·综述·

心电图在冠状动脉心肌桥相关疾病诊断中的应用进展

史轶群 刘健
(北京大学人民医院心内科,北京 100044)

【摘要】心肌桥(MB)是一种常见的先天冠状动脉变异,通常表现为良性,但近期研究发现 MB 也可能与心肌缺血、心律失常、左心室肥厚、应激性心肌病有关,甚至可能与急性冠脉综合征、心搏骤停、心室颤动等多种不良事件有关。心电图(ECG)作为快速且廉价的心脏评价手段,在 MB 及其相关疾病的检测中取得长足进步。现综述 ECG 与 ECG 新型标志物在 MB 及其相关心血管疾病诊断中的研究进展,并对当前研究的困难与未来发展的方向做一分析。

【关键词】心电图;心肌桥;冠状动脉;新型标志物
【DOI】10.16806/j.cnki.issn.1004-3934.2025.09.001

Application of Electrocardiogram in Diagnosis of Coronary Artery Myocardial Bridge Related Diseases

SHI Yiqun, LIU Jian
(*Department of Cardiology, Peking University People's Hospital, Beijing* 100044, *China*)

【**Abstract**】It is generally believed that myocardial bridging (MB) is a congenital benign coronary artery anomaly. However, it seems that MB can lead to various symptoms or diseases such as myocardial ischemia, arrhythmia, left ventricular hypertrophy, stress-induced cardiomyopathy, and even adverse cardiac events such as acute coronary syndrome, cardiac arrest, and ventricular fibrillation according to recent studies. As a rapid and inexpensive detection method, electrocardiogram (ECG) has made significant progress in the detection of MB and its related diseases. This paper reviews the research progress of ECG and new ECG markers in the diagnosis of MB and its related cardiovascular diseases, and analyzes the difficulties of the current research and the future development direction.

【**Keywords**】Electrocardiogram; Myocardial bridge; Coronary artery; New markers

心肌桥(myocardial bridging, MB)是一种先天性冠状动脉变异,即原本走行于心外膜的冠状动脉的部分节段穿行于心肌纤维下,该心肌纤维被称为 MB,受到该心肌周期性压迫的冠状动脉节段被称为壁冠状动脉或隧道动脉。MB 多数情况下发生在冠状动脉左前降支(left anterior descending, LAD)[1]。MB 在临床上通常无明显症状,然而越来越多的证据表明,MB 可能与心肌缺血[2-4]、急性心肌梗死[5]、猝死[6]、心律失常[7-8]、左心室肥厚[9]、应激性心肌病[10-11]、心搏骤停[12]、急性冠脉综合征[13]、伪 Wellens 综合征[14]等心脏不良事件有关。最早用于诊断 MB 的金标准是冠状动脉造影(coronary angiography, CAG)[15],后来又发展了冠状动脉 CT 血管成像(coronary computed tomography angiography, CCTA)[16-18]、冠状动脉血管内超声[19]等方法。心电图(electrocardiogram, ECG)作为最常见的心脏检查手段,具有无创、快速、价格低廉等优点,研究患者的 ECG 特征与 MB 相关疾病的关系,对于快速诊断相关疾病及减轻患者医疗负担、避免过度医疗具有重要意义。现就 ECG 在 MB 相关疾病诊断中的应用研究进展进行综述。

1 ECG

1.1 定性研究

在 MB 相关心血管疾病的诊断中,ECG 是首选的诊断工具。过去一般认为,MB 虽可导致负荷状态下心肌缺血,然而其临床及 ECG 表现无特异性[20]。但越来越多的研究表明,ECG 改变可为 MB 的诊断提供更多有临床意义的指导。

韩艳丽等[21]的研究发现,部分孤立性 MB 患者出现 $V_3 \sim V_6$ 或 $V_4 \sim V_6$ 导联静息和/或发作时 ST 段压低,ECG 异常组的 MB 狭窄程度重于正常组。陈艳明等[22]对 33 例患者行静息 ECG 检查,其中 55% ECG 有 ST-T 段改变,大多为 $V_3 \sim V_6$ 导联 T 波低平、倒置,

