

• 论著—研究报告 •

心电图 $SV_3 + RV_5/V_6$ 标准在诊断马拉松跑者左心室肥厚中的价值*

杨盼¹ 江姝¹ 葛志祥¹ 柯海燕² 徐敏¹ 邢伟³

[摘要] 目的:测试心电图 $SV_3 + RV_5/V_6$ 标准诊断马拉松跑者左心室肥厚(LVH)的价值。方法:选取常州市参加 A1 类认证赛事达标的马拉松跑者 112 名,收集一般临床信息。采用心电自动分析仪进行心电图检查,超声心动图仪获取左心室的实时三维超声心动图(RT-3DE)图像,计算左心室质量指数(LVMI)。根据美国超声心动图学会诊断 LVH 的 LVMI 标准,将受试马拉松跑者分为 LVMI 正常组(96 例)及 LVH 组(16 例)。按性别分层,使用多元线性回归分析心电图 $SV_3 + RV_5/V_6$ 标准与马拉松跑者 LVH 的相关性,并与 Cornell 标准($SV_3 + R_{aVL}$)、改良 Cornell 标准($S_D + R_{aVL}$)、Sokolow-Lyon 标准($SV_1 + RV_5/V_6$)及 Peguero-Lo Presti 标准($S_D + SV_4$)进行比较。绘制受试者操作特征(ROC)曲线并筛选出最佳诊断效能的心电图标准。结果:在所有马拉松跑者中,心电图标准 $SV_3 + RV_5/V_6$ 、 $SV_1 + RV_5/V_6$ 、 $SV_3 + R_{aVL}$ 、 $S_D + R_{aVL}$ 及 $S_D + SV_4$ 识别马拉松跑者 LVH 具有统计学意义(均 $P < 0.05$)。按性别分层,在无校正及校正混杂因素(年龄、BMI 及高血压史)后,线性回归分析显示,与 LVMI 正常组相比,心电图标准 $SV_3 + RV_5/V_6$ 及 $SV_3 + R_{aVL}$ 在 LVH 组增高,均差异有统计学意义(均 $P < 0.05$)。ROC 分析显示, $SV_3 + RV_5/V_6$ 标准的曲线下面积(AUC)大于 $SV_3 + R_{aVL}$ 标准(0.879 vs 0.800, $P < 0.05$)。曲线拟合显示,马拉松跑者心电图 $SV_3 + RV_5/V_6$ 值随 LVMI 的增加逐渐增加,二者呈近似的线性正相关。结论:心电图 $SV_3 + RV_5/V_6$ 标准与马拉松跑者 LVH 相关。

[关键词] 左心室肥厚;马拉松跑者;心电图; $SV_3 + RV_5/V_6$ 标准

DOI:10.13201/j.issn.1001-1439.2024.01.011

[中图分类号] R542.2 **[文献标志码]** A

The value of the electrocardiogram $SV_3 + RV_5/V_6$ criteria in the diagnosis of left ventricular hypertrophy in marathon runners

YANG Pan¹ JIANG Shu¹ GE Zhixiang¹ KE Haiyan² XU Min¹ XING Wei³

(¹Echocardiography Room, ²Department of Cardiology, ³Department of Imaging, the Third Affiliated Hospital of Soochow University, the First People's Hospital of Changzhou, Suzhou, Jiangsu, 213003, China)

Corresponding author: XING Wei, E-mail: suzhxingwei@126.com

Abstract Objective: To assess the value of electrocardiogram (ECG) $SV_3 + RV_5/V_6$ criteria for diagnosing left ventricular hypertrophy (LVH) in marathons. **Methods:** A total of 112 marathon runners who met the requirements for "Class A1" events certified by the Chinese Athletics Association in Changzhou City were selected, and their general clinical information was collected. ECG examinations were performed using Cardimax Electrocardiograph Automatic Analyser. Real-time 3-dimensional echocardiography (RT-3DE) images of the left ventricle were performed using an echocardiography system to calculate the left ventricular mass index (LVMI). According to the LVMI criteria of the American Society of Echocardiography for the diagnosis of LVH, the participants were divided into the LVMI normal group ($n = 96$) and the LVH group ($n = 16$). The correlation between the ECG $SV_3 + RV_5/V_6$ criteria and LVH in marathon runners was analysed using multiple linear regression stratified by sex and compared with the Cornell ($SV_3 + R_{aVL}$), modified Cornell ($S_D + R_{aVL}$), Sokolow-Lyon ($SV_1 + RV_5/V_6$) and Peguero-Lo Presti ($S_D + SV_4$) criteria. The receiver operating characteristic (ROC) curves were drawn and the ECG criteria with the best diagnostic efficiency were selected. **Results:** In all marathon runners, the ECG parameters $SV_3 + RV_5/V_6$, $SV_1 + RV_5/V_6$, $SV_3 + R_{aVL}$, $S_D + R_{aVL}$, and $S_D + SV_4$ were able to identify LVH (all $P <$

