·指南与共识·

心磁图辅助缺血性心肌病风险评估专家共识(2026 版)

四川省医学会心电生理与起搏专业委员会 四川省医药数字化科技应用研究会心律学专业委员会

【摘要】缺血性心肌病(ICM)以心肌纤维化与瘢痕形成为核心病理特征,是心力衰竭与心源性猝死的重要基础。与普通心肌缺血相比,ICM 患者因存在广泛且复杂的电不稳定基质,其风险评估更具挑战性。传统方法如心脏磁共振成像(CMRI)与常规心电图(ECG)在区分“完全纤维化”心肌与“残存电活动”心肌方面存在局限,易导致风险误判。心磁图(MCG)作为一种无创、高时空分辨率的心脏磁场检测技术,能灵敏捕捉心肌瘢痕区的微弱磁场信号,特别是反映心室复极离散状态的 QT 间期磁信号。这为识别 ICM 患者致心律失常基质、评估猝死风险提供了全新的磁电生理视角。目前,MCG 在 ICM 领域的应用证据不断积累,但尚缺乏统一的技术标准与临床应用体系。为此,国内相关领域专家基于现有证据与中国临床实践,结合《心磁图心肌缺血临床诊断专家共识》和《心磁图诊断冠状动脉微血管疾病临床应用专家共识(2025 版)》中的成熟经验,制定本共识。本共识系统阐述了 MCG 的技术原理、核心参数、基于“QT 间期弱磁场信号”分析的四级风险评估体系及相应的临床管理路径,旨在推动 MCG 在 ICM 患者风险评估中的科学化、规范化与同质化应用,为改善患者预后提供循证依据。

【关键词】缺血性心肌病;心磁图;风险评估;QT 间期;心律失常;专家共识

【DOI】10. 16806/j. cnki. issn. 1004-3934. 2026. 03. 014

Expert Consensus on Magnetocardiography-Assisted Risk Assessment in Ischemic Cardiomyopathy(2026 Edition)

Committee of Cardiac Electrophysiology and Pacing, Sichuan Medical Association; Special Committee on Cardiac Rhythmology, Sichuan Research Association of Medical Digital Technology Application

【**Abstract**】Ischemic cardiomyopathy(ICM), characterized by myocardial fibrosis and scar formation, constitutes a critical substrate for heart failure and sudden cardiac death. Risk assessment in ICM patients is more challenging compared to ordinary myocardial ischemia due to the widespread and complex electrically unstable substrate. Traditional methods such as cardiac magnetic resonance imaging(CMRI) and conventional electrocardiogram(ECG) have limitations in distinguishing between “completely fibrotic” myocardium and “residual electrical activity” myocardium, which can easily lead to risk misjudgment. As a non-invasive cardiac magnetic field mapping technique with high spatiotemporal resolution, magnetocardiography(MCG) can sensitively detect weak magnetic signals from scarred myocardium, particularly the QT-interval magnetic signals reflecting ventricular repolarization dispersion. This offers a novel magneto-electrophysiological perspective for identifying arrhythmogenic substrate and assessing sudden death risk in ICM patients. Although evidence for MCG application in ICM is accumulating, standardized technical criteria and a unified clinical application framework are still lacking. Therefore, domestic experts in relevant fields have developed this consensus based on existing evidence and clinical practice in China, combined with the mature experience in the “Expert consensus on clinical diagnosis of myocardial ischemia by magnetocardiography” and the “Expert consensus for the clinical application of magnetocardiography diagnosing coronary microvascular disease(2025 Edition)”. This consensus systematically elaborates on the technical principles, core parameters, four level risk assessment system based on “QT interval weak signal analysis”, and corresponding clinical management pathways of MCG, aiming to promote the scientific, standardized, and homogeneous application of MCG in ICM patient risk assessment, and provide evidence-based basis for improving patient prognosis.

