。COMPLETE 研究证明对于老年患者分期完全血运重建不劣于仅罪犯血管的血运重建, MULTISTARS AMI 研究中 75 岁以上老年人的代表性是不足的, 且大部分研究把高龄老年人排除在外, 因此目前对于老年人最佳血运重建时机的循证研究证据仍是不足的, 需要进一步地探究老年人完全血运重建的最佳时机。

5.2. 糖尿病

糖尿病与冠状动脉疾病风险增加 2~4 倍相关, 且患者容易出现弥漫性和快速进展的动脉粥样硬化, 血管较小, 病灶长度较长, 斑块负荷较高, 复杂疾病发病率通常较高。[47] 这增加了血运重建术的可能性, 也增加了血运重建后不良临床结局的风险。[48] 指南已经将 STEMI 合并糖尿病患者归类为特殊人群, [30] [32] 在这种情况下, 糖尿病是选择完全血运重建策略时的重要考虑因素, COMPLETE 试验的亚组分析已

经表明对于糖尿病合并 STEMI 的患者, 完全血运重建策略要比仅罪犯血管血运重建好, 然而糖尿病是否影响不同时机完全血运重建(即刻 or 择期)的预后是不清楚的, MULTISTARS AMI 研究和 BIOVASC 试验中对糖尿病患者进行亚组分析, 结果表明, 对于糖尿病合并 MVD 患者, 即刻完全血运重建和分期完全血运重建相比均无统计学差异, 但样本量相对较小。Lqbal 等人的注册研究表明不推荐对糖尿病合并 MVD 的患者行即刻完全血运重建。理论上来说, 该特殊人群患者冠状病变复杂程度较高, 常合并三支病变, 即刻处理所有血管的手术难度更大, 围手术期不可预见并发症的可能性更高, 因此即刻完全血运重建未必是一个好的选择。

5.3. 罪犯血管解剖特点

罪犯血管的位置及病变的复杂程度是影响患者预后的重要因素, 先前的研究已经证明前壁心肌梗死(即左前降支供应的心肌区域梗死)与患者的不良预后相关, 后期发生缺血性心脏事件的可能性更大。[49] 原因为前壁是左心室的主要部分, 是心肌收缩的最主要部位, 急性前壁心肌梗死更容易出现交感神经兴奋, 也更容易出现室速、室颤等恶性心律失常, 而且前壁的心梗影响左心室功能更为明显, 更容易出现心肌梗死后的心衰。[50]前壁心肌梗死出现室间隔穿孔和游离壁破裂的风险, 这种心脏破裂是心肌梗死严重的并发症, 死亡率极高。Lqbal 等人[42]的研究也表明若梗死动脉位于前降支, 分期完全血运重建似乎是一种更好的选择。可能的解释是当即刻处理非罪犯血管时, 会威胁到该血管供应的心肌, 另外由于 AMI 时期, 机体处于高凝状态, 急性支架内血栓形成的风险高, 导致非罪犯血管供应的心肌出现缺血坏死, 这可能会加大心肌梗死的范围, 使围手术期出现不可预测的并发症可能性更高, 这对患者的打击是致命的。在 BIOVASC 试验和 MULTISTARS AMI 研究中对罪犯血管的位置进行亚组分析, 结果表明, 若罪犯血管为 LAD, 即刻完全血运重建不劣于分期完全血运重建, 但结果无统计学意义。MULTISTARS AMI 研究同时表明若罪犯血管位于 LCX 或 RCA, 即刻完全血运重建是优于分期完全血运重建的。Cem Dogan 等人的研究表明前壁心肌梗死及 LAD 为罪犯血管是影响即刻 PCI 不良预后的重要预测因素。这些均表明罪犯血管的位置是影响完全血运重建策略选择的一个重要因素, 然而, 目前对于个性化策略的制定仍是存在争论的。

