

# 心电图对 ST 段抬高型心肌梗死患者梗死面积的预测价值

阿鑫<sup>1</sup> 张颖<sup>1</sup> 陈韵岱<sup>1</sup>

**[摘要]** 梗死面积是 ST 段抬高型心肌梗死主要不良心血管事件的独立预测指标。心脏磁共振(CMR)可全面展现梗死后心肌组织学变化特征,其晚期钆增强图像是活体检测和量化梗死面积及微血管阻塞的金标准。然而 CMR 获取成本较高,且存在禁忌证,而心电图评估梗死面积简便易行。本研究总结了目前心电图评估梗死面积的研究,为临床决策提供依据。

**[关键词]** 心脏磁共振;左室射血分数;梗死面积;Selvester QRS 评分

**DOI:**10.13201/j.issn.1001-1439.2023.10.013

**[中图分类号]** R542.2 **[文献标志码]** A

## Predictive value of electrocardiography for infarct size in patients with ST-segment elevation myocardial infarction

A Xin ZHANG Ying CHEN Yundai

(Department of Cardiology, The First Medical Center of PLA General Hospital, Beijing, 100039, China)

Corresponding author: CHEN Yundai, E-mail: cyundai@vip.163.com

**Abstract** Infarct size is an independent predictor of major adverse cardiovascular events in ST-segment elevation myocardial infarction. Cardiac magnetic resonance(CMR) can fully demonstrate the histological characteristics of myocardial infarction, and late gadolinium enhanced images are the gold standard for in vivo detection and quantification of infarct size as well as microvascular obstruction. However, the acquisition cost of CMR is high and there are contraindications. ECG is simple and easy to evaluate the infarct size. This study summarizes the current studies on ECG assessment of infarct size and provides evidence for clinical decision-making.

**Key words** cardiac magnetic resonance; left ventricular ejection fraction; infarct size; Selvester QRS Score

<sup>1</sup>解放军总医院第一医学中心心血管内科(北京,100039)

通信作者:陈韵岱,E-mail:cyundai@vip.163.com

**引用本文:**阿鑫,张颖,陈韵岱.心电图对 ST 段抬高型心肌梗死患者梗死面积的预测价值[J].临床心血管病杂志,2023,39(10):803-810. DOI:10.13201/j.issn.1001-1439.2023.10.013.

- [19] Roy PM, Penaloza A, Hugli O, et al. Triaging acute pulmonary embolism for home treatment by Hestia or simplified PESI criteria: the HOME-PE randomized trial[J]. Eur Heart J, 2021, 42(33):3146-3157.
- [20] 许令荣, 赵卉, 刘云峰, 等. CT 肺动脉栓塞指数 (PAOD) 和 PESI 评分对急性肺栓塞预后评价中的作用[J]. 临床肺科杂志, 2019, 24(6):981-984.
- [21] Arshad N, Bjøri E, Hindberg K, et al. Recurrence and mortality after first venous thromboembolism in a large population-based cohort[J]. J Thromb Haemost, 2017, 15(2):295-303.
- [22] Barco S, Mahmoudpour SH, Planquette B, et al. Prognostic value of right ventricular dysfunction or elevated cardiac biomarkers in patients with low-risk pulmonary embolism: a systematic review and meta-analysis[J]. Eur Heart J, 2019, 40(11):902-910.
- [23] Becattini C, Maraziti G, Vinson DR, et al. Right ventricle assessment in patients with pulmonary embolism at low risk for death based on clinical models: an individual patient data meta-analysis[J]. Eur Heart J, 2021, 42(33):3190-3199.
- [24] Burgos LM, Scatularo CE, Cigalini IM, et al. The addition of echocardiographic parameters to PESI risk score improves mortality prediction in patients with acute pulmonary embolism: PESI-Echo score[J]. Eur Heart J Acute Cardiovasc Care, 2021, 10(3):250-257.
- [25] Pruszczyk P, Skowrońska M, Czurzyński M, et al. Assessment of pulmonary embolism severity and the risk of early death[J]. Pol Arch Intern Med, 2021, 131(12):16134.
- [26] Leidi A, Bex S, Righini M, et al. Risk stratification in patients with acute pulmonary embolism: current evidence and perspectives[J]. J Clin Med, 2022, 11(9):2533.
- [27] 林苏杰, 郝月琴, 王芳, 等. 64 例肺栓塞患者临床诊治分析[J]. 临床急诊杂志, 2020, 21(8):619-622.

(收稿日期:2023-05-25)

根据 2020 年中国心血管健康报告,中国的心血管患病率仍在升高,2018 年,心血管死亡率高于肿瘤及其他疾病,仍居首位<sup>[1]</sup>。急性 ST 段抬高型心肌梗死(ST-segment elevation myocardial infarction,STEMI)作为心血管疾病中的危重急症,其发病及治疗、管理一直是关注的重点。STEMI 患者的治疗中,急诊血运重建,包括经皮冠状动脉(冠脉)支架置入术或冠脉旁路移植术,及时有效恢复心外膜血管的血流,挽救缺血心肌是治疗的主要目标<sup>[2]</sup>。罪犯血管的阻塞会导致对应的冠脉供血中央区出现坏死,周围心肌的病理变化为缺血、水肿,这部分周围可逆性的心肌损伤,通过及时有效的再灌注治疗和心肌保护的药物治疗,能恢复成正常心肌。因此,评估梗死面积以及心肌活力的监测,具有重要价值。STEMI 患者中,较大的梗死面积与较高的心血管不良结局发生有关,如死亡<sup>[3]</sup>、再发心肌梗死<sup>[4]</sup>、心力衰竭(心衰)<sup>[5]</sup>等。此外,研究表明,心肌梗死面积可以预测心脏骤停事件的发生,除左室射血分数外,梗死面积提供了额外的预测价值,更有助于早期危险分层<sup>[6-7]</sup>。此外,梗死面积也可以作为心肌梗死患者出院时,定制短期以及长期心脏康复及二级预防的重要参考<sup>[8]</sup>。