【**Keywords**】Ischemic cardiomyopathy; Magnetocardiography; Risk assessment; QT interval; Arrhythmia; Expert consensus

缺血性心肌病(ischemic cardiomyopathy, ICM)是心力衰竭与心源性猝死(sudden cardiac death, SCD)的主要病因之一,其病理本质是心肌长期缺血导致的进行性纤维化与瘢痕形成[1]。这种结构重塑不仅是心

基金项目:国家自然科学基金(81900339);成都名医刘汉雄工作室(251300036)

通信作者:付华, E-mail: fuhua0108@ qq. com; 刘汉雄, E-mail: lhanx@ 126. com

功能下降的病理基础，更是心电不稳定性与恶性室性心律失常发生的重要“土壤”，使 ICM 患者成为 SCD 的高危人群[2]。因此，对 ICM 患者，尤其是其中 SCD 极高危个体进行精准危险分层，对于指导植入型心律转复除颤器（implantable cardioverter defibrillator，ICD）的合理应用等一级预防策略至关重要。

当前 ICM 的风险评估主要依赖心脏影像学与电生理检查。心脏磁共振成像（cardiac magnetic resonance imaging，CMRI）虽可清晰显示瘢痕的位置与范围，但对瘢痕内残存的、具有缓慢传导能力的存活心肌束（即“电活动岛”）识别能力有限；常规 12 导联心电图（electrocardiogram，ECG）则难以探测深部或微小的异常电活动[3-4]。这一局限导致临床难以有效区分“电静止瘢痕”与“致心律失常性瘢痕”，可能造成风险低估或过度治疗[5]。

心磁图（magnetocardiography，MCG）通过超高灵敏度磁传感器，无接触、无辐射地记录心脏电活动产生的微弱磁场[6]。相较于 ECG，MCG 信号几乎不受胸腔组织干扰，具有更高的空间分辨率和对切向电流的敏感性，能更真实地描绘心脏电磁场的时空分布[7]。近年来，MCG 在心肌缺血与冠状动脉微血管疾病领域已积累了丰富的应用经验，形成了相对成熟的诊断流程与判断标准[8-9]。在此基础上，本共识重点聚焦 MCG 的进一步应用——通过分析“心室复极期（QT 间期）磁场信号的形态、离散度及动态变化”，定量评估心室肌电稳定性，为识别 ICM 患者的电不稳定基质提供独特视角[10-11]。

近年来，探索性研究[12-13]表明，MCG 参数与 CMRI 定义的瘢痕负荷、电生理检查结果及患者长期临床结局存在关联。然而，该领域研究尚处于发展阶段，在数据采集、分析指标、风险阈值及临床路径等方面缺乏统一标准与高级别证据，限制了 MCG 的规范化应用[14]。

为系统总结进展、凝聚专家共识、推动 MCG 在中国 ICM 管理中的科学应用，由四川省医学数字化科技应用研究会发起，组织多学科专家制定本共识。本共识旨在继承和拓展 MCG 在心肌缺血评估中的现有成果，进一步明确 MCG，尤其是其“QT 间期弱磁场信号”分析在 ICM 风险评估中的适用场景、技术规范与临床应用框架，为临床实践提供指导。

1　MCG 辅助 ICM 风险评估的技术基础

1.1　技术原理与设备进展

心脏生物电流根据电磁学原理（如 Biot-Savart 定律）会在体表及周围产生皮特斯拉（pT）量级的微弱磁场（图 1）[15]。MCG 基于电磁学原理（如 Biot-Savart 定律）捕捉由心脏电活动产生的微弱磁场。简单来说，这些电流在心脏周围会形成非常微小的磁场，MCG 可通过高精度的磁传感器测量这些磁场的变化，进而反映出心脏的电活动。与传统的 ECG 相比，MCG 能提供更高的时空分辨率，尤其对深部心肌的电活动敏感。与 ECG 记录经体腔衰减的综合电位不同，MCG 磁场信号几乎不受组织导电性影响，能更直接地反映局部心肌电流，尤其对平行于体表的切向电流及环状电流敏感[7,10]。这使得 MCG 在探测 ICM 瘢痕区异常的缓慢传导电流方面具有理论优势。