5.4. 心功能和血流动力学

Killip 分级是针对急性心肌梗死患者出现心力衰竭而制定的分级标准, 反映了 AMI 急性期患者的心功能及血流动力学损害程度, 研究已经证实无论基线时左心室功能和冠状动脉疾病程度如何, Killip 分级仍然是全因死亡和任何再梗死的最强预测因子, 能预测 AMI 的短期和长期死亡率, Killip 分级越高, 患者死亡率越大。[51]尽管多支血管 PCI 可以恢复心肌灌注并减少梗死面积, 但即刻处理非罪犯血管可能会导致更多的心肌损伤, 使左心室功能进一步恶化, 而且通过更高的对比剂剂量或增加的手术时间对导管造成损害, 导致肾功能下降、左心室容量超负荷、进一步缺血和血流动力学恶化。[52]先前的研究已经证明, 对于心源性休克(CS)的病人行即刻多血管 PCI 是有害的。CULPRIT-SHOCK 试验[53]评估了仅罪犯血管血运重建与即刻完全血运重建的安全性和有效性, 结果表明, 仅罪犯 PCI 显著降低了主要终点, 主要是由全因死亡的降低所驱动的。在 1 年时, 主要结果的差异仍然显著, 但在接受仅罪犯 PCI 的患者中, 因心力衰竭和重复血运重建的再住院率更高。一项事后里程碑分析显示, 仅罪犯 PCI 对 30 天内死亡的益处此后变得不显著。[54]基于研究的结果, 可以考虑是否分期完全血运重建比即刻和仅罪犯血管血运重建对于血流动力学不稳定的患者是一种更好的选择。近年来, STEMI 患者血运重建过程中实时血流动力学评估(如连续肺动脉压监测和冠脉微循环阻力指数(IMR)检测被证实可优化心源性休克患者的短期预后。[55] [56]未来需要更多研究证实在新技术下不同血运重建方式对预后的影响差异。

5.5. 斑块易损性评估

斑块易损性的精确评估对于急性心肌梗死(AMI)患者血运重建策略的选择至关重要,其直接影响即刻或分期干预时的靶血管管理方案。近年研究证实,借助腔内影像学技术可实现对易损斑块(Vulnerable Plaque, VP)特征的多维度刻画,其核心标志包括纤维帽厚度 $< 65 \mu\text{m}$ 、斑块内脂质核心 $> 40\%$ 、钙化结节及新生血管密度异常等。[57][58]最近研究表明,采用光学相干断层扫描(OCT)或血管内超声(IVUS)能显著提升易损斑块的识别准确率,较单纯冠状动脉造影具有临床决策优势,尤其对多血管病变中“罪犯级斑块旁路”风险的评估价值显著。[59][60]此外,近年来机器学习算法已在斑块形态、温度异质性或低衰减斑体积的定量分析中展现出潜力,其通过与光学组织表征结合(如 OCT 的巨噬细胞浸润特征),可优化血流剪切应力下的稳定性预判。[61]综上,综合多模态成像技术的应用正推动个体化血运重建方案的深化。

6. 结论

目前,对于完全血运重建时机的研究结论证据十分复杂,部分研究支持分期完全血运重建,但也有部分研究认为即刻完全血运重建似乎不劣于分期完全血运重建。当前仍有几项未结束的研究比较了不同血运重建时间的差异,未来会提供更多高质量的证据。对于完全血运重建的不同时机,我们不能采取“一刀切”的观念,临床医生要根据患者的身体状况及特征、病变的严重程度及复杂性、介入医生的经验,并通过心脏团队的方法,综合制定出一套适用于患者的个性化治疗方案,然而当前的相关证据仍然十分匮乏,对于老年人、合并糖尿病及心功能不全患者似乎无法从即刻完全血运重建中获益,因此需要更多高质量的研究来为临床提供循证医学的证据,以及指导临床医生做出更好的决策。