基金项目:首都临床特色诊疗技术研究及转化应用(Z221100007422096)
通信作者:刘健,E-mail:drjianliu@163.com

其中有 13 例行平板运动试验(treadmill exercise test, TET),5 例为阳性。张晋康等[23]对 98 例单纯性 MB 患者的研究结果表明,MB 患者静息 ECG 的主要特点为 T 波低平或倒置、V_3~V_6 导联 ST 段压低,部分患者表现为早期复极样改变;36 例行 TET 患者中,阳性率为 50%,可疑阳性率为 31.6%。Kim 等[24]的研究显示,静息时大多数单纯性 MB 患者 ECG 基本正常;当劳累、运动、情绪激动时,ECG 可能出现Ⅱ、Ⅲ、aVF 及 V_3~V_6 导联 ST-T 段改变、Ⅰ~Ⅱ度房室传导阻滞。姜海等[25]对 72 例单纯型 MB 患者 12 导联静息 ECG 的分析显示,单纯 MB 患者多无 ECG 的 ST-T 段改变,仅在隧道动脉狭窄严重时伴有 ST-T 段异常;MB 患者窦性心动过缓和束支传导阻滞发生率较高。耿黎明等[26]发现 MB 患者 ECG 的 ST-T 段改变与肌桥段血管狭窄程度有关;动态 ECG 及 TET 可提高 ECG 诊断的阳性率。有疑似心绞痛症状、多个胸前导联出现不伴 ST-T 段改变的 T 波倒置而冠心病危险因素又较少的患者,可能存在 MB[27]。赵新斌等[28]也发现,TET 联合 ECG 对收缩期隧道动脉重度狭窄患者高度敏感。

一些疑难心血管病例 ECG 出现的异常,提示了 MB 的存在。Kurisu 等[29]报道 1 例 90 岁男性患者 ECG 显示 V_2~V_5 导联末 T 波新出现倒置,CAG 未见明显冠状动脉固定性狭窄,在 LAD 中段发现 MB,心肌核素灌注显像显示心尖和室间隔区域摄取减少,怀疑为新发血管痉挛性心绞痛合并 LAD 区域的 MB。Quaranta 等[30]报道 1 例 41 岁男性患者静息 ECG 显示,在≥2 个相邻的前壁、下壁或侧壁导联中出现 T 波深倒置,尤其是Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、aVF 导联以及 V_4~V_6 导联。Aksoy 等[31]报告 1 例罕见的 62 岁左回旋支 MB 男性患者,该患者 CAG 报告显示了 LAD S2 段以远的复杂病变及 MB 导致的左回旋支第四钝缘支收缩期 100%狭窄,其 ECG 则显示 V_1~V_4 导联 T 波倒置,Ⅱ、Ⅲ、aVF 导联 ST 段压低。Bagur 等[32]介绍了 1 例 81 岁患者,ECG 显示前壁导联出现新 Q 波,前外侧导联 ST 段抬高;CAG 显示第二对角支 100%闭塞,心室造影显示前外侧壁有一个巨大动脉瘤,将 CCTA 影像三维重建后提示动脉瘤外压 LAD。尽管该病例与 MB 存在血管造影相似性,但室壁瘤引起的收缩期和舒张期压迫机制不同。左心室及瘤腔的舒张期充盈导致 LAD 舒张期受压,而收缩期室壁瘤的扩张可能对 LAD 产生物理性外在压迫。