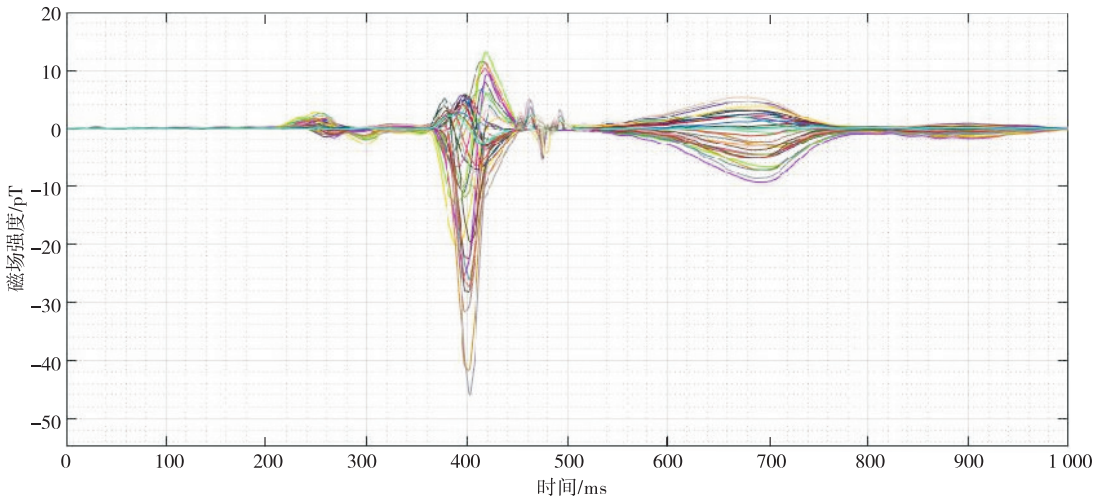


图 1　“蝴蝶图”示例

图 1 展示了通过 MCG 技术测量到的特定测量点随时间变化的磁场信号（蝴蝶图）。该图可以心脏复极期的磁场动态变化，提供关于心脏电活动状态的时空分布信息。长期以来，超导量子干涉仪是 MCG 研

究的金标准,但其依赖液氦低温环境,成本高昂[6]。近年,室温原子磁力计技术,特别是基于无自旋交换弛豫原理的传感器取得突破,在保持高灵敏度的同时实现了设备的小型化与便携化,为 MCG 的临床普及奠定了技术基础[16-17]。近期研究[18]显示,新一代室温 MCG 系统在心血管疾病诊断中的表现与超导量子干涉仪系统相当,展现出良好的应用前景。

1.2 聚焦 QT 间期磁场分析的核心评估参数

ICM 患者 SCD 风险的核心电生理机制是瘢痕相关的传导延缓与复极离散。传统 ECG 的 QT 间期离散度(QT interval dispersion, QTd)因测量局限,敏感性与特异性不足[19]。MCG 通过高密度传感器阵列完整记录心室复极期(T 波)磁场时空分布,对“QT 间期弱磁场信号”的深度分析构成其风险评估的创新核心:(1)QT 间期磁场积分与形态学分析:量化整个 QT 间期内的磁场空间积分或分析 T 波磁场三维形态,可评估整体“复极电磁负荷”。ICM 患者的局部复极异常可导致 ST 段及 T 波磁场形态特征性畸变[20]。(2)复极离散度的磁场映射:MCG 能直接绘制不同心肌区域的复极完成时间图。通过计算 T 波峰(或终点)磁场出现时间的标准差(即 MCG-TpD 或 MCG-TeD),可比 ECG-QTd 更精准地量化复极时空离散度,对致心律失常基质更敏感[21-22]。该方法的有效性已在心肌缺血领域得到验证[9]。(3)动态/负荷下的 QT 间期磁场响应:分析药物(如肾上腺素)或运动负荷前后 QT 间期磁场参数的动态变化,可评估“电生理储备”。ICM 患者储备能力下降,负荷下可能出现 QT 间期异常延长或离散度加剧,揭示隐匿的电不稳定性[21]。这一理念与 MCG 在评估冠状动脉微血管功能障碍时采用的负荷试验原理有相通之处[8]。

现有证据初步支持上述参数的潜力:MCG 复极参数与 CMRI 定义的瘢痕负荷相关[22];异常的 MCG 复极离散度参数是 ICM 患者未来发生恶性室性心律失常或 SCD 的独立预测因子[12,23]。