参考文献

- [1] Zhao, D., Liu, J., Wang, M., Zhang, X. and Zhou, M. (2018) Epidemiology of Cardiovascular Disease in China: Current Features and Implications. *Nature Reviews Cardiology*, **16**, 203-212. <https://doi.org/10.1038/s41569-018-0119-4>
- [2] Fukumoto, Y. (2022) Lifestyle Intervention for Primary Prevention of Cardiovascular Diseases. *European Journal of Preventive Cardiology*, **29**, 2250-2251. <https://doi.org/10.1093/eurjpc/zwac245>
- [3] Gossage, J.R. (1994) Acute Myocardial Infarction. *Chest*, **106**, 1851-1866. <https://doi.org/10.1378/chest.106.6.1851>
- [4] Ali, Z.A., Horst, J., Gaba, P., Shaw, L.J., Bangalore, S., Hochman, J.S., et al. (2021) Standardizing the Definition and Analysis Methodology for Complete Coronary Artery Revascularization. *Journal of the American Heart Association*, **10**, e020110. <https://doi.org/10.1161/jaha.120.020110>
- [5] Goldstein, J.A., Demetriou, D., Grines, C.L., Pica, M., Shoukfeh, M. and O'Neill, W.W. (2000) Multiple Complex Coronary Plaques in Patients with Acute Myocardial Infarction. *New England Journal of Medicine*, **343**, 915-922. <https://doi.org/10.1056/nejm200009283431303>
- [6] Ibanez, B., James, S., Agewall, S., et al. (2018) 2017 ESC Guidelines for the Management of Acute Myocardial Infarction in Patients Presenting with ST-Segment Elevation. *European Heart Journal*, **39**, 119-177.
- [7] Park, D., Clare, R.M., Schulte, P.J., Pieper, K.S., Shaw, L.K., Califf, R.M., et al. (2014) Extent, Location, and Clinical Significance of Non-Infarct-Related Coronary Artery Disease among Patients with ST-Elevation Myocardial Infarction. *JAMA*, **312**, 2019-2027. <https://doi.org/10.1001/jama.2014.15095>
- [8] Sorajja, P., Gersh, B.J., Cox, D.A., McLaughlin, M.G., Zimetbaum, P., Costantini, C., et al. (2007) Impact of Multivessel Disease on Reperfusion Success and Clinical Outcomes in Patients Undergoing Primary Percutaneous Coronary Intervention for Acute Myocardial Infarction. *European Heart Journal*, **28**, 1709-1716. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehm184>
- [9] Kim, D.H., Burton, J.R., Fu, Y., Lindholm, L., Van de Werf, F. and Armstrong, P.W. (2006) What Is the Frequency and Functional and Clinical Significance of Complex Lesions in Non-Infarct-Related Arteries after Fibrinolysis for Acute ST-Elevation Myocardial Infarction? *American Heart Journal*, **151**, 668-673. <https://doi.org/10.1016/j.ahj.2005.05.006>
- [10] Gershlick, A.H., Banning, A.S., Parker, E., Wang, D., Budgeon, C.A., Kelly, D.J., et al. (2019) Long-Term Follow-Up of Complete versus Lesion-Only Revascularization in STEMI and Multivessel Disease. *Journal of the American College of Cardiology*, **74**, 3083-3094. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2019.10.033>
- [11] Engström, T., Kelbæk, H., Helqvist, S., Høfsten, D.E., Kløvgaard, L., Holmvang, L., et al. (2015) Complete Revascularisation