*基金项目:常州市卫健委青年项目(No:QN202208);常州市“十四五”卫生健康高层次人才培养项目(No:2022260)

¹苏州大学附属第三医院(常州市第一人民医院)心超室(江苏常州,213003)

²苏州大学附属第三医院(常州市第一人民医院)心内科

³苏州大学附属第三医院(常州市第一人民医院)影像科

通信作者:邢伟, E-mail: suzhxingwei@126.com

0.05)。When stratified by sex, linear regression analysis revealed that a significantly higher number of ECG SV_3+RV_5/V_6 criteria were evident in the LVH group than in the LVMI normal group ($P<0.05$), both with no adjustment and after adjustment (including age, body mass index and history of hypertension). ROC analysis showed that the area under the ROC curve (AUC) of ECG SV_3+RV_5/V_6 criteria was higher than that of SV_3+R_{aVL} criteria (0.879 vs 0.800, $P<0.05$). Additionally, curve fitting showed that the ECG SV_3+RV_5/V_6 values increased with increasing LVMI in marathon runners, exhibiting a nearly linear positive correlation. **Conclusion:** The ECG SV_3+RV_5/V_6 criteria is correlated with LVH in marathon runners.

Key words left ventricular hypertrophy; Marathon runners; electrocardiogram; SV_3+RV_5/V_6 criteria

近年来,随着马拉松比赛的兴起,越来越多的马拉松爱好者参与这项运动,但马拉松运动员猝死的发生率在 0.54/10 万~2.1/10 万,这些猝死很多都和心源性猝死(sudden cardiac death, SCD)有关^[1-2]。马拉松运动时由于骨骼肌运动量较大,肺通气和心输出量急剧增加,机体的代谢状态会发生显著变化,逐渐出现心脏血流动力学、心脏电生理的改变。这些心脏改变可能引起运动员心律失常甚至猝死发生,其中 35 岁以上马拉松运动员的死因主要为冠心病,35 岁以下的死因主要为心肌肥厚^[3]。2012 年 Trivax 等^[4]提出了“菲迪皮茨心脏病”的概念,认为像马拉松这种剧烈和持续的心脏运动所导致的心脏改变也是一种心肌病,用以解释少数高强度运动训练的个体,即使没有冠心病、瓣膜病或先天性心脏病,却发生了 SCD。这可能是由于长期的高强度耐力训练所引起的生理性适应及重塑,即出现“运动员心脏”^[5]。此外,运动导致的心脏重塑也会受到包括年龄、性别、体表面积和种族等因素的影响^[6]。

左心室肥厚(left ventricular hypertrophy, LVH)最常出现于心脏长期负荷增加的各种情况中。LVH 可被经胸超声心动图识别,也可以反映在心电图中。心电图是诊断 LVH 最经济和方便的检查方式,临床诊断 LVH 常用的心电图标准是 Cornell 标准(SV_3+R_{aVL})和 Sokolow-Lyon 标准(SV_1+RV_5/V_6)^[7]。此外,近年来有研究提出的改良 Cornell 标准(S_D+R_{aVL})和 Peguero-Lo Presti 标准(S_D+SV_4)同样有较好的诊断价值,但这些标准常用于诊断高血压相关 LVH,是否同样适用于马拉松相关 LVH 少见报道^[8-9]。为优化马拉松相关 LVH 的心电图诊断标准,本研究利用实时三维超声心动图(real-time three-dimensional echocardiography, RT-3DE)获取马拉松跑者的左心室质量(left ventricular mass, LVM),结合各心电图指标,寻找最佳标准,以早期发现马拉松跑者是否存在 LVH。