1.3 数据采集与分析的标准化流程

为确保评估的可重复性,必须建立标准化流程。可参考《心磁图心肌缺血临床诊断专家共识》中提出的标准化流程框架,结合 ICM 评估特点进行细化[9]。

采集要求:需在磁屏蔽室内进行;患者移除所有金属物品;传感器阵列需完整覆盖心前区;至少连续采集 90 s 静息态稳定信号。

分析流程:(1)信号预处理:滤波、基线校正及心搏平均。(2)图像判读:观察“蝴蝶图”中 T 波磁场形态;分析 T 波时段等磁图序列,观察磁极数量、位置、强度及动态演变规律(ICM 患者常出现多磁极和位置固定异常等)。(3)定量参数提取:全局参数,磁场 QT 间期、QT 间期磁场积分;复极离散度参数,MCG-TpD、MCG-TeD;形态学参数,T 波磁场不对称指数、主向量角度变化率;动态参数(如适用),负荷试验前后参数的 Δ 值(变化值)。(4)综合报告:应整合图像特征、定量参数及患者临床信息(CMRI 瘢痕、左室射血分数和病史等),给出危险分层评估意见。

2 基于 MCG 的 ICM 四级风险评估体系

本共识基于对“QT 间期弱磁场信号”的解析,提出以下 ICM 危险分层体系,旨在将 MCG 电生理信息转化为清晰的临床决策路径。(1)Ⅰ级(低危):MCG 标准:ICM 诊断明确,MCG 未见明确复极异常,表现为 QT 间期磁场形态规则、对称,MCG-TpD/MCG-TeD 在正常参考范围内。参考既往研究,健康人群的 QT 间期磁场离散度(MCG-QTd)通常<100 ms,空间离散度<20 ms[12,20]。风险特征与管理:以心力衰竭进程风险为主,SCD 风险低。管理重心为规范的指南导向药物治疗及定期随访。(2)Ⅱ级(中危):MCG 标准:ICM 诊断明确,MCG 提示局灶性电活动异常,表现为 T 波磁场轻度畸变(如切迹)、局部磁场角度异常或单个非持续弱信号灶,MCG 复极离散度参数轻度升高(超出正常范围但未达高危阈值,如 QTd 为 100~120 ms)[20]。风险特征与管理:存在电不稳定心肌组织,心律失常风险显现。建议加强心电监测,并优化抗纤维化及改善微循环的药物治疗。(3)Ⅲ级(高危):MCG 标准:ICM 诊断明确,MCG 呈现显著复极离散与异常电流,表现为 MCG 复极离散度参数显著增高,超过已报道的高危阈值(如 QTd > 140 ms,或 MCG-TpD > 140 ms)[20-21],并伴有 ST 段磁场偏移[9]或多灶性异常弱信号。风险特征与管理:心室电不稳定性显著增高,恶性室性心律失常风险高。应积极评估 ICD 植入指征,并强化抗心律失常治疗与随访。(4)Ⅳ级(极高危):基于 QTd 与信号动态变化的精细分层。在Ⅲ级标准基础上,引入“MCG-QTd 与药物干预下信号的动态响应”进行亚分层(表 1)。

3 MCG 在 ICM 危险分层管理中的临床应用路径

基于上述风险体系,MCG 的核心应用场景如下。

3.1 ICD 植入决策的精细化支持

对于传统指标处于“灰色地带”的 ICM 患者(如左室射血分数为 35%~50%),MCG 危险分层可提供关键补充信息。评估为Ⅲ级或Ⅳ级(尤其Ⅳb 和Ⅳd 级)显著支持 ICD 植入;评估为Ⅰ级或Ⅳa 级则提示当前 ICD 植入必要性较低,有助于避免过度治疗[9]。

3.2 药物治疗效果的动态评估与优化

MCG 作为无创的电生理生物标志物,可动态评估

药物疗效。对于Ⅳc 级(药物可逆型)患者,系列 MCG 检查能直观地显示 QTd 及弱信号的改善情况,验证治疗有效性,指导方案调整。治疗后风险层级降低是治疗有效的明确标志。