Summers 等[33]认为在 CAG 过程中使用 ECG 识别多巴酚丁胺试验中的心肌缺血可有效诊断有临床意义的 MB。Cannavale 等[34]介绍了 1 例 82 岁男性患者因初诊 TET 阳性,而后经 CCTA 诊断存在冠状动脉起源和走行异常,并发现钝缘支存在长段 MB。Guha 等[35]认为,对于表现为伪 Wellens 综合征的患者,应考虑诊断 MB 的可能。Lin 等[36]描述了 1 例 51 岁男性胸痛患者,ECG 出现 Mobitz Ⅰ型房室传导阻滞,超声心动图检查排除瓣膜异常和收缩/舒张功能异常,最终经 CAG 诊断 LAD 中段 MB。Avram 等[4]报告了 1 例由 MB 引起的静息 12 导联 ECG 显示典型 Wellens 综合征的病例。Ki[37]报道了 1 例由 MB 诱发的冠状动脉痉挛进一步导致心脏停搏的患者,其 ECG 曾出现一过性 ST-T 段抬高。Bhandari 等[38]报告了 1 例超声心动图表现为 Takotsubo 综合征的患者,经 CAG 诊断为 LAD 完全性 MB,其 ECG 呈急性下壁心肌梗死样改变。Hermes-Laufer 等[39]报告了 1 例心肌酶谱异常升高的沃-帕-怀综合征患者,其 ECG 结果有心肌缺血表现,aVR 导联显著 ST 段抬高,Ⅱ、Ⅲ、aVF 以及 V_4~V_6 导联 ST 段显著压低。

综上,静息时大多数 MB 患者 ECG 正常,ECG 显示 T 波倒置及 ST-T 改变主要与隧道动脉狭窄程度相关,联合 TET 时可能对具有临床意义的 MB 更为敏感。对于冠状动脉粥样硬化风险低的患者,出现稳定型心绞痛或心肌缺血时应怀疑 MB;对于冠状动脉正常的慢性胸痛患者,尤其要注意细微且常被忽视的 ECG 变化,并考虑诊断 MB。

1.2 定量研究

郭伟达[40]对 CAG 诊断的 80 例 MB 患者的研究表明,动态 ECG 检出 MB 的敏感性为 80.5%,特异性为 61.5%;TET 检出 MB 的敏感性为 58.5%,特异性为 35.9%;二者检出 MB 的敏感性与特异性差异有统计学意义。动态 ECG 较 TET 可更有效地诊断 MB。李同等[41]对 76 例冠心病伴 MB 患者的 12 导联动态 ECG 研究显示,观察组的心肌缺血检出率、发作次数、总持续时间、ST-T 段压低幅度及并发症发生率均高于对照组。姜海等[25]的研究发现在单纯性 MB 病例中,ST-T 段改变占比 15.7%,且与 MB 收缩期压缩程度有关;窦性心动过缓和束支传导阻滞各为 21.4%,合计 ECG 异常者为 58.5%。动态 ECG 检查对临床诊断由 MB 引起的心肌缺血具有重要的参考价值。

2 ECG 新型标志物与 MB

2.1 额面 QRS-T 夹角与 MB

额面 QRS-T 夹角(frontal QRS-T angle, fQRSTa)能反映心脏复极和去极化过程中的异质性,与不良心脏事件密切相关。Tascanov 等[42]以 CAG 诊断的 91 例冠状动脉正常者与的 89 例 MB 患者为对象,测定并记录所有患者的 12 导联体表 ECG,测量 QT 间期、fQRSTa 及 QTc 间期等参数,研究 MB 患者 fQRSTa 的变化及其

临床意义。结果表明,两组患者的基线临床特征、超声心动图及实验室检测结果无显著差异。但相较于对照组,MB 组患者的 fQRSTa 明显升高;相关性分析显示,fQRSTa 与 MB 长度呈正相关;进一步的线性回归分析表明,MB 长度是影响 fQRSTa 的重要预测因素。fQRSTa 作为一种新型 ECG 标志物,可通过常规体表 ECG 简便获取。该研究首次证实 MB 长度与 fQRSTa 之间的显著关联,为理解 MB 对心脏电活动的影响提供了新的视角。

MB 患者在心脏收缩期冠状动脉受压,可能导致局部心肌缺血,影响心室复极的同步性,导致 fQRSTa 增大;MB(尤其是深肌桥)患者的 fQRSTa 均值显著高于健康人群(105° vs 80°),可能与缺血引起的复极异常相关;动态监测发现,运动后 fQRSTa 进一步增大,与 MB 收缩期压迫加重缺血有关。作为无创筛查工具,结合胸痛症状及 fQRSTa 异常(>90°),可优先选择 CCTA 或血管内超声确诊 MB;fQRSTa 增宽可能提示 MB 合并微血管功能障碍或心律失常风险,需加强随访。但需要注意的是,高血压、肥厚型心肌病等也可导致 fQRSTa 增大,需结合临床排除其他疾病;此外,fQRSTa 手动计算误差率高,需依赖数字化 ECG 及自动分析软件。