- versus Treatment of the Culprit Lesion Only in Patients with ST-Segment Elevation Myocardial Infarction and Multivessel Disease (DANAMI-3—PRIMULTI): An Open-Label, Randomised Controlled Trial. *The Lancet*, **386**, 665-671. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(15\)60648-1](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(15)60648-1)
- [12] Lønborg, J., Engstrøm, T., Kelbæk, H., Helqvist, S., Kløvgaard, L., Holmvang, L., *et al.* (2017) Fractional Flow Reserve-Guided Complete Revascularization Improves the Prognosis in Patients with ST-Segment-Elevation Myocardial Infarction and Severe Nonculprit Disease: A DANAMI 3-PRIMULTI Substudy (Primary PCI in Patients with ST-Elevation Myocardial Infarction and Multivessel Disease: Treatment of Culprit Lesion Only or Complete Revascularization). *Circulation: Cardiovascular Interventions*, **10**, e004460. <https://doi.org/10.1161/circinterventions.116.004460>
 - [13] Smits, P.C., Abdel-Wahab, M., Neumann, F., Boxma-de Klerk, B.M., Lunde, K., Schotborgh, C.E., *et al.* (2017) Fractional Flow Reserve-Guided Multivessel Angioplasty in Myocardial Infarction. *New England Journal of Medicine*, **376**, 1234-1244. <https://doi.org/10.1056/nejmoa1701067>
 - [14] Dambrink, J., Debrauwere, J., van't Hof, A., Ottervanger, J., Gosselink, A.T., Hoorntje, J., *et al.* (2010) Non-Culprit Lesions Detected during Primary PCI: Treat Invasively or Follow the Guidelines? *EuroIntervention*, **5**, 968-975. <https://doi.org/10.4244/eijv5i8a162>
 - [15] Cubero-Gallego, H., Romaguera, R., Ariza-Sole, A., Gómez-Hospital, J.A. and Cequier, A. (2017) Revascularization Strategies in Patients with ST-Segment Elevation Myocardial Infarction and Multivessel Coronary Artery Disease: Urgent or Staged? *Cardiovascular Diagnosis and Therapy*, **7**, S82-S85. <https://doi.org/10.21037/cdt.2017.01.15>
 - [16] Marenzi, G., Assanelli, E., Campodonico, J., Lauri, G., Marana, I., De Metrio, M., *et al.* (2009) Contrast Volume during Primary Percutaneous Coronary Intervention and Subsequent Contrast-Induced Nephropathy and Mortality. *Annals of Internal Medicine*, **150**, 170-177. <https://doi.org/10.7326/0003-4819-150-3-200902030-00006>
 - [17] Bates, E.R., Tamis-Holland, J.E., Bittl, J.A., O'Gara, P.T. and Levine, G.N. (2016) PCI Strategies in Patients with ST Segment Elevation Myocardial Infarction and Multivessel Coronary Artery Disease. *Journal of the American College of Cardiology*, **68**, 1066-1081. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2016.05.086>
 - [18] Heusch, G., Kleinbongard, P., Böse, D., Levkau, B., Haude, M., Schulz, R., *et al.* (2009) Coronary Microembolization: From Bedside to Bench and Back to Bedside. *Circulation*, **120**, 1822-1836. <https://doi.org/10.1161/circulationaha.109.888784>