心脏磁共振(cardiac magnetic resonance, CMR)能动态监测心肌活力的变化,梗死后相关参

数的测量,如通过 T2 水肿成像和钆延迟成像技术(late gadolinium enhancement, LGE)CMR 来评估和量化相对危险区以及梗死面积,以及心肌挽救指数等,具有重要的预后价值<sup>[9]</sup>。已有大量研究表明梗死面积、微血管梗阻等与预后密切相关,二者均是主要心血管不良事件(major adverse cardiac event, MACE)独立的危险因素<sup>[10-12]</sup>。LGE-CMR 能有良好的空间分辨率,梗死面积的测量变得更加准确。然而,由于 CMR 的成本较高,且部分患者因肾功能不全、幽闭恐惧症和起搏器植入等原因不能接受检查,导致了 CMR 无法在下级医疗中心,以及心肌梗死患者随访评估中广泛使用。与之相反,心电图检查是快捷且低成本检查,属于临床常规检查项目,易于广泛开展。根据以往的研究,在心肌梗死方面的应用,心电图能提供的信息不仅局限于疾病诊断,对于心肌梗死预后评估及指导治疗方面的价值也越来越受到广泛的重视。目前心电图在心肌梗死预后监测方面的价值,主要聚焦于心电图评估梗死面积,已发展出一系列评分系统,用于评估梗死的程度及相对缺血区域,如表 1。目前的评分体系主要分为两类:以 QRS 波异常监测为主的评分体系和以 ST 段推算法为主的评分体系。见表 1。

表 1 AMI 梗死面积的评分系统  
Table 1 Scoring system of size in AMI

研究人群来源	样本量/例	评分系统及主要发现	梗死面积测量(金标准)
杜克大学医学中心	349(正常人)+ 50(AMI 患者)	基于 12 导联心电图的初始 Selvester QRS 评分(52 项标准 32 分)改良为 37 项标准 29 分制的简易 Selvester QRS 评分系统 <sup>[20-21]</sup> 。	活检
急性心肌梗死-乙酰半胱氨酸临床研究(NACIAM)(澳大利亚)	60	Aldrich 评分 <sup>[28]</sup> :前壁梗死: $3 \times [1.5(\text{ST} \uparrow \text{的导联数}) - 0.4]$ ;下壁梗死: $3 \times [0.6(\sum \text{ST} \uparrow \text{II, III, aVF}) + 2.0]$ Wilkins 评分 <sup>[29]</sup> :前壁梗死: $1.88 \times (\text{ST} \uparrow \text{的导联数}) + 2.19 \times (\text{异常 Q 波的导联数}) + 1.56 \times (\text{高 T 波的导联数}) + 5.80$ ;下壁梗死: $0.94 \times (\sum \text{ST} \uparrow) + 1.13 \times (\sum \text{Excess Q}) + 8.73$ <sup>[30]</sup>	心脏磁共振(LGE-CMR)
来自 DETERMINE 研究和 PRE-DETERMINE 研究的 66 个医学中心(美国)	551	DETERMINE 评分 = $[\text{有 Q 的导联数} \times 2] + [\text{FQRS 的导联数}] + [\text{TWI 的导联数}]$ <sup>[22]</sup> 。	心脏磁共振(LGE-CMR)

## 1 心肌核素显像及 CMR:梗死面积的评估

心肌灌注显像(myocardial perfusion imaging, MPI)可评估心肌梗死后冠脉的灌注及心肌细胞功能状态等病理生理学变化。目前最常使用的 MPI 技术为单光子发射计算机断层显像(single-photon emission computed tomography, SPECT)。SPECT 使用放射性示踪剂如锝 99m(<sup>99m</sup>Tc),通过核素分布的异常情况以及心肌断层显像的图像后处理可判断心肌梗死面积及部位。该方法评估下

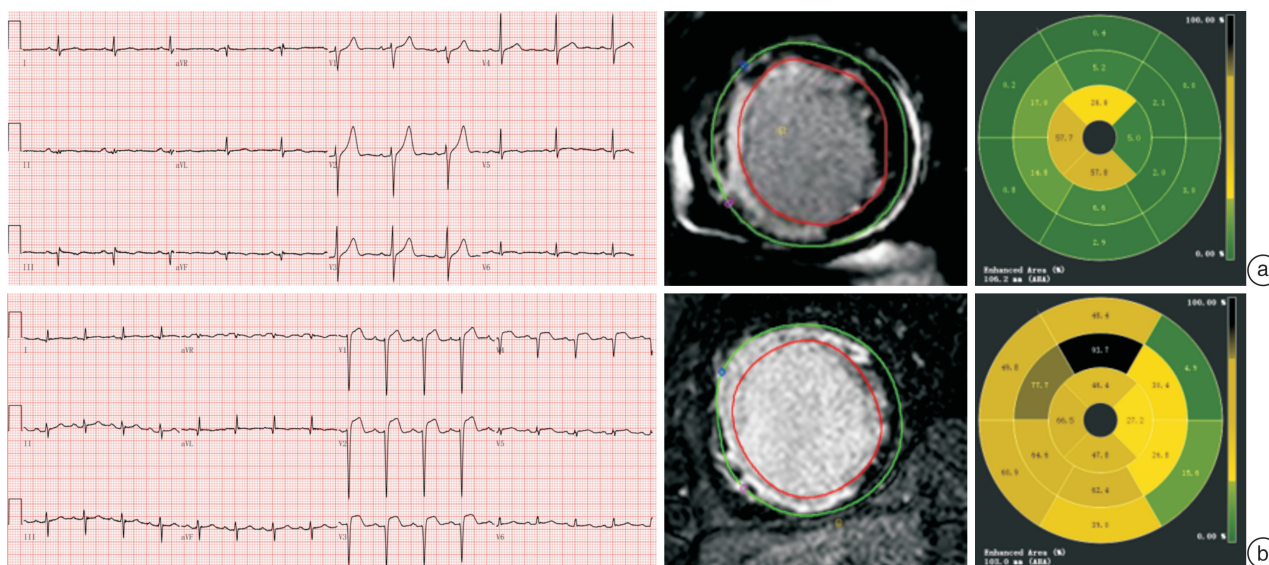
壁的梗死面积受膈肌影响,准确性较低<sup>[13]</sup>。相较于核素显像,CMR 具有较高的时间与空间分辨率,能识别微小梗死灶,检测心内膜下心肌梗死更为敏感,且没有辐射和可重复性较高等优势<sup>[14]</sup>。近年来各项临床研究也更多采用 CMR 评估再灌注治疗后心肌组织与心功能的变化。基于 T1 加权成像的 LGE-CMR 是活体评估梗死面积最为准确的方法,具有较高的准确性和可重复性。LGE-CMR 基于钆对比剂的螯合物在受损心肌与正常心肌的