2.2 Tp-e 间期、QT 间期及 Tp-e/QT 与 MB

近年来,Tp-e 间期、跨室壁复极离散度(transmural dispersion of repolarization, TDR)和心脏电生理平衡指数(index of cardiac electrophysiological balance, iCEB)作为恶性心律失常和猝死风险的新兴 ECG 标志物,对心血管病患者死亡率有显著的预测价值[43]。Tp-e 间期是 ECG T 波峰值与终点之间的距离,反映心外膜下心肌细胞和 M 细胞动作电位时程的差异;QT 间期代表 M 细胞除极和复极的总时间[44],Tp-e 复极时间的增加与 TDR 的增大均反映复极异常,但当心率变化时,QT 间期、Tp-e 间期均会受影响,因而提出了 Tp-e 间期与 QT 间期比值(Tp-e/QT)的概念[45]。Tp-e/QT 及 Tp-e/QTc 更为稳定,能更准确及直观地反映患者 TDR,且恶性室性心律失常发生率随着 Tp-e/QT 及 Tp-e/QTc 的增大而增高。iCEB 反映了心脏周期去极化和复极化的潜在平衡与失衡,iCEB 的增高或降低均与恶性心律失常的风险增加有关。

Aksan 等[46]以 50 例 CAG 诊断的单纯性 MB 患者和 48 例 CAG 结果正常的患者为研究对象,考察 TET 前后所有患者的 Tp-e 间期和 Tp-e/QT 复极化指标变化情况。结果表明,与基线值相比,运动峰值时 MB 组的 QT 间期离散度(QT dispersion, QTd)和校正 QTd(corrected QTd, cQTd)显著增加,运动时 MB 患者组的 Tp-e 间期、cTp-e 持续时间和 Tp-e/QT 显著增加;在对照组中,运动峰值时的 QTd、cQTd、Tp-e 间期、cTp-e 间期和 Tp-e/QT 与基线值相比无显著差异。在 TET 中,MB 患者的 QTd、cQTd、Tp-e 间期、cTp-e 间期以及 Tp-e/QT 比值显著增加。Yıldırım 等[47]以 53 例单纯性 MB 患者及 58 例冠状动脉正常的患者为对象,研究了 MB 的 CAG 特征(狭窄程度和 MB 长度)对心肌复极化参数的影响。结果显示,两组的 QT 间期和 QTc 间期相似,然而,MB 组的 Tp-e 间期、Tp-e/QT 和 Tp-e/QTc 显著高于对照组。在比较 MB 患者中严重狭窄组与非严重狭窄组时,Tp-e 间期、Tp-e/QT 以及 Tp-e/QTc 在严重狭窄的 MB 组中更高。这些参数可作为评价 MB 患者室性心律失常风险的实用 ECG 标志物。

Nafakhi 等[48]以 41 例经 CCTA 诊断 MB 的患者(MB 组)以及 41 例无 MB 患者(非 MB 组)(两组患者在年龄和性别方面相匹配)为研究对象,比较两组患者之间的 iCEB 指标。结果显示,MB 组的 iCEB 显著高于非 MB 组,Tp-e 间期和 TDR 低于非 MB 组,V_1 导联孤立性 T 波倒置更为常见。Nafakhi 等[49]的进一步研究考察了 MB 特征(深度、长度及体积指数)与 Tp-e 间期、TDR 和 iCEB 及相关参数(V_1、aVL 导联的 ST-T 段及 S/R)变化之间的关系。结果表明,MB 深度和体积指数与 QRS 波切迹相关;在冠状动脉粥样硬化患者中,QRS 波切迹与 MB 深度及容积指数的相关性更为显著;在无冠状动脉粥样硬化的患者中,MB 长度和容积指数与 aVL 导联 S/R 在统计学上有显著相关性;MB 解剖学特征与各 ECG 标志物之间无显著相关性。李红旗等[50]对 150 例 MB 合并冠心病患者的心电参数的研究表明,与非 MB 患者对照组相比,MB 组患者 ECG 标志物 TDR、Tp-e 间期均降低,ST-T 段改变例数也较少。合并 MB 的患者更不易发生心律失常,且对冠心病患者的预后并未造成负面影响。