 - [19] Hanratty, C.G., Koyama, Y., Rasmussen, H.H., Nelson, G.I.C., Hansen, P.S. and Ward, M.R. (2002) Exaggeration of Nonculprit Stenosis Severity during Acute Myocardial Infarction: Implications for Immediate Multivessel Revascularization. *Journal of the American College of Cardiology*, **40**, 911-916. [https://doi.org/10.1016/s0735-1097\(02\)02049-1](https://doi.org/10.1016/s0735-1097(02)02049-1)
 - [20] Kim, H.Y., Lim, H., Doh, J., Nam, C., Shin, E., Koo, B., *et al.* (2016) Physiological Severity of Coronary Artery Stenosis Depends on the Amount of Myocardial Mass Subtended by the Coronary Artery. *JACC: Cardiovascular Interventions*, **9**, 1548-1560. <https://doi.org/10.1016/j.jcin.2016.04.008>
 - [21] Kaski, J., Crea, F., Gersh, B.J. and Camici, P.G. (2018) Reappraisal of Ischemic Heart Disease. *Circulation*, **138**, 1463-1480. <https://doi.org/10.1161/circulationaha.118.031373>
 - [22] Bagai, A., Thavendiranathan, P., Sharieff, W., Al Lawati, H.A. and Cheema, A.N. (2013) Non-Infarct-Related Artery Revascularization during Primary Percutaneous Coronary Intervention for ST-Segment Elevation Myocardial Infarction: A Systematic Review and Meta-Analysis. *American Heart Journal*, **166**, 684-693.e1. <https://doi.org/10.1016/j.ahj.2013.07.027>
 - [23] Hannan, E.L., Samadashvili, Z., Walford, G., Holmes, D.R., Jacobs, A.K., Stamato, N.J., *et al.* (2010) Culprit Vessel Percutaneous Coronary Intervention versus Multivessel and Staged Percutaneous Coronary Intervention for ST-Segment Elevation Myocardial Infarction Patients with Multivessel Disease. *JACC: Cardiovascular Interventions*, **3**, 22-31. <https://doi.org/10.1016/j.jcin.2009.10.017>
 - [24] Jensen, L., Thayssen, P., Farkas, D., Hougard, M., Terkelsen, C., Tilsted, H., *et al.* (2012) Culprit Only or Multivessel Percutaneous Coronary Interventions in Patients with ST-Segment Elevation Myocardial Infarction and Multivessel Disease. *EuroIntervention*, **8**, 456-464. <https://doi.org/10.4244/eijv8i4a72>
 - [25] Wald, D.S., Morris, J.K., Wald, N.J., Chase, A.J., Edwards, R.J., Hughes, L.O., *et al.* (2013) Randomized Trial of Preventive Angioplasty in Myocardial Infarction. *New England Journal of Medicine*, **369**, 1115-1123. <https://doi.org/10.1056/nejmoa1305520>
 - [26] Gershlick, A.H., Khan, J.N., Kelly, D.J., *et al.* (2015) Randomized Trial of Complete versus Lesion-Only Revascularization in Patients Undergoing Primary Percutaneous Coronary Intervention for STEMI and Multivessel Disease: The CvLPRIT Trial. *Journal of the American College of Cardiology*, **65**, 963-972.
 - [27] Politi, L., Sgura, F., Rossi, R., Monopoli, D., Guerri, E., Leuzzi, C., *et al.* (2009) A Randomised Trial of Target-Vessel versus Multi-Vessel Revascularisation in ST-Elevation Myocardial Infarction: Major Adverse Cardiac Events during Long-Term Follow-Up. *Heart*, **96**, 662-667. <https://doi.org/10.1136/hrt.2009.177162>
 - [28] Levine, G.N., Bates, E.R., Blankenship, J.C., *et al.* (2016) 2015 ACC/AHA/SCAI Focused Update on Primary Percutaneous