清除速率不同;造影剂在损伤心肌的留存时间长于正常心肌,在 T1 加权成像中表现为局部的高信号。CMR 在各项临床实验中的应用越来越广泛,然而各实验 CMR 执行流程标准不一致,且缺血再灌注损伤后,不可逆性的心肌损伤是动态变化的,统一梗死面积的测量时间是非常必要的。2019 年 CMR 流程标准的专家共识对 CMR 的扫描时间、临床终点的选择等流程做出了规范;推荐心肌梗死后 3~7 d 的 CMR 检查作为基线,这一时间段测量的 CMR 参数都相对稳定<sup>[15]</sup>。因此急性期心肌梗死面积应以 PCI 术后 1 周内的 CMR 测量的梗死面积为对照,探究梗死面积估测的替代方案。

## 2 QRS 评分系统与梗死面积

QRS 计分法中, Selvester 等通过计算机模拟首次提出了基于 12 导联心电图的梗死面积估测方法<sup>[16]</sup>,经过不断改良,改进的简化 Selvester QRS 评分是目前应用最广泛的梗死面积评分<sup>[17]</sup>。简化 Selvester QRS 评分基于 10 个导联的 37 条标准 29 分,评估 Q 波和 R 波的振幅和波长以及其比值,与原始的 Selvester QRS 评分相比有以下优势:①删减了部分定性标准如 slur 或 notch 等难以统一临床标准的指标,增加了评估的可重复性;②通过每条标准的逐条评估,筛选出来的评分标准与梗死面积有更好的相关性。一项基于体外活检的研究表明, Selvester QRS 评分可以较好地反映急性心肌梗死(acute myocardial infarction, AMI)患者左心室前 1/3 的梗死<sup>[17]</sup>。不同的梗死部位, Selvester QRS 评分的特异度和灵敏度存在一定差异:以往的研究表明,该评分能较好反映前壁梗死的面积( $r = -0.83$ ),其次为下壁梗死( $r = -0.64$ )<sup>[18]</sup>。

Anderson 等<sup>[19]</sup>追踪了 82 例下壁梗死患者发作后 3 d 的 QRS 波群变化,第 2 天与第 3 天的 QRS 评分变化较大,总体上随时间变化总体分数呈增加趋势。下壁梗死得出的 QRS 评分基于时间的变异较大,这可能是导致该评分系统对下壁梗死估计不准确的一个重要因素。目前,除了传统的 Selvester QRS 评分<sup>[20]</sup>、简化 Selvester QRS 评分<sup>[21]</sup>,有研究提出了更为简化的评分系统<sup>[22]</sup>: Determine 评分。该评分系统通过统计 Q 波、碎裂 QRS 波与 T 波倒置的导联数,计算最终的分数( $r^2 = 0.18, P < 0.001$ ),接近左室射血分数(left ventricular ejection fraction, LVEF)( $r^2 = 0.22, P < 0.001$ )。然而目前的几个评分系统与梗死面积的一致性高低结论不一致,且存在几点不足:①尽管现有的心电图机软件能自动测算 QRS 振幅与波幅长度,仍需要人为导出,手工计算繁琐;②目前的 QRS 计分法的研究多基于首次 Q 波心肌梗死的患者,对陈旧性梗死以及干扰 QRS 计分的心电图异常如束支阻滞、心室肥厚等,需要更多的基于真实世界的研究来进一步调整与改进,以扩大适用人群。崔永春等<sup>[23]</sup>用糖尿病小型猪验证了 QRS 评分系统估测心肌梗死面积的准确性,结果与病理染色获得的梗死面积相关性良好( $r = 0.92, P < 0.05$ ),且糖尿病组的梗死面积大于对照组[( $29.2 \pm 5.1$ )% vs ( $15.3 \pm 3.4$ )%,  $P < 0.05$ ],这个差异也反应在 QRS 评分系统( $6.9 \pm 2.4$  vs  $4.1 \pm 1.8, P < 0.05$ ),为心电图定量评价梗死面积提供了进一步的证据。图 1 展示了 Selvester 评分与心电图常见异常标记物与梗死面积的关系示例。见图 1。



a: 患者为前降支病变;心电图评估 Selvester 评分:5;病理性 Q 波的数量:0;碎裂 QRS 波的数量:0;T 波倒置的数量:0;梗死面积:29% LV mass。b: 患者为前降支病变;心电图评估 Selvester 评分:10;病理性 Q 波的数量:2;碎裂 QRS 波的数量:2;T 波倒置的数量:0;梗死面积:62% LV mass。