fQRSTa、运动 ST-T 段改变及 Tp-e 间期等 ECG 特征标志物的临床应用及综合策略见表 1。

表 1 ECG 特征标志物的临床应用及综合策略

应用场景	推荐 ECG 指标	联合检查	目标
MB 筛查	fQRSTa[42,51]、运动 ST-T 段改变[52]	CCTA/IVUS	区分生理性压迫与病理性缺血
心律失常风险评估	Tp-e 间期[46,48]、TET[53]	心脏磁共振(瘢痕评估)	指导 β 受体阻滞剂或起搏器植入
术后疗效评估	fQRSTa、Tp-e 动态变化[49]	心肌血流储备分数	评估 MB 松解术或药物疗效

注:ICD,植入型心律转复除颤器;IVUS,血管内超声。

2.3　心电交替与 MB

心电交替是一种心脏电生理风险指标,定义为在稳定心率下 ECG 中 P 波、QRS 波群和 T 波形态逐搏交替。Marcantoni 等[54]应用心率自适应匹配滤波法对 1 例 54 岁男性 MB 患者静息状态下 1 h 的 12 导联 ECG 记录并进行心电交替分析,测量了 P 波、QRS 波群和 T 波交替的面积,并评估了三者中占优势的类型。结果显示,占优势的交替现象是 T 波。该 MB 患者的 T 波交替面积至少是健康男性受试者的两倍,平均 T 波交替面积为 6.3 μV×s,T 波交替面积占优势的比率为 94%。另外,T 波交替面积还与心率显著相关。因此,MB 似乎与较高的心脏电生理风险相关,尤其在高强度运动导致心率升高时更为明显。

3　结语

虽然 ECG 在 MB 诊断中取得了一定进展,但还存在以下局限性:(1)尚缺乏 ECG 对不同类型 MB 的诊断报道;(2)无法准确区分 MB 与其他缺血性疾病;(3)MB 诊断的准确性、灵敏性及特异性还不够,相关研究还不足;(4)还缺乏 ECG 与血流动力学关系的系统研究。

对于胸痛症状不典型且静息 ECG 正常的年轻患者,优先采用 TET 检查,若 TET 中出现一过性 ST-T 段压低(尤其前壁导联),需怀疑 MB 可能,建议行 CCTA 或 CAG 进一步明确诊断。对于 ECG 伪影高风险人群(女性、肥胖和老年),采用“运动前-运动中-恢复期”三阶段 ECG 对比分析,重点观察恢复期 ST 段是否持续压低(≥3 min),以区分真性缺血与伪影干扰;对运动能力受限者(如峰值代谢当量<7 METs),改用腺苷负荷心肌灌注显像,规避运动伪影的同时评估微循环障碍。

未来针对 ECG 在诊断 MB 相关疾病的应用可从以下几方面开展研究:(1)纳入多中心、多民族队列,覆盖不同危险分层患者,设计大规模前瞻性研究验证 ECG 标志物;(2)建立 ECG 特征库后,以其他有效无创或有创影像学方法验证,初步构建诊断模型;(3)验证诊断模型性能,并针对 MB 患者的预后开展相关研究,尝试构建危险分层模型;(4)鉴于人工智能[55-56]在冠状动脉疾病诊断中的优异表现,将人工智能引入 MB 相关冠状动脉疾病的 ECG 分析,或可克服 ECG 信号幅值低、主观误差大、缺乏特异性标志物的难题,提高 ECG 诊断 MB 的灵敏性和特异性。总之,ECG 在 MB 相关疾病诊断中的应用尚有极大的发展空间。

参 考 文 献

[1] Murtaza G, Mukherjee D, Gharacholou SM, et al. An updated review on myocardial bridging[J]. Cardiovasc Revasc Med, 2020, 21(9): 1169-1179.