1 对象与方法

1.1 对象

选取常州市参加中国田径协会认证的 A1 类赛事达标的马拉松跑者 112 名(男性 69 人,女性 43 人),年龄 28~65 岁。排除标准:心功能不全[左心

室射血分数(left ventricular ejection fraction, LVEF) $<52\%$ (男性)或 $<53\%$ (女性)]^[10];既往心脏手术史;冠心病;心律失常;先天性心脏病;心脏瓣膜疾病;心肌病;肺部、肝肾、免疫性、血液性、精神疾病;超声心动图声窗透声不佳。本研究经我院医学伦理委员会批准[No:(2022)科第 177 号],受试者均签署知情同意书。

1.2 一般临床资料收集

收集年龄、身高、体重、血压、体表面积(BSA)、体质指数(BMI)、抽烟史、饮酒史、高血压史、糖尿病史、猝死家族史、马拉松跑龄、平时月跑量、全程马拉松赛次数、全程马拉松赛最好成绩、半程马拉松赛次数、半程马拉松赛最好成绩等。其中马拉松跑龄分为跑龄 <1 年、 1 年 \leq 跑龄 <3 年、 3 年 \leq 跑龄 <6 年及跑龄 ≥ 6 年四个等级,平时月跑量分为月跑量 <60 km、 60 km \leq 月跑量 <100 km、 100 km \leq 月跑量 <200 km、 200 km \leq 月跑量 <300 km 及月跑量 ≥ 300 km 五个等级。

1.3 心电图检查

使用心电图自动分析仪进行检查,受试者检查前安静休息 10 min 以消除紧张感。采用明尼苏达编码标准进行编码,走纸速度为 25 mm/s,定标电压为 10 mm/mV。按常规位置放置电极,平卧位记录 12 导联心电图,每一导联记录 4~6 个心动周期,要求心电图基线平稳、无干扰且图形清晰。所有心电图指标的测量和计算均参照《心电图标准化和解析的建议与临床应用国际指南 2009》^[11]。由 2 名医师独立测量基线平稳的连续 3 个心动周期,取其平均值。 S_D 为心前区及肢体导联最深 S 或 QS 振幅的电压值, RV_5/V_6 表示取导联 V_5 、 V_6 中 R 波振幅较大的电压值。记录所有受试者的心电图 SV_1 、 SV_3 、 SV_4 、 R_{aVL} 、 RV_5/V_6 及 S_D 值。

1.4 超声心动图检查

心电图检查的同一天行超声心动图检查。使用超声心动图仪,探头 X5-1,频率 1~5 MHz。患者左侧卧位,同步连接肢体导联心电图,于标准心尖四腔心切面取得满意的二维图像后,嘱受检者呼气末屏气,启动三维全容积显像模式,收集至少 4 个心动周期的 RT-3DE 图像。将图像脱机后使用定量分析软件的 3DQ 功能,于左心室舒张末期选取清晰的心尖四腔心及两腔心切面图像,手动勾勒

出左室内膜边界及心外膜边界,软件自动计算出 LVM 及 LVEF。所有数据均由两名主治以上医生独立判读后取平均值。计算左心室质量指数(left ventricular mass index, LVMI): $LVMI = LVM/BSA$ 。根据美国超声心动图学会(American Society of Echocardiography, ASE)的诊断标准, LVH 定义为:男性 $LVMI > 115 \text{ g/m}^2$, 女性 $LVMI > 95 \text{ g/m}^2$ [12]。

1.5 统计学处理

采用 SPSS 25.0 和 MedCalc 20.0 进行数据分析。符合正态分布的计量资料以 $\bar{X} \pm S$ 表示,组间比较采用非配对的 t 检验;非正态分布时以 P_{50} (P_{25}, P_{75}) 表示,组间比较采用 Mann-Whitney 检验。计数资料以例(%)表示,采用 χ^2 检验或 Fisher 精确检验。设双侧 $\alpha = 0.05$,把握度为 80%,利用样本量计算公式得到样本量。通过设定两种结果变量的策略以弥补样本量不足,将 LVMI 分别按照数值变量及二分类变量进行分析,以获得更高的效能。使用多元线性回归模型来检测各心电图标准与马拉松跑者 LVH 的相关性。使用两个模型来估计关联:模型 1 无校正,模型 2 根据年龄、BMI、高血压史进行校正。绘制受试者操作特征曲线(receive operating characteristic curve, ROC 曲

线)评估入选标准的诊断效能,并计算其曲线下面积(area under ROC curve, AUC)、灵敏度和特异度,采用 Z 检验比较 AUC。曲线拟合显示两个变量间的相关性及变化趋势。采用双侧检验, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 一般临床资料及心电图、超声心动图资料