图 1 心电图的 Selvester 评分及异常标记与梗死面积  
Figure 1 Selvester score, abnormal markers and infarct size of ECG

总的来说, Selvester QRS 评分可用于评估心肌梗死面积的大小和左室的收缩功能。QRS 评分自动算法的开发克服了人工测算的困难和繁琐, 且该自动测算的 QRS 评分及其与心肌瘢痕程度的关联性也通过影像学金标准进行了前瞻性验证, 更加适用于临床<sup>[24-25]</sup>。心电图估计心肌瘢痕的相关评分, 以简单、无创的方式, 提供了心肌梗死预后的重要信息。目前 CMR-LGE 被广泛认为是量化梗死面积的指标, 但目前国内缺乏基于心电图的相关研究, 依托于影像学检查的印证和人工智能的测算, 对传统的 QRS 评分进一步的调整或开发出更敏感特异的评分体系是未来研究的重点。近年来的研究报道了一项新兴技术——信号平均心电图 (signal averaged electrocardiogram, SA 心电图) 在心肌梗死患者的预后评估中的应用。通过计算机后处理对 12 导联心电图波形平均化, 有助于识别 QRS 波群终末部位的低振幅信号。这些低振幅信号又称为心室晚电位 (late potential, LP), 表示心室延迟激动, 在 AMI 患者中, 有助于识别突发性心脏骤停高风险的患者<sup>[26]</sup>。此外, SA 心电图 P 波时限的延长 (心房晚电位), 可以提示心房颤动 (房颤) 风险的增加。Banks 等<sup>[27]</sup>发现, SA 心电图来源的 QRS 时限 (fQRSd)、LP 与左室心肌质量相关性高于 12 导联来源的 QRS 时限 ( $P < 0.001$ )。

### 3 ST 段推算法

Aldrich 等<sup>[28]</sup>基于入院心电图 (血管再通前), 使用 ST 段的偏移来预测梗死面积, 与出院时的 Selvester 评分做参照, 提出了 Aldrich 评分, 二者一致性较高, 相关性为  $r = 0.72$  (前壁)、 $r = 0.61$  (下壁)。此外, Wilkins<sup>[29]</sup>针对依据 ST 段抬高预测梗死面积进行改进, 提出了更准确的预测公式, 并根据梗死部位: 前壁梗死与下壁梗死, 分别采取不同的计算方法。值得注意的是, Aldrich 评分的提出是基于单中心的研究, 而 Wilkin 评分是基于多个国家多中心心肌梗死患者的心电图, 这也解释了后续研究 Wilkin 评分表现优于 Aldrich 评分, 但这两个评分系统的提出, 均没有与影像学的测量梗死面积进行比对, 而是参照了 Selvester QRS 评分这一间接反映梗死面积的指标, 其准确性有限。其次, 这两项研究均采用入院心电图, 未考虑再血管化后缺血再灌注损伤对心肌细胞的二次损伤, 其预后价值还需要进一步的评估。

近期的一项研究使用梗死 1 周左右的 CMR 测量的梗死面积为参照<sup>[30]</sup>, 首次综合验证了 Aldrich 和 Wilkins 评分与危险心肌区域的一致性。研究者进一步比较了心电图几个评分系统与 CMR 检查常见参数的一致性, 如梗死面积 (IS)、危险区域 (area at risk, AAR) 和心肌挽救指数 ( $(AAR-IS)/AAR \times 100\%$ )。其中对于 AAR 的

评估, Wilkins 评分的相关性 ( $r = 0.72, P < 0.001$ ) 较 Aldrich 评分高 ( $r = 0.54, P < 0.001$ ), 但 Aldrich 评分与 Wilkins 评分均低估了 AAR。Selvester 评分估计的梗死面积一致性 ( $r = 0.77, P < 0.001$ ) 较好, 同以往研究结果一致。综上所述, 基于 ST 段计分法预测的梗死面积, Wilkins 评分的准确性和适用范围高于 Aldrich 评分, 二者准确度低于 Selvester 评分。ST 段的变化具有局限性, 本质上仅被认为反映缺血的一项指标, 无法反映随梗死进展的其他心电图变化的动态性质与演变<sup>[29]</sup>。

在 STEMI 中, 心电图动态监测可见的第 1 个标志是 T 波波幅增大, 随后出现 ST 段抬高, 数小时或数天后, 可见反映不可逆性心肌损伤的病理性 Q 波<sup>[31]</sup>。Aldrich 评分对缺血心肌预测准确性低于 Wilkins 评分。基于 ST 段推算法的评分系统, 随时间的变异性大, 对缺血心肌的检测较 QRS 评分敏感, 比较适用于急性期的评估与监测, 例如, 在不能及时进行 PCI 的农村或偏远地区, 尤其是存在溶栓治疗相对禁忌证的情况下, Wilkins 评分可能有助于指导临床医生在给予溶栓药物之前做出合理的决策。但对于长期预后和干预的检测, 建议以 QRS 评分为参照。已有研究验证了基于 MADIT 临床研究中, 心脏同步化治疗反应性评分中纳入了 QRS 宽度这一标准, 说明 QRS 波形态对于预测恶性心律失常和临床预后指导的重要性<sup>[32]</sup>。