[2] Siciliano M, Migliore F, Piovesana P. Stress echocardiography pattern: a promising noninvasive test for detection of myocardial bridging with haemodynamic relevance[J]. J Cardiovasc Med (Hagerstown), 2016, 17(suppl 2): e208-e209.

[3] Yu M, Zhou L, Chen T, et al. Myocardia ischemia associated with a myocardial bridge with no significant atherosclerotic stenosis[J]. BMC Cardiovasc Disord, 2015, 15: 165.

[4] Avram A, Chioncel V, Guberna S, et al. Myocardial bridging—An unusual cause of Wellens syndrome: a case report[J]. Medicine (Baltimore), 2020, 99(41): e22491.

[5] Argyrioub M, Filippatosa GS, Antonellisc J, et al. Myocardial infarction and ventricular septal rupture caused by myocardial bridging[J]. Eur J Cardiothorac Surg, 2004, 25(4): 643.

[6] Aden D, Phulware RH, Mittal S, et al. Myocardial bridging—Sudden unexpected death of a young girl: a case report[J]. Indian J Pathol Microbiol, 2022, 65(1): 157-159.

[7] Dursun I, Bahcivan M, Durna K, et al. Treatment strategies in myocardial bridging: a case report[J]. Cardiovasc Revasc Med, 2006, 7(3): 195-198.

[8] Yan HB, Liu C, Hu DY. Current understanding of myocardial bridge: a few new issues[J]. Zhonghua Xin Xue Guan Bing Za Zhi, 2018, 46(4): 252-254.

[9] D'Amario D, Ciliberti G, Restivo A, et al. Myocardial bridge evaluation towards personalized medicine: study design and preliminary results of the RIALTO registry[J]. Eur Heart J Suppl, 2022, 24(suppl H): H48-H56.

[10] Arcari L, Limite LR, Cacciotti L, et al. Tortuosity, recurrent segments, and bridging of the epicardial coronary arteries in patients with the Takotsubo syndrome[J]. Am J Cardiol, 2017, 119(2): 243-248.

[11] Kegai S, Sato K, Goto K, et al. Coexistence of spontaneous coronary artery dissection, Takotsubo cardiomyopathy, and myocardial bridge[J]. JACC Case Rep, 2021, 3(2): 250-254.

[12] Liu YC, Tsai WC, Huang SC, et al. Sudden cardiac arrest with acute myocardial infarction due to myocardial bridging and hypertrophic cardiomyopathy[J]. Circ Cardiovasc Imaging, 2025, 18(2): e016993.

[13] Happach VC, Delk GT, Ganti L. Myocardial bridging, the hidden risk factor for ischemia[J]. Mil Med, 2022, 187(9-10): e1230-e1232.

[14] Milne D, Ramadhin D, Seecheran R, et al. The curious case of pseudo-Wellens' syndrome and myocardial bridging[J]. J Investig Med High Impact Case Rep, 2022, 10: 23247096211073255.

[15] Eftekhar-Vaghefi SH, Pourhoseini S, Movahedi M, et al. Comparison of detection percentage and morphology of myocardial bridge between conventional coronary angiography and coronary CT angiography[J]. J Cardiovasc Thorac Res, 2019, 11(3): 203-208.

[16] Rovera C, Moretti C, Bisanti F, et al. Myocardial bridging: review on the role of coronary computed tomography angiography[J]. J Clin Med, 2023, 12(18): 5949.

[17] Matta A, Nader V, Canitrot R, et al. Myocardial bridging is significantly associated to myocardial infarction with non-obstructive coronary arteries[J]. Eur Heart J Acute Cardiovasc Care, 2022, 11(6): 501-507.

[18] Jubran A, Schnittger I, Tremmel J, et al. Computed tomographic angiography-based fractional flow reserve compared with catheter-based dobutamine-stress diastolic fractional flow reserve in symptomatic patients with a myocardial bridge and no obstructive coronary artery disease[J]. Circ Cardiovasc Imaging, 2020, 13(2): e009576.

[19] Yamada R, Tremmel JA, Tanaka S, et al. Functional versus anatomic assessment of myocardial bridging by intravascular ultrasound: impact of arterial compressionon proximal atherosclerotic plaque[J]. J Am Heart Assoc, 2016, 5(4): e001735.