表 1　Ⅳ级亚分层 MCG 特征

风险亚级	MCG 特征示意图(核心信号模式)	关键特征描述	核心管理路径
Ⅳa 级(风险相对可控)	信号模式:MCG-QTd 增高,但信号整体形态规则,未检测到特征性的低频扰动信号(即“QT 间期弱磁场信号”)	主要特征: • MCG-QTd 增高 • 未检出 QT 间期相关的特异性弱信号 解读:反映整体复极离散,但缺乏明确的局灶性致心律失常电流证据	管理:以强化心力衰竭的规范化药物治疗为主。目前不推荐仅依据此级 MCG 结果进行 ICD 一级预防
Ⅳb 级(风险中等,需侵入性评估)	信号模式:MCG-QTd 显著增高,并可观察到固定和局灶性的异常信号(特征性弱信号),但该信号在短期内(如数周内)未见动态演变	主要特征: • MCG-QTd 显著增高 • 明确检出固定的特征性弱信号 • 信号未见短期动态变化 解读:提示存在潜在的致心律失常基质,但其稳定性与诱发风险需进一步确认	管理:建议进行心内电生理检查,通过诱发试验评估恶性室性心律失常风险,为 ICD 的植入决策提供直接电生理证据
Ⅳc 级(高危,药物可逆型)	信号模式:MCG-QTd 显著增高伴特征性弱信号。经 4~12 周充分优化药物治疗(包括抗纤维化和稳定电生理药物)后,复查 MCG 显示异常信号范围减小、强度减弱或离散度改善	主要特征: • MCG-QTd 显著增高伴特征性弱信号 • 优化药物治疗后 MCG 参数明显改善 解读:电不稳定基质可能包含缺血和炎症等可逆成分,对药物治疗有反应	管理:继续并优化药物治疗,密切随访(如 3~6 个月复查 MCG)。暂缓 ICD 植入,但需警惕病情变化
Ⅳd 级(极高危,药物不可逆型)	信号模式:MCG-QTd 显著增高伴特征性弱信号。尽管接受充分优化药物治疗,复查 MCG 仍显示异常信号无改善甚至恶化(如范围扩大、强度增加)	主要特征: • MCG-QTd 显著增高伴特征性弱信号 • 优化药物治疗后 MCG 参数无改善或恶化 解读:提示存在固定和成熟的致心律失常瘢痕基质,药物难以逆转,心电不稳定性持续处于高危状态	管理:积极建议 ICD 植入(一级预防),或评估导管消融治疗的可能性。必须向患者及家属充分告知猝死风险

因为有文献提出,藏红曲等药物可通过抗氧化应激影响心肌纤维化及传导系统[24],所以 MCG 可能可用于评估药物对电生理基质的影响。基于 Yue 等[24]的发现,本中心计划开展一项多中心观察性研究,观察 ICM 伴室性心律失常的患者,患者将被按 1∶1 随机分为药物干预组和对照组,干预组在常规治疗基础上加用血管紧张素转化酶抑制剂/血管紧张素Ⅱ受体阻滞剂/藏红曲, 相比 ECG,观察 MCG 是否可能会发现更多患者存在 QT 离散及“孤立的晚期极弱磁信号”激活的现象(如模式图图 2 和图 3)。期待该研究为 ICM 患者心律失常的风险评估及药物疗效的动态观察提供新思路,这可能会是 MCG 未来的发展方向之一。

3.3　高风险人群的筛查与长期随访

MCG 适用于以下高危 ICM 亚组的筛查与监测:(1)CMRI 显示瘢痕但症状轻微者;(2)有无法解释的晕厥或先兆晕厥病史者;(3)血运重建(经皮冠状动脉介入治疗/冠状动脉搭桥术)后评估残留电生理紊乱者。定期 MCG 随访有助于早期发现电不稳定性进展。