### 4 心电图标记物与心肌瘢痕

一系列研究表明, 许多特定的心电图标志物与心肌梗死后患者的梗死大小有关。据报道, PCI 术后心电图出现 ST 段抬高、出现病理性 Q 波的导联数等异常心电图标记, 与梗死面积大小、透壁性梗死的范围和微血管阻塞有关<sup>[33]</sup>。心电图中出现病理性 Q 波是公认的陈旧性心肌梗死重要标记物。近年来, 随着 AMI 患者临床管理路径的不断优化, Q 波型心肌梗死的发生率从 67% 降到 38%, 而非 Q 波心肌梗死的发病率呈逐年增加的趋势<sup>[34-35]</sup>。发现更敏感的, 反映心肌瘢痕大小的心电图标记物, 对于非 Q 波型心肌梗死的管理和监测具有重要的预后价值。QRS 波的终末形变与梗死面积、微血管阻塞等心肌损伤显著相关, 入院心电图存在 QRS 波的终末形变的患者梗死面积与可挽救心肌大于没有 QRS 波的终末形变的患者 (梗死面积:  $P = 0.01$ ; 可挽救心肌:  $P = 0.01$ )。此外, 出现 QRS 波的终末形变的患者发生 MACE 风险增高<sup>[36]</sup>。碎裂化 QRS 波 (fragmented QRS, fQRS) 的出现与心肌瘢痕: 透壁心肌瘢痕和非透壁型均密切相关, 推测其背后可能的病理生理学机制: 瘢痕组织导致心肌细胞除极延迟或不完全, 甚至改变除极方向, 在心电图上表现为 fQRS。研究发现, fQRS 诊断心

肌瘢痕的灵敏度和阴性预测值均高于病理性 Q 波<sup>[37-38]</sup>。因此在大规模筛查中,关注 fQRS 可能更有意义。对 fQRS 不同的形态进行了详细的描述并用心肌核素显像进行验证,表明与 Q 波相比, fQRS 能提高既往 MI 的检测效能<sup>[37]</sup>。有研究表明, fQRS 是反映局部心室收缩功能障碍运动的标志, fQRS 与脑钠肽前体 (NT-proBNP) 和 LVEF 显著相关,可用于预测 STEMI 患者的左心室功能<sup>[39]</sup>。图 2 总结了几种常见的 fQRS 波的形态。

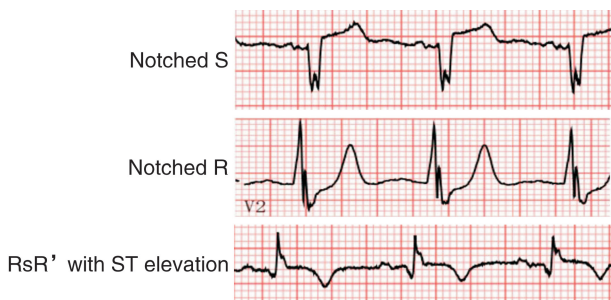


图 2 心电图中的不同 fQRS 的常见形态  
Figure 2 Common morphology of different fQRS in ECG

R 波再生不良与心肌瘢痕的大小有关,一项来自日本的研究发现随访期间的残余 R 波能较好地反映心肌梗死患者接受冠脉介入治疗后心肌梗死的大小( $r = -0.56, P < 0.001$ )和左心室收缩功能

(LVEF,  $r = 0.45, P < 0.001$ ),但该研究样本量较小(53 例),且仅局限于前壁梗死的患者,需要更多的研究验证 R 波再生不良对心肌梗死患者的预后价值<sup>[40-41]</sup>。

### 5 心电图与左室功能

LVEF 对心脏运动功能的评估,在心肌梗死患者的评估和管理中提供重要的预后信息和指导治疗决策。目前指南建议 AMI 患者在出院前和 6~12 个月后分别评估 LVEF,以指导植入型心律转复除颤器(implant cardioverter defibrillator, ICD)等医疗干预措施<sup>[42]</sup>。心肌梗死后心电图可提供左室功能间接定量信息,已有一系列的研究评估 QRS 评分系统与 LVEF 的相关性(见表 2)。QRS 评分评估 LVEF 的结果虽然存在一定的差异,但总体一致性较好; $r > 0.7$ 。但 Weir 等<sup>[43]</sup> CMR 测量的 LVEF 做验证( $r = 0.37 \sim 0.51; P < 0.05$ ),此研究与 DETERMINE 评分中的结果一致,DETERMINE 评分与 LVEF 的相关性( $r = 0.47$ )、与梗死面积的相关性( $r = 0.42$ )均较差<sup>[22]</sup>。除心肌梗死的患者,研究表明 Selvester QRS 评分也可用于评价心肌炎并发的左室功能障碍(AUC=0.84,  $P < 0.001$ )<sup>[44]</sup>。心电图评分系统评估 LVEF 的一致性差异可能与 LVEF 的测量方式有关:传统的测量方法如超声检查可能高估 LVEF,且观察者间偏倚较大。目前认为 CMR 是更为准确的测量方法,因此,需要更多相关研究来印证该评分系统心脏运动功能的价值。

表 2 QRS 评分系统与 LVEF  
Table 2 QRS scoring system and LVEF

公式	样本量/例	LVEF 的测量
$LVEF(\%) = 60 - (3 \times \text{QRS 评分}) (r = -0.88, P < 0.001)^{[45]}$	55	心肌核素
$LVEF(\%) = 66 - (3.3 \times \text{QRS 评分}) (r = -0.81, P < 0.001)^{[18]}$	181	经胸超声
$LVEF(\%) = -2.16 \times \text{QRS 评分} + 59.5 (r = -0.71, P < 0.001)^{[46]}$	32	平衡门电路法心血池显像
$LVEF(\%) = 61 - (1.7 \times \text{QRS 评分}) (r = 0.37 \sim 0.51, P < 0.05)^{[43]}$	34	CMR