[20] Rovai D, di Bella G, Pingitore A, et al. Myocardial bridging: a review with

emphasis on electrocardiographic findings[J]. Ann Noninvasive Electrocardiol, 2015,20(2):103-107.

[21] 韩艳丽,王营,姜红菊,等. MB 与冠状动脉粥样硬化关系的探讨[J]. 中国心血管病研究杂志,2006,4(3):197-199.

[22] 陈艳明,王士雯,肖铁卉,等. 有症状冠状动脉 MB 的临床特点分析[J]. 中华老年多器官疾病杂志,2008,7(3):179-181.

[23] 张晋康,蔡盛谢,双伦,等. 冠状动脉 MB 静息心电图及运动试验心电图特征[J]. 岭南急诊医学杂志,2017,22(2):177-178.

[24] Kim SS, Ko SM, Song MG, et al. Systolic luminal narrowing and morphologic characteristics of myocardial bridging of the mid-left anterior descending coronary artery by dual-source computed tomography[J]. Int J Cardiovasc Imaging,2011,27(suppl 1):73-83.

[25] 姜海,徐少华,郭守玉,等. 70 例 MB 患者的心电图特征与冠状动脉造影特点相关性分析[J]. 现代医学,2018,46(11):1247-1252.

[26] 耿黎明,张琳,许献杰. 65 例 MB 临床与心电图特点分析[J]. 中华实用诊断与治疗杂志,2014,28(2):185-187.

[27] 葛利军,李振军,席少静,等. 单纯冠状动脉心肌桥 32 例心电图特征分析[J]. 心电图杂志(电子版),2012,1(1):35-36.

[28] 赵新斌,傅昱,董小波,等. 症状性 MB 患者平板运动试验心电图与运动-静息核素心肌灌注显像的对比研究[J]. 东南大学学报(医学版),2016,41(6):593-599.

[29] Kurisu S, Fujiwara H. A super-elderly case of suspected new-onset vasospastic angina complicated by myocardial bridge[J]. Intern Med, 2024, 63(10): 1377-1380.

[30] Quaranta F, Guerra E, Sperandii F, et al. Myocarditis in athlete and myocardial bridge: an innocent bystander?[J]. World J Cardiol, 2015, 7(5): 293-298.

[31] Aksoy F, Baş HA, Altınbaı A. Nonsymptomatic myocardial bridge causing systolic total narrowing of circumflex artery[J]. J Saudi Heart Assoc, 2018, 30(2): 153-156.

[32] Bagur R, Bertrand OF, Manazzoni JM, et al. Giant left ventricular aneurysm mimicking myocardial bridge[J]. Can J Cardiol, 2011, 27(6): 869. e15-869. e17.

[33] Summers MR, Blauwet LA, Prasad A. Detection of myocardial bridging induced ischaemia during cardiac catheterization by dobutamine-stress electrocardiographic body surface mapping[J]. Eur Heart J, 2012, 33(4): 514.

[34] Cannavale G, Trulli F, Colotto M. Double coronary artery anomaly in an elderly asymptomatic patient with positive electrocardiogram stress test[J]. J Clin Imaging Sci, 2013, 3(1): 68.

[35] Guha D, Mendoza-Garcia FC, Millen KM, et al. Myocardial bridge of the left anterior descending artery causing pseudo-Wellens' syndrome: a report of two cases[J]. Clin Pract Cases Emerg Med, 2023, 7(2): 68-72.

[36] Lin CC, Lai CH, Lin WS, et al. Severe myocardial bridge presenting as paroxysmal atrioventricular block[J]. J Postgrad Med, 2021, 67(3): 171-173.

[37] Ki YJ. Myocardial bridging presenting as myocardial ischaemia induced cardiac arrest: a case report[J]. BMC Cardiovasc Disord, 2021, 21(1): 178.

[38] Bhandari K, Shaha KB, Bohara K, et al. Acute myocardial infarction or Takotsubo syndrome in a patient with stunned myocardium due to myocardial bridging? A case report of diagnostic dilemma clarified after serial workup[J]. BMC Cardiovasc Disord, 2024, 24(1): 476.