- Coronary Intervention for Patients With ST-Elevation Myocardial Infarction: An Update of the 2011 ACCF/AHA/SCAI Guideline for Percutaneous Coronary Intervention and the 2013 ACCF/AHA Guideline for the Management of ST-Elevation Myocardial Infarction: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Clinical Practice Guidelines and the Society for Cardiovascular Angiography and Interventions. *Circulation*, **133**, 1135-1147.
- [29] Wood, D.A., Cairns, J.A., Wang, J., *et al.* (2019) Timing of Staged Nonculprit Artery Revascularization in Patients with ST-Segment Elevation Myocardial Infarction: COMPLETE Trial. *Journal of the American College of Cardiology*, **74**, 2713-2723.
- [30] Lawton, J.S., Tamis-Holland, J.E., Bangalore, S., Bates, E.R., Beckie, T.M., Bischoff, J.M., Bittl, J.A., *et al.* (2021) 2021 ACC/AHA/SCAI Guideline for Coronary Artery Revascularization: Executive Summary: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Joint Committee on Clinical Practice Guidelines. *Circulation*, **145**, e4-e17. <https://doi.org/10.1161/CIR.0000000000001061>
- [31] Toma, M., Buller, C.E., Westerhout, C.M., Fu, Y., O'Neill, W.W., Holmes, D.R., *et al.* (2010) Non-Culprit Coronary Artery Percutaneous Coronary Intervention during Acute ST-Segment Elevation Myocardial Infarction: Insights from the APEX-AMI Trial. *European Heart Journal*, **31**, 1701-1707. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehq129>
- [32] Byrne, R.A., Rossello, X., Coughlan, J.J., *et al.* (2023) 2023 ESC Guidelines for the Management of Acute Coronary Syndromes. *European Heart Journal*, **44**, 3720-3826
- [33] Diletti, R., den Dekker, W.K., Bennett, J., Schotborgh, C.E., van der Schaaf, R., Sabaté, M., *et al.* (2023) Immediate versus Staged Complete Revascularisation in Patients Presenting with Acute Coronary Syndrome and Multivessel Coronary Disease (BIOVASC): A Prospective, Open-Label, Non-Inferiority, Randomised Trial. *The Lancet*, **401**, 1172-1182. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(23\)00351-3](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(23)00351-3)
- [34] Stähli, B.E., Varbella, F., Linke, A., Schwarz, B., Felix, S.B., Seiffert, M., *et al.* (2023) Timing of Complete Revascularization with Multivessel PCI for Myocardial Infarction. *New England Journal of Medicine*, **389**, 1368-1379. <https://doi.org/10.1056/nejmoa2307823>
- [35] Elgendy, I.Y., Mahmoud, A.N., Kumbhani, D.J., Bhatt, D.L. and Bavry, A.A. (2017) Complete or Culprit-Only Revascularization for Patients with Multivessel Coronary Artery Disease Undergoing Percutaneous Coronary Intervention: A Pairwise and Network Meta-Analysis of Randomized Trials. *JACC: Cardiovascular Interventions*, **10**, 315-324. <https://doi.org/10.1016/j.jcin.2016.11.047>
- [36] Park, S., Rha, S., Choi, B.G., Cho, J.H., Park, S.H., Lee, J.B., *et al.* (2023) Immediate versus Staged Complete Revascularization in Patients with ST-Segment Elevation Myocardial Infarction and Multivessel Coronary Artery Disease: Results from a Prematurely Discontinued Randomized Multicenter Trial. *American Heart Journal*, **259**, 58-67. <https://doi.org/10.1016/j.ahj.2023.01.020>
- [37] Kornowski, R., Mehran, R., Dangas, G., Nikolsky, E., Assali, A., Claessen, B.E., *et al.* (2011) Prognostic Impact of Staged versus "One-Time" Multivessel Percutaneous Intervention in Acute Myocardial Infarction: Analysis from the HORIZONS-AMI (Harmonizing Outcomes with Revascularization and Stents in Acute Myocardial Infarction) Trial. *Journal of the American College of Cardiology*, **58**, 704-711. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2011.02.071>
- [38] Doğan, C., Bayram, Z., Çap, M., Özkalaycı, F., Unkun, T., Erdoğan, E., *et al.* (2019) Comparison of 30-Day MACE between Immediate versus Staged Complete Revascularization in Acute Myocardial Infarction with Multivessel Disease, and the Effect of Coronary Lesion Complexity. *Medicina*, **55**, Article 51. <https://doi.org/10.3390/medicina55020051>
- [39] Tarantini, G., D'Amico, G., Brener, S.J., Tellaroli, P., Basile, M., Schiavo, A., *et al.* (2016) Survival after Varying Revascularization Strategies in Patients with ST-Segment Elevation Myocardial Infarction and Multivessel Coronary Artery Disease: A Pairwise and Network Meta-Analysis. *JACC: Cardiovascular Interventions*, **9**, 1765-1776. <https://doi.org/10.1016/j.jcin.2016.06.012>
- [40] Vlaar, P.J., Mahmoud, K.D., Holmes, D.R., van Valkenhoef, G., Hillege, H.L., van der Horst, I.C.C., *et al.* (2011) Culprit Vessel Only versus Multivessel and Staged Percutaneous Coronary Intervention for Multivessel Disease in Patients Presenting with ST-Segment Elevation Myocardial Infarction: A Pairwise and Network Meta-Analysis. *Journal of the American College of Cardiology*, **58**, 692-703. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2011.03.046>
- [41] Di Mario, C. and Rosser, G. (2015) Open Questions for Non-Infarct-Related Arteries in STEMI. *The Lancet*, **386**, 630-632. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(15\)60856-x](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(15)60856-x)
- [42] Iqbal, M.B., Nadra, I.J., Ding, L., Fung, A., Aymong, E., Chan, A.W., *et al.* (2017) Culprit Vessel versus Multivessel versus In-Hospital Staged Intervention for Patients with ST-Segment Elevation Myocardial Infarction and Multivessel Disease: Stratified Analyses in High-Risk Patient Groups and Anatomic Subsets of Nonculprit Disease. *JACC: Cardiovascular Interventions*, **10**, 11-23. <https://doi.org/10.1016/j.jcin.2016.10.024>
- [43] Wang, T.Y., Gutierrez, A. and Peterson, E.D. (2010) Percutaneous Coronary Intervention in the Elderly. *Nature Reviews Cardiology*, **8**, 79-90. <https://doi.org/10.1038/nrcardio.2010.184>
- [44] Dodson, J.A., Hochman, J.S., Roe, M.T., Chen, A.Y., Chaudhry, S.I., Katz, S., *et al.* (2018) The Association of Frailty