近年的研究表明, QRS-T 夹角与 QRS 时限与左室功能密切相关<sup>[47]</sup>。QRS-T 夹角包括了平面夹角与空间夹角两类,在反映心室复极与预后评估上具有相同的重要价值<sup>[48]</sup>。但平面 QRS-T 夹角测量更为简便,在研究中应用更为广泛。在射血分数保留的患者中, QRS-T 夹角增加与 NT-proBNP、左室重构相关( $P < 0.05$ )<sup>[49]</sup>。此外,基于心电图的人工智能(artificial intelligence, AI)辅助诊断因呼吸困难入院患者射血分数低于 35% 的患者,其 AUC 高于 NT-proBNP (AI-心电图: AUC: 0.89; NT-proBNP: AUC: 0.80, DeLong 检验:  $P < 0.05$ )<sup>[50]</sup>。

### 6 机器学习与心电图

机器学习的相关算法,可以综合分析心电信息,为提高梗死面积的预测准确性提供了方法学基础。目前 AI 在心电图方面的运用多为一般人群的预后评估或疾病诊断。根据以往的研究<sup>[51]</sup>,使用深度学习的方法分析静息心电图能显著增加预后价值,发现医生判定为正常的心电图的预后不良人群心电图特征;其中基于深度神经网络模型的方法对 1 年死亡率的预测准确性(AUC=0.88)高于心内科医生(AUC=0.85)。在使用临床上相对易获得和测量的指标,预测难以获取或获取成本较高的指标方面,机器学习的算法展现除了巨大的优势,显

著提高了预测的准确性。目前的评分系统均需要人为的计算,如:Determine评分中fQRS识别,Selvester评分的多个指标计算等,增加工作负担与人为误差。使用机器学习的算法,可直接对初始心电图信息处理,获得的预测模型能较以往的自动测算QRS评分灵敏度和特异度更高,此外该算法无需人为观察测量,更为有效且快捷的优化临床诊疗流程。此外机器学习还可以通过对心电信号的二次处理,提高预测的准确性。通过对12导联心电图数字信号进行连续波形变换,合成的能量波形心电图能更为准确地识别左室功能异常,尤其是舒张功能<sup>[52-53]</sup>。能量波形心电图能预测 $e'$ ( $R^2 = 0.57$ ),准确地识别左室舒张功能异常的患者(AUC = 0.83)<sup>[54]</sup>。

除了提高预测准确性及实现自动化测算,AI在处理大数据时,通过特征筛选、降维,能帮助发现新的心电标记物。在一项AI提取心电图标记物辅助诊断急性冠脉综合征的研究中,使用随机森林模型识别心肌缺血的心电图标记能显著提升预测准确性。反映电离散度的指标、心室激活时间(即跨膜传导延迟)、心电图波形的主成分分析比率(即区域异质性)、QRS和T轴和角度(即整体重构)在提高再分类性能中发挥了重要作用<sup>[55]</sup>。

## 7 小结

本文回顾了近年来基于心电图相关参数预测心肌梗死患者梗死面积的研究,与SPECT及CMR等成像技术相比,心电图仪器轻便,可在床旁评估AMI患者的梗死面积,结果即时且费用低,对于重症患者意义重大。基于心脏活检提出的Selvester QRS计分法是目前估测梗死面积较为准确的方法,但其对左心心脏功能的评估价值仍存在较大争议。然而,目前的评估方法计算繁杂且准确度较低,依托于影像学检查的印证和AI算法,对既往的评分模型进一步的调整或提出更敏感特异的评分体系是未来研究的方向。

**利益冲突** 所有作者均声明不存在利益冲突

## 参考文献

- [1] 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):1005-1009.
- [2] Ibanez B, James S, Agewall S, et al. 2017 ESC Guidelines for the management of acute myocardial infarction in patients presenting with ST-segment elevation: The Task Force for the management of acute myocardial infarction in patients presenting with ST-segment elevation of the European Society of Cardiology(ESC)[J]. Eur Heart J, 2018, 39(2):119-177.
- [3] Miller TD, Christian TF, Hopfenspirger MR, et al. Infarct size after acute myocardial infarction measured by quantitative tomographic 99mTc sestamibi imaging predicts subsequent mortality[J]. Circulation, 1995, 92(3):334-341.
- [4] Zhang SR, Li RX, Jiao YD, et al. The prognostic value of myocardial infarct size measured by cardiovascular magnetic resonance in patients with acute ST-segment elevation myocardial infarction[J]. Zhonghua Nei Ke Za Zhi, 2021, 60(8):751-756.
- [5] Stone GW, Selker HP, Thiele H, et al. Relationship Between Infarct Size and Outcomes Following Primary PCI: Patient-Level Analysis From 10 Randomized Trials[J]. J Am Coll Cardiol, 2016, 67(14):1674-1683.
- [6] Bello D, Fieno DS, Kim RJ, et al. Infarct morphology identifies patients with substrate for sustained ventricular tachycardia[J]. J Am Coll Cardiol, 2005, 45(7):1104-1108.
- [7] Scott PA, Morgan JM, Carroll N, et al. The extent of left ventricular scar quantified by late gadolinium enhancement MRI is associated with spontaneous ventricular arrhythmias in patients with coronary artery disease and implantable cardioverter-defibrillators[J]. Circ Arrhythm Electrophysiol, 2011, 4(3):324-330.
- [8] Balady GJ, Ades PA, Bittner VA, et al. Referral, enrollment, and delivery of cardiac rehabilitation/secondary prevention programs at clinical centers and beyond: a presidential advisory from the American Heart Association[J]. Circulation, 2011, 124(25):2951-2960.
- [9] Symons R, Pontone G, Schwitter J, et al. Long-Term Incremental Prognostic Value of Cardiovascular Magnetic Resonance After ST-Segment Elevation Myocardial Infarction: A Study of the Collaborative Registry on CMR in STEMI[J]. JACC Cardiovasc Imaging, 2018, 11(6):813-825.
- [10] Schmidt A, Azevedo CF, Cheng A, et al. Infarct tissue heterogeneity by magnetic resonance imaging identifies enhanced cardiac arrhythmia susceptibility in patients with left ventricular dysfunction[J]. Circulation, 2007, 115(15):2006-2014.
- [11] Taylor AJ, Al-Saadi N, Abdel-Aty H, et al. Detection of acutely impaired microvascular reperfusion after infarct angioplasty with magnetic resonance imaging[J]. Circulation, 2004, 109(17):2080-2085.
- [12] Hamirani YS, Wong A, Kramer CM, et al. Effect of microvascular obstruction and intramyocardial hemorrhage by CMR on LV remodeling and outcomes after myocardial infarction: a systematic review and meta-analysis[J]. JACC Cardiovasc Imaging, 2014, 7(9):940-952.
- [13] Gibbons RJ, Miller TD, Christian TF. Infarct size measured by single photon emission computed tomographic imaging with(99 m)Tc-sestamibi: A measure of the efficacy of therapy in acute myocardial infarction[J]. Circulation, 2000, 101(1):101-108.