[39] Hermes-Laufer J, Niederseer D, Karolyi M, et al. Myocardial infarction by a myocardial bridge in the LAD combined with atrioventricular re-entrant supraventricular tachycardia[J]. JACC Case Rep, 2022, 4(17): 1115-1118.

[40] 郭伟达. MB 患者的运动平板心电图及动态心电图的分析[C]. 广州:国际数字医学会数字中医药分会年会暨第二届数字中医药学术交流会,2017.

[41] 李同,范丹丹,熊美红,等. 12 导联动态 ECG 在评价 MB 引起心肌缺血患者中的临床价值[J]. 中国医药指南,2021,19(11):92-93.

[42] Tascanov MB, Tanriverdi Z, Gungoren F, et al. The relationship between myocardial bridge and frontal QRS-T angle[J]. J Arrhythm, 2022, 38(5): 772-777.

[43] Askin L, Tanriverdi O. Evaluation of index of cardio-electrophysiological balance in patients with coronary slow flow[J]. Acta Cardiol, 2022, 77(4): 337-341.

[44] Aktar Ulukapi N, Kirel B, Kiztanir H, et al. Evaluation of heart rate variability, QT dispersion, and Tp-e interval in pediatric subclinical hypothyroidism[J]. Pediatric Res, 2024, Nov 24. DOI: 10.1038/s41390-024-03759-3.

[45] Kaya H, Suner A, Koparal M, et al. Evaluation of Tp-e interval, Tp-e/QT ratio and index of cardiac-electrophysiological balance in patients with tinnitus[J]. BMC Cardiovasc Disord, 2021, 21(1): 415.

[46] Aksan G, Nar G, İnci S, et al. Exercise-induced repolarization changes in patients with isolated myocardial bridging[J]. Med Sci Monit, 2015, 21: 2116-2124.

[47] Yıldırım E, İpek E, Kalkan K, et al. The relationship between myocardial bridge and electrocardiographic Tp-e interval, Tp-e/QT and Tp-e/QTc ratio[J]. Haseki Tıp Bülten, 2017, 55(1): 21-26.

[48] Nafakhi H, Al-Mosawi AA, Hassan MB, et al. ECG changes and markers of increased risk of arrhythmia in patients with myocardial bridge[J]. J Electrocardiol, 2019, 56: 90-93.

[49] Nafakhi H, Al-Mosawi AA, Kasim S. Myocardial bridge anatomical characteristics relationship with ECG changes and markers[J]. Artery Res, 2020, 26(2): 84-88.

[50] 李红旗,宁宇星,汪子燕,等. MB 合并冠心病患者的心电参数及预后研究[J]. 安徽理工大学学报(自然科学版),2024,44(1):103-108.

[51] Li J, Yu H, Cui L, et al. The ratio of QRS/RV_6-V_1: a new electrocardiographic predictor of short- and long-term adverse clinical outcomes in patients with acute myocardial infarction combined with new-onset right bundle branch block[J]. Cardiovasc Med, 2023, 10: 1129235.

[52] Giraudi S, Severgnini B, Valli P, et al. A case of asymptomatic ST segment changes in cyclist with two myocardial bridges[J]. J Health Soc Sci, 2017, 2(3): 323-328.

[53] Zhao X, Fu Y, Dong X, et al. Comparison between treadmill exercise test and stress-rest myocardial perfusion imaging in myocardial bridge with symptoms[J]. Zhong Nan Da Xue Xue Bao Yi Xue Ban, 2016, 41(6): 593-599.

[54] Marcantoni I, di Menna A, Rossini F, et al. Electrocardiographic alternans in myocardial bridge: a case report[J]. Comput Cardiol, 2020, 47: 1-4.

[55] Choi SH, Lee HG, Park SD, et al. Electrocardiogram-based deep learning algorithm for the screening of obstructive coronary artery disease[J]. BMC Cardiovasc Disord, 2023, 23(1): 287.

[56] Tan JH, Hagiwara Y, Pang W, et al. Application of stacked convolutional and long short-term memory network for accurate identification of CAD ECG signals[J]. Comput Biol Med, 2018, 94(2): 19-26.

收稿日期:2025-02-02