根据 LVMI 标准将所有马拉松跑者分为 LVMI 正常组(96 例)及 LVH 组(16 例)。按性别分层,将男性及女性马拉松跑者同样分成 LVMI 正常组(男性 59 例,女性 37 例)及 LVH 组(男性 10 例,女性 6 例)。所有马拉松跑者中, LVMI 正常组及 LVH 组间性别、年龄、BSA、BMI、收缩压、舒张压、抽烟史、饮酒史、高血压史、糖尿病史、猝死家族史、LVEF、马拉松跑龄、平时月跑量、半程马拉松赛次数、半程马拉松赛最好成绩、全程马拉松赛次数、全程马拉松赛最好成绩比较,均差异无统计学意义;两组间 LVMI、 $SV_3 + RV_5/V_6$ 、 $SV_1 + RV_5/V_6$ 、 $SV_3 + R_{aVL}$ 、 $S_D + R_{aVL}$ 、 $S_D + SV_4$ 比较,均差异有统计学意义(均 $P < 0.05$)。LVH 组的超声心动图指标 LVMI 值,以及心电图指标 $SV_3 + RV_5/V_6$ 、 $SV_1 + RV_5/V_6$ 、 $SV_3 + R_{aVL}$ 、 $S_D + R_{aVL}$ 、 $S_D + SV_4$ 值均大于 LVMI 正常组(均 $P < 0.05$)。见表 1。

表 1 所有受试者一般临床特征及心电图、超声心动图资料
 Table 1 General clinical characteristics and electrocardiogram, echocardiography indicators 例(%), $\bar{X} \pm S$

项目	LVMI 正常组(96 例)	LVH 组(16 例)	P 值
男性	59(61.46)	10(62.50)	0.937
年龄/岁	45.74 ± 7.21	49.31 ± 8.12	0.174
BSA/m ²	1.71 ± 0.17	1.68 ± 0.14	0.503
BMI/(kg/m ²)	22.83 ± 2.47	23.38 ± 1.51	0.389
收缩压/mmHg	131.89 ± 15.87	138.09 ± 16.78	0.148
舒张压/mmHg	80.39 ± 10.19	85.38 ± 12.65	0.132
抽烟史	15(15.63)	3(18.75)	0.555
饮酒史	24(25.00)	4(25.00)	0.660
高血压史	10(10.42)	3(18.75)	0.329
糖尿病史	1(1.04)	1(6.25)	0.266
猝死家族史	2(2.08)	0	0.564
LVEF/%	64.71 ± 2.16	63.69 ± 3.55	0.117
男性 LVMI/(g/m ²)	89.08 ± 12.74	127.75 ± 8.42	<0.001
女性 LVMI/(g/m ²)	80.00 ± 9.82	107.88 ± 11.68	<0.001
$SV_3 + RV_5/V_6/mV$	2.65 ± 0.96	4.06 ± 0.86	<0.001
$S_D + SV_4/mV$	2.01 ± 1.01	2.57 ± 1.11	0.043
$SV_1 + RV_5/V_6/mV$	2.55 ± 0.86	3.32 ± 1.10	0.002
$SV_3 + R_{aVL}/mV$	1.15 ± 0.62	1.82 ± 0.57	<0.001
$S_D + R_{aVL}/mV$	1.63 ± 0.62	1.99 ± 0.58	0.034
马拉松跑龄			0.646
跑龄 < 1 年	7(7.29)	0	
1 年 ≤ 跑龄 < 3 年	37(38.54)	6(37.50)	
3 ≤ 跑龄 < 6 年	35(36.45)	8(50.00)	
跑龄 ≥ 6 年	17(17.70)	2(12.50)	

续表 1

项目	LVMi 正常组(96 例)	LVH 组(16 例)	P 值
平时月跑量			0.196
月跑量 < 60 km	10(10.42)	1(6.25)	
60 km ≤ 月跑量 < 100 km	17(17.71)	0	
100 km ≤ 月跑量 < 200 km	36(37.50)	8(50.00)	
200 km ≤ 月跑量 < 300 km	29(30.21)	6(37.50)	
≥ 300 km	4(4.17)	1(6.250)	
半程马拉松赛次数	16.26 ± 22.35	11.81 ± 12.10	0.440
半程马拉松赛最好成绩/min	110.06 ± 23.89	108.27 ± 10.92	0.786
全程马拉松赛次数	4.05 ± 6.35	2.06 ± 3.26	0.224
全程马拉松赛最好成绩/min	236.08 ± 34.83	257.69 ± 46.20	0.165