- [14] Wagner A, Mahrholdt H, Holly TA, et al. Contrast-enhanced MRI and routine single photon emission computed tomography(SPECT) perfusion imaging for detection of subendocardial myocardial infarcts: an imaging study[J]. *Lancet*, 2003, 361(9355): 374-379.
- [15] Ibanez B, Aletras AH, Arai AE, et al. Cardiac MRI Endpoints in Myocardial Infarction Experimental and Clinical Trials; JACC Scientific Expert Panel[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2019, 74(2): 238-256.
- [16] Selvester RH, Wagner GS, Hindman NB. The Selvester QRS scoring system for estimating myocardial infarct size. The development and application of the system[J]. *Arch Intern Med*, 1985, 145(10): 1877-1881.
- [17] Bounous EP Jr, Califf RM, Harrell FE Jr, et al. Prognostic value of the simplified Selvester QRS score in patients with coronary artery disease[J]. *J Am Coll Cardiol*, 1988, 11(1): 35-41.
- [18] Roubin GS, Shen WF, Kelly DT, et al. The QRS scoring system for estimating myocardial infarct size: clinical, angiographic and prognostic correlations[J]. *J Am Coll Cardiol*, 1983, 2(1): 38-44.
- [19] Anderson CI, Harrison DG, Stack NC, et al. Evaluation of serial QRS changes during acute inferior myocardial infarction using a QRS scoring system[J]. *Am J Cardiol*, 1983, 52(3): 252-256.
- [20] Selvester RH, Rubin HB. Quantitation of myocardial infarct size and location by electrocardiogram and vectorcardiogram[J]. *Cardiology*, 1971, 8: 111.
- [21] Wagner GS, Freye CJ, Palmeri ST, et al. Evaluation of a QRS scoring system for estimating myocardial infarct size. I. Specificity and observer agreement[J]. *Circulation*, 1982, 65(2): 342-347. doi: 10.1161/01.cir.65.2.342.
- [22] Lee DC, Albert CM, Narula D, et al. Estimating Myocardial Infarction Size With a Simple Electrocardiographic Marker Score[J]. *J Am Heart Assoc*, 2020, 9(3): e014205.
- [23] 崔永春, 田忠, 唐跃, 等. 心电图计分法定量评价糖尿病小型猪心肌梗死面积[J]. *中国比较医学杂志*, 2013, 23(6): 39-69.
- [24] Badertscher P, Strebel I, Honegger U, et al. Automatically computed ECG algorithm for the quantification of myocardial scar and the prediction of mortality[J]. *Clin Res Cardiol*, 2018, 107(9): 824-835.
- [25] Xia X, Wieslander B, Strauss DG, et al. Automatic QRS Selvester scoring system in patients with left bundle branch block[J]. *Europace*, 2016, 18(2): 308-314.
- [26] Waks JW, Buxton AE. Risk Stratification for Sudden Cardiac Death After Myocardial Infarction[J]. *Annu Rev Med*, 2018, 69: 147-164.
- [27] Banks L, Al-Mousawy S, Altaba MA, et al. Cardiac remodeling in middle-aged endurance athletes: relation between signal-averaged electrocardiogram and LV mass[J]. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*, 2021, 320(1): H316-H322.
- [28] Aldrich HR, Wagner NB, Boswick J, et al. Use of initial ST-segment deviation for prediction of final electrocardiographic size of acute myocardial infarcts[J]. *Am J Cardiol*, 1988, 61(10): 749-753.
- [29] Wilkins ML, Maynard C, Annex BH, et al. Admission prediction of expected final myocardial infarct size using weighted ST-segment, Q wave, and T wave measurements[J]. *J Electrocardiol*, 1997, 30(1): 1-7.
- [30] Du YT, Pasupathy S, Air T, et al. Validation of contemporary electrocardiographic indices of area at risk and infarct size in acute ST elevation myocardial infarction(STEMI)[J]. *Int J Cardiol*, 2020, 303: 1-7.
- [31] Smith FM. The ligation of coronary arteries with electrocardiographic study. 1918 [J]. *Ann Noninvasive Electrocardiol*, 2004, 9(1): 80-93.
- [32] Younis A, Goldenberg M, Kutuyifa V, et al. Applicability of the MADIT-CRT Response Score for Prediction of Long-Term Clinical and Arrhythmic Events by QRS Morphology[J]. *Circ Arrhythm Electrophysiol*, 2020, 13(9): e008499.
- [33] Nijveldt R, van der Vleuten PA, Hirsch A, et al. Early electrocardiographic findings and MR imaging-verified microvascular injury and myocardial infarct size[J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2009, 2(10): 1187-1194.
- [34] Yasuda M, Iida H, Itagane H, et al. Significance of Q wave disappearance in the chronic phase following transmural acute myocardial infarction[J]. *Jpn Circ J*, 1990, 54(12): 1517-1524.
- [35] Yang H, Pu M, Rodriguez D, et al. Ischemic and viable myocardium in patients with non-Q-wave or Q-wave myocardial infarction and left ventricular dysfunction: a clinical study using positron emission tomography, echocardiography, and electrocardiography[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2004, 43(4): 592-598.
- [36] Rommel KP, Badarnih H, Desch S, et al. QRS complex distortion (Grade 3 ischaemia) as a predictor of myocardial damage assessed by cardiac magnetic resonance imaging and clinical prognosis in patients with ST-elevation myocardial infarction [J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2016, 17(2): 194-202.
- [37] Das MK, Khan B, Jacob S, et al. Significance of a fragmented QRS complex versus a Q wave in patients with coronary artery disease[J]. *Circulation*, 2006, 113(21): 2495-2501.
- [38] Dabbagh Kakhki VR, Ayati N, Zakavi SR, et al. Comparison between fragmented QRS and Q waves in myocardial scar detection using myocardial perfusion single photon emission computed tomography[J]. *Kardiologia Pol*, 2015, 73(6): 437-444.
- [39] Zhao Q, Zhang R, Hou J, et al. Relationship between Fragmented QRS and NT-proBNP in Patients with ST Elevation Myocardial Infarction Who Underwent