- with In-Hospital Bleeding among Older Adults with Acute Myocardial Infarction. *JACC: Cardiovascular Interventions*, **11**, 2287-2296. <https://doi.org/10.1016/j.jcin.2018.08.028>
- [45] Ono, M., Serruys, P.W., Hara, H., Kawashima, H., Gao, C., Wang, R., *et al.* (2021) 10-Year Follow-Up after Revascularization in Elderly Patients with Complex Coronary Artery Disease. *Journal of the American College of Cardiology*, **77**, 2761-2773. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2021.04.016>
- [46] Newman, A.B., Naydeck, B.L., Sutton-Tyrrell, K., Feldman, A., Edmundowicz, D. and Kuller, L.H. (2001) Coronary Artery Calcification in Older Adults to Age 99: Prevalence and Risk Factors. *Circulation*, **104**, 2679-2684. <https://doi.org/10.1161/hc4601.099464>
- [47] West, N.E.J., Ruygrok, P.N., Disco, C.M.C., Webster, M.W.I., Lindeboom, W.K., O'Neill, W.W., *et al.* (2004) Clinical and Angiographic Predictors of Restenosis after Stent Deployment in Diabetic Patients. *Circulation*, **109**, 867-873. <https://doi.org/10.1161/01.cir.0000116750.63158.94>
- [48] Zhou, M., Liu, J., Hao, Y., Liu, J., Huo, Y., Smith, S.C., *et al.* (2018) Prevalence and In-Hospital Outcomes of Diabetes among Patients with Acute Coronary Syndrome in China: Findings from the Improving Care for Cardiovascular Disease in China-Acute Coronary Syndrome Project. *Cardiovascular Diabetology*, **17**, Article No. 147. <https://doi.org/10.1186/s12933-018-0793-x>
- [49] Hannan, E.L., Zhong, Y., Berger, P.B., Jacobs, A.K., Walford, G., Ling, F.S.K., *et al.* (2018) Association of Coronary Vessel Characteristics with Outcome in Patients with Percutaneous Coronary Interventions with Incomplete Revascularization. *JAMA Cardiology*, **3**, 123-130. <https://doi.org/10.1001/jamacardio.2017.4787>
- [50] Brener, S.J., Witzenbichler, B., Maehara, A., Dizon, J., Fahy, M., El-Omar, M., *et al.* (2013) Infarct Size and Mortality in Patients with Proximal versus Mid Left Anterior Descending Artery Occlusion: The Intracoronary Abciximab and Aspiration Thrombectomy in Patients with Large Anterior Myocardial Infarction (INFUSE-AMI) Trial. *American Heart Journal*, **166**, 64-70. <https://doi.org/10.1016/j.ahj.2013.03.029>
- [51] Taniwaki, M., Stefanini, G.G., Räber, L., Brugaletta, S., Cequier, A., Heg, D., *et al.* (2015) Predictors of Adverse Events among Patients Undergoing Primary Percutaneous Coronary Intervention: Insights from a Pooled Analysis of the COMFORTABLE AMI and EXAMINATION Trials. *EuroIntervention*, **11**, 391-398. https://doi.org/10.4244/eijv14m07_12
- [52] Lee, W., Chen, T., Chen, C., Yang, C., Fang, C., Wu, C., *et al.* (2020) The Effect of Complete Revascularization in Patients with ST-Segment Elevation Myocardial Infarction with Killip Class $\geq$ III. *Coronary Artery Disease*, **31**, 13-19. <https://doi.org/10.1097/mca.0000000000000815>