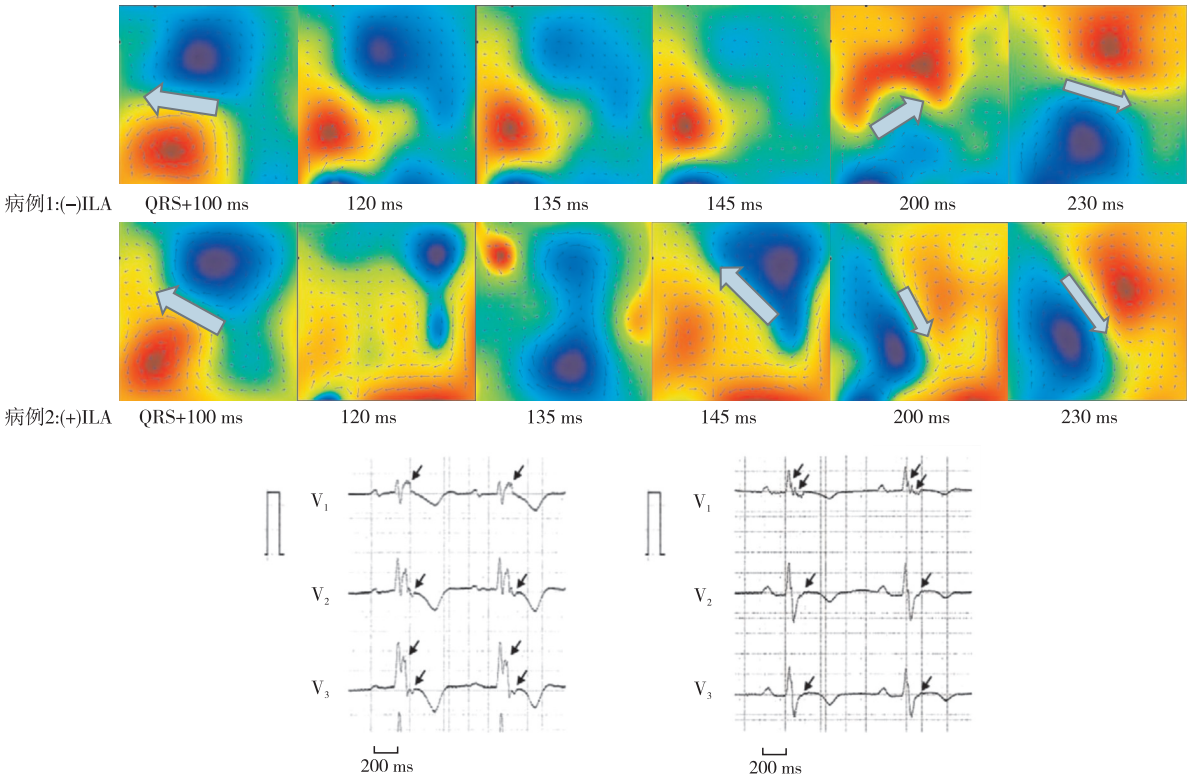
4　实施展望与未来方向

将本共识体系应用于临床,是推动 ICM 精准管理的重要一步。其广泛实施有赖于后续研究对各参数临界值的验证,以及在大规模前瞻性队列中对预测效能的确认[12]。目前已有研究为 MCG 参数在心血管疾病中的预后价值提供了新的证据[9]。未来工作应聚焦于建立统一的 MCG 技术标准,探索人工智能在自动识别 QT 间期弱信号及精准分型中的应用,构建整合 MCG、CMRI、基因组学及临床数据的综合预测模型。

5　小结

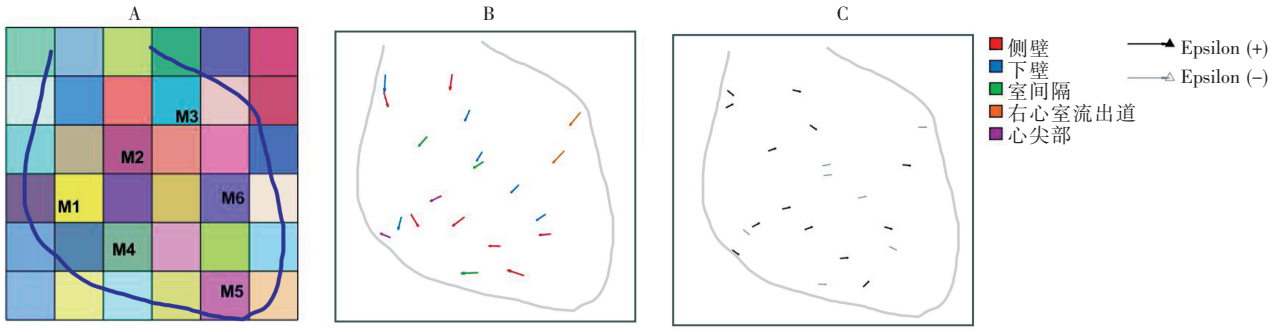
MCG 通过捕捉与分析“QT 间期弱磁场信号”,为 ICM 的猝死风险评估提供了新的重要手段。本共识在参考既往 MCG 在心肌缺血领域专家共识的基础上,系统构建了基于此技术的四级危险分层体系及临床管理路径,旨在推动其科学和规范地应用[8-9]。我们清醒地认识到,MCG 的临床整合仍面临技术标准化、高级别证据缺乏等挑战。未来需通过跨学科合作,加强技术研发、临床验证与人才培养,使 MCG 最终成为