- Primary Percutaneous Coronary Intervention[J]. *Acta Cardiol Sin*, 2018, 34(1): 13-22.
- [40] DePace NL, Colby J, Hakki AH, et al. Poor R wave progression in the precordial leads: clinical implications for the diagnosis of myocardial infarction[J]. *J Am Coll Cardiol*, 1983, 2(6): 1073-1079.
- [41] Kurisu S, Iwasaki T, Watanabe N, et al. Poor R-wave progression and myocardial infarct size after anterior myocardial infarction in the coronary intervention era[J]. *Int J Cardiol Heart Vasc*, 2015, 7: 106-109.
- [42] Al-Khatib SM, Stevenson WG, Ackerman MJ, et al. 2017 AHA/ACC/HRS Guideline for Management of Patients With Ventricular Arrhythmias and the Prevention of Sudden Cardiac Death: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Clinical Practice Guidelines and the Heart Rhythm Society[J]. *Circulation*, 2018, 138(13): e272-e391.
- [43] Weir RA, Martin TN, Murphy CA, et al. Comparison of serial measurements of infarct size and left ventricular ejection fraction by contrast-enhanced cardiac magnetic resonance imaging and electrocardiographic QRS scoring in reperfused anterior ST-elevation myocardial infarction[J]. *J Electrocardiol*, 2010, 43(3): 230-236.
- [44] 张勇, 张奇, 王德国, 等. 心电图 Selvester QRS 积分评价急性病毒性心肌炎并发左心功能异常的临床价值[J]. *临床心血管病杂志*, 2021, 37(2): 137-140.
- [45] Palmeri ST, Harrison DG, Cobb FR, et al. A QRS scoring system for assessing left ventricular function after myocardial infarction[J]. *N Engl J Med*, 1982, 306(1): 4-9.
- [46] Seino Y, Staniloff HM, Shell WE, et al. Evaluation of a QRS scoring system in acute myocardial infarction: relation to infarct size, early stage left ventricular ejection fraction, and exercise performance[J]. *Am J Cardiol*, 1983, 52(1): 37-42.
- [47] Pollard JD, Haq KT, Lutz KJ, et al. Sex differences in vectorcardiogram of African-Americans with and without cardiovascular disease: a cross-sectional study in the Jackson Heart Study cohort[J]. *BMJ Open*, 2021, 11(1): e042899.
- [48] 买买提伊明, 都雯, 高嵩. 不同平面 QRS-T 夹角水平陈旧性心肌梗死患者心功能不全的评估价值研究[J]. *四川医学*, 2017, 38(2): 111.
- [49] Selvaraj S, Ilkhanoff L, Burke MA, et al. Association of the frontal QRS-T angle with adverse cardiac remodeling, impaired left and right ventricular function, and worse outcomes in heart failure with preserved ejection fraction[J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2014, 27(1): 74-82 e72.
- [50] Adedisewo D, Carter RE, Attia Z, et al. Artificial Intelligence-Enabled ECG Algorithm to Identify Patients With Left Ventricular Systolic Dysfunction Presenting to the Emergency Department With Dyspnea[J]. *Circ Arrhythm Electrophysiol*, 2020, 13(8): e008437.
- [51] Raghunath S, Ulloa Cerna AE, Jing L, et al. Prediction of mortality from 12-lead electrocardiogram voltage data using a deep neural network[J]. *Nat Med*, 2020, 26(6): 886-891.
- [52] Potter EL, Rodrigues C, Ascher DB, et al. Machine Learning of ECG Waveforms to Improve Selection for Testing for Asymptomatic Left Ventricular Dysfunction[J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2021, 14(10): 1904-1915.
- [53] Potter E, Liu Y, Teo S, et al. Machine learning applied to energy waveform ECG for prediction of subclinical myocardial dysfunction[J]. *European Heart Journal*, 2019, 40(Supplement\_1): 111.
- [54] Kagiya N, Piccirilli M, Yanamala N, et al. Machine Learning Assessment of Left Ventricular Diastolic Function Based on Electrocardiographic Features[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2020, 76(8): 930-941.
- [55] Bouzid Z, Faramand Z, Gregg RE, et al. In Search of an Optimal Subset of ECG Features to Augment the Diagnosis of Acute Coronary Syndrome at the Emergency Department[J]. *J Am Heart Assoc*, 2021, 10(3): e017871.

(收稿日期: 2022-09-27)