- [53] Thiele, H., Akin, I., Sandri, M., Fuernau, G., de Waha, S., Meyer-Saraei, R., *et al.* (2017) PCI Strategies in Patients with Acute Myocardial Infarction and Cardiogenic Shock. *New England Journal of Medicine*, **377**, 2419-2432. <https://doi.org/10.1056/nejmoa1710261>
- [54] Thiele, H., Akin, I., Sandri, M., de Waha-Thiele, S., Meyer-Saraei, R., Fuernau, G., *et al.* (2018) One-Year Outcomes after PCI Strategies in Cardiogenic Shock. *New England Journal of Medicine*, **379**, 1699-1710. <https://doi.org/10.1056/nejmoa1808788>
- [55] Scarsini, R., Shanmuganathan, M., Kotronias, R.A., Terentes-Printzios, D., Borlotti, A., Langrish, J.P., *et al.* (2021) Angiography-derived Index of Microcirculatory Resistance (Imrango) as a Novel Pressure-Wire-Free Tool to Assess Coronary Microvascular Dysfunction in Acute Coronary Syndromes and Stable Coronary Artery Disease. *The International Journal of Cardiovascular Imaging*, **37**, 1801-1813. <https://doi.org/10.1007/s10554-021-02254-8>
- [56] Vaidya, K., Tucker, B., Patel, S. and Ng, M.K.C. (2021) Acute Coronary Syndromes (ACS)—Unravelling Biology to Identify New Therapies—The Microcirculation as a Frontier for New Therapies in Acs. *Cells*, **10**, Article 2188. <https://doi.org/10.3390/cells10092188>
- [57] Lee, P.H., Hong, S.J., Kim, H.S., *et al.* (2024) Quantitative Coronary Angiography vs Intravascular Ultrasonography to Guide Drug-Eluting Stent Implantation: A Randomized Clinical Trial. *JAMA Cardiology*, **9**, 428-435.
- [58] Vijayvergiya, R., Kumar, B., Sahoo, S., Budhakoty, S. and Kasinadhuni, G. (2020) Optical Coherence Tomography Imaging in Acute Myocardial Infarction: Calcified Nodule as a Culprit Lesion. *Journal of Invasive Cardiology*, **32**, E194-E195. <https://doi.org/10.25270/jic/19.00412>
- [59] Ruberti, A., Echevarría-Pinto, M. and Regueiro, A. (2024) Oct-guided versus IVUS-Guided Percutaneous Coronary Intervention in Patients with Acute Myocardial Infarction. Do We Have a Winner? *Revista Española de Cardiología (English Edition)*, **77**, 618-620. <https://doi.org/10.1016/j.rec.2024.02.002>
- [60] Li, X., Ge, Z., Kan, J., *et al.* (2024) Intravascular Ultrasound-Guided versus Angiography-Guided Percutaneous Coronary Intervention in Acute Coronary Syndromes (IVUS-ACS): A Two-Stage, Multicentre, Randomised Trial. *Lancet*, **403**, 1855-1865.
- [61] Föllmer, B., Williams, M.C., Dey, D., Arbab-Zadeh, A., Maurovich-Horvat, P., Volleberg, R.H.J.A., *et al.* (2023) Roadmap on the Use of Artificial Intelligence for Imaging of Vulnerable Atherosclerotic Plaque in Coronary Arteries. *Nature Reviews Cardiology*, **21**, 51-64. <https://doi.org/10.1038/s41569-023-00900-3>