ICM 综合风险管理工具包中有价值的一员，为降低患者 SCD 相关疾病负担贡献力量。



注：病例 1 的电流箭头图显示右下方向电流，反映主要右心室激活（QRS 波起始+100 ms），主要右心室电流衰减后，观察到新的短暂增强电流（145 ms）重现（即孤立性晚期激活），此后，左向复极电流出现在不同区域（200 ms）；病例 2 的电流箭头图显示右上方向电流，反映主要右心室激活（QRS 波起始+100 ms）。右心室复极电流衰减后，左向复极电流出现在不同区域（200 ms），主要右心室复极与复极化之间未出现重现电流。标准 12 导联 ECG 记录（导联 V_1、V_2 和 V_3）：病例 1 和病例 2 均显示复极电位作为 QRS 波群内及后的可见凹槽（黑色箭头），两个病例在第 120 ms 时已出现差异。病例 1 在 16 个月后发生持续性室性心动过速。ILA，孤立性晚期激活。

图 2　MCG 检测孤立性晚期激活及电流箭头图的算法（适用于有/无孤立性晚期激活患者）



注：图 A 为左心室分割；图 B 为箭头指示每位患者 MCG 电流箭头图上孤立性晚期激活的位置与方向，依据三维电解剖标测识别的主要瘢痕区域进行彩色编码；图 C 为按 Epsilon 波阳性分组的孤立性晚期激活的位置，根据 Epsilon 波阳性状态显示为实心或空心。

图 3　MCG 电流箭头图上孤立性晚期激活的位置与方向分布

指导专家：葛均波（复旦大学中山医院），沈成兴（上海交通大学医学院附属第六人民医院）

执笔专家：刘汉雄（成都市第三人民医院）

核心专家组成员（按姓氏拼音排序）：蔡琳（成都市第三人民医院），陈莎（重庆医科大学），丁铭（北京航空航天大学），杜建霖（重庆医科大学附属第二医院），范忠才（西南医科大学），付华（四川大学华西医院），高靳（成都市第三人民医院），何文飞（广东省人民医院南海医院），侯君（成都市第三人民医院），胡宏德（四川大学华西医院），蒋学俊（武汉大学人民医院），雷蕾（华中科技大学同济医学院附属同济医院），陆绮慧（复旦大学中山医院），马云桐（成都中医药大学），毛威（浙江大学医学院附属浙江医院），赖珩莉（江西省人民医院），刘炳辰（浙江

大学医学院第二附属医院),李德(西部战区总医院),李小平(四川省人民医院),刘汉雄(成都市第三人民医院),刘剑雄(成都市第二人民医院),罗勇(川北医学院),裴海峰(西部战区总医院),秦地茂(成都市第三人民医院),田文杰(四川省人民医院),徐俊波(成都市第三人民医院),杨永健(西部战区总医院),叶健(浙江大学医学院第二附属医院),苑海涛(山东第一医科大学山东省立医院),余海滨(河南中医药大学第一附属医院),汪汉(成都市第三人民医院),王树华(山东第一医科大学山东省立医院),王炎(华中科技大学同济医学院附属同济医院),吴岳(西安交通大学一附院),曾锐(四川大学华西医院),张震(成都市第三人民医院)

利益冲突　所有作者均声明不存在利益冲突

参 考 文 献

[1] Ong P, Camici PG, Beltrame JF, et al. International standardization of diagnostic criteria for microvascular angina[J]. Int J Cardiol, 2018, 250: 16-20.

[2] Task Force Members; Montalescot G, Sechtem U, et al. 2013 ESC guidelines on the management of stable coronary artery disease: the Task Force on the management of stable coronary artery disease of the European Society of Cardiology[J]. Eur Heart J, 2013, 34(38): 2949-3003.

[3] Sara JD, Widmer RJ, Matsuzawa Y, et al. Prevalence of coronary microvascular dysfunction among patients with chest pain and nonobstructive coronary artery disease[J]. JACC Cardiovasc Interv, 2015, 8(11): 1445-1453.

[4] Jespersen L, Hvelplund A, Abildstrøm SZ, et al. Stable angina pectoris with no obstructive coronary artery disease is associated with increased risks of major adverse cardiovascular events[J]. Eur Heart J, 2012, 33(6): 734-744.

[5] 张运,陈韵岱,傅向华,等. 冠状动脉微血管疾病诊断和治疗的中国专家共识[J]. 中国循环杂志, 2017, 32(5): 421-430.

[6] Fenici R, Brisinda D, Meloni AM. Clinical application of magnetocardiography [J]. Expert Rev Mol Diagn, 2005, 5(3): 291-313.

[7] Tavarozzi I, Comani S, Del Gratta C, et al. Magnetocardiography: current status and perspectives. Part I: physical principles and instrumentation[J]. Ital Heart J, 2002, 3(2): 75-85.

[8] 马健,马剑英,田峰. 心磁图诊断冠状动脉微血管疾病临床应用专家共识(2025 版)[J]. 中国心血管病研究, 2025, 23(10): 867-876.

[9] 唐发宽,李俊峡,曹雪滨,等. 心磁图心肌缺血临床诊断专家共识[J]. 中国循证心血管医学杂志, 2024, 16(6): 641-646.

[10] Hänninen H, Takala P, Mäkijärvi M, et al. Heart rate adjustment of magnetic field map rotation in detection of myocardial ischemia in exercise magnetocardiography[J]. Basic Res Cardiol, 2002, 97(1): 88-96.

[11] Park JW, Hill PM, Chung N, et al. Magnetocardiography predicts coronary artery disease in patients with acute chest pain[J]. Ann Noninvasive Electrocardiol, 2005, 10(3): 312-323.

[12] van Leeuwen P, Hailer B, Lange S, et al. Diagnostic value of magnetocardiography in coronary artery disease and cardiac arrhythmias: a review of clinical data[J]. Int J Cardiol, 2013, 167(5): 1835-1842.

[13] 李为民,孙健,王丽梅,等. 心磁图在心血管疾病诊断中的应用专家建议[J]. 中华心律失常学杂志, 2020, 24(3): 189-196.

[14] Marinescu MA, Löffler AI, Ouellette M, et al. Coronary microvascular dysfunction, microvascular angina, and treatment strategies[J]. JACC Cardiovasc Imaging, 2015, 8(2): 210-220.

[15] Uchiyama T, Nakayama S. Magnetic sensors using amorphous metal materials: detection of premature ventricular magnetic waves[J]. Physiol Rep, 2013, 1(2): e00030.

[16] Kominis IK, Kornack TW, Allred JC, et al. A subfemtotesla multichannel atomic magnetometer[J]. Nature, 2003, 422(6932): 596-599.

[17] Boto E, Meyer SS, Shah V, et al. A new generation of magnetoencephalography: room temperature measurements using optically-pumped magnetometers[J]. Neuroimage, 2017, 149: 404-414.

[18] Alem O, Sander TH, Mhaskar R, et al. Fetal magnetocardiography measurements with an array of microfabricated optically pumped magnetometers[J]. Phys Med Biol, 2015, 60(12): 4797-4811.

[19] Malik M, Batchvarov VN. Measurement, interpretation and clinical potential of QT dispersion[J]. J Am Coll Cardiol, 2000, 36(6): 1749-1766.

[20] van Leeuwen P, Hailer B, Lange S, et al. Spatial distribution of QT intervals: an alternative approach to QT dispersion[J]. Pacing Clin Electrophysiol, 1996, 19(11 Pt 2): 1894-1899.

[21] Oikarinen L, Viik J, Mäkijärvi M, et al. Magnetocardiographic QT interval dispersion in postmyocardial infarction patients with sustained ventricular tachycardia: validation of automated QT measurements[J]. Pacing Clin Electrophysiol, 1998, 21(10): 1934-1942.

[22] Smith FE, Langley P, van Leeuwen P, et al. Comparison of magnetocardiography and electrocardiography: a study of automatic measurement of dispersion of ventricular repolarization[J]. Europace, 2006, 8(10): 887-893.

[23] Wessel Hänninen H, Holmström M, Vesterinen P, et al. Magnetocardiographic assessment of healed myocardial infarction[J]. Ann Noninvasive Electrocardiol, 2006, 11(3): 211-221.

[24] Yue T, Zhang W, Pei H, et al. Monascus pigment-protected bone marrow-derived stem cells for heart failure treatment[J]. Bioact Mater, 2024, 42: 270-283.

收稿日期:2026-02-22