2.2 多元线性回归分析

分别建立模型 1(无校正)、模型 2(按年龄、BMI、高血压史校正)用于调整潜在混杂因素。按性别分层,回归分析显示,在男性马拉松跑者中,与 LVMi 正常组比较, LVH 组的心电图指标中 SV_3+RV_5/V_6 、 SV_3+R_{aVL} 、 SV_1+RV_5/V_6 在两种模型中均差异有统计学意义(均 $P < 0.05$),见表 2;在女性马拉松跑者中,与 LVMi 正常组比较, LVH 组的心电图指标中 SV_3+RV_5/V_6 、 SV_3+R_{aVL} 在两种模型中均差异有统计学意义(均 $P < 0.05$),见表 3。故心电图指标 SV_3+RV_5/V_6 、 SV_3+R_{aVL} 诊断不同性别的马拉松跑者 LVH 均有统计学意义(均 $P < 0.05$)。

2.3 诊断效能分析

ROC 曲线显示,在所有马拉松跑者中,心电图指标 SV_3+RV_5/V_6 诊断 LVH 的 AUC 高于指标

SV_3+R_{aVL} (0.879 vs 0.800),两种诊断指标间的效能差异有统计学意义($Z = 2.300, P = 0.021$),见图 1 和表 4。

按性别分层,心电图指标 SV_3+RV_5/V_6 诊断男性马拉松跑者 LVH 的截断值为 3.71 mV,特异度为 83.05%,灵敏度为 90.00%;心电图指标 SV_3+RV_5/V_6 诊断女性马拉松跑者 LVH 的截断值为 2.74 mV,特异度为 97.30%,灵敏度为 100.00%。见表 5。

2.4 曲线拟合

按性别分层,曲线拟合检验心电图指标 SV_3+RV_5/V_6 和 LVMi 之间的相关性及其变化趋势。结果显示,在不同性别的马拉松跑者中,指标 SV_3+RV_5/V_6 随马拉松跑者 LVMi 的增加逐渐增加,二者呈近似线性正相关(均自由度 1.000, $P < 0.05$),见图 2。

表 2 男性马拉松跑者心电图指标的线性回归分析结果

Table 2 Linear regression analysis results of electrocardiogram indicators in male marathon runners

项目	模型 1(无校正)			模型 2(按年龄、BMI、高血压史校正)		
	B	95%CI	P 值	B	95%CI	P 值
SV_3+RV_5/V_6						0.002
LVMi 正常组		参考			参考	
LVH 组	1.315	0.709~1.921	<0.001	1.02	0.390~1.650	
S_D+R_{aVL}						0.17
LVMi 正常组		参考			参考	
LVH 组	0.466	0.045~0.886	0.031	0.294	-0.129~0.718	
S_D+SV_4						0.303
LVMi 正常组		参考			参考	
LVH 组	0.716	-0.016~1.448	0.055	0.381	-0.353~1.115	
SV_3+R_{aVL}						0.013
LVMi 正常组		参考			参考	
LVH 组	0.648	0.231~1.064	0.003	0.566	0.122~1.010	
SV_1+RV_5/V_6						0.028
LVMi 正常组		参考			参考	
LVH 组	1.067	0.486~1.649	<0.001	0.668	0.076~1.261	

表 3 女性马拉松跑者心电图指标的线性回归分析结果
 Table 3 Linear regression analysis results of electrocardiogram indicators in female marathon runners

项目	模型 1(无校正)			模型 2(按年龄、BMI、高血压史校正)		
	B	95%CI	P 值	B	95%CI	P 值
SV_3+RV_5/V_6						<0.001
LVMI 正常组		参考			参考	
LVH 组	1.529	1.096~1.962	<0.001	1.598	1.134~2.062	
S_D+R_{aVL}						0.346
LVMI 正常组		参考			参考	
LVH 组	0.162	-0.204~0.528	0.377	0.179	-0.200~0.557	
S_D+SV_4						0.147
LVMI 正常组		参考			参考	
LVH 组	0.293	-0.191~0.776	0.228	0.373	-0.137~0.882	
SV_3+R_{aVL}						<0.001
LVMI 正常组		参考			参考	
LVH 组	0.687	0.377~0.997	<0.001	0.679	0.350~1.008	
SV_1+RV_5/V_6						0.357
LVMI 正常组		参考			参考	
LVH 组	0.235	-0.380~0.850	0.444	0.305	-0.357, 0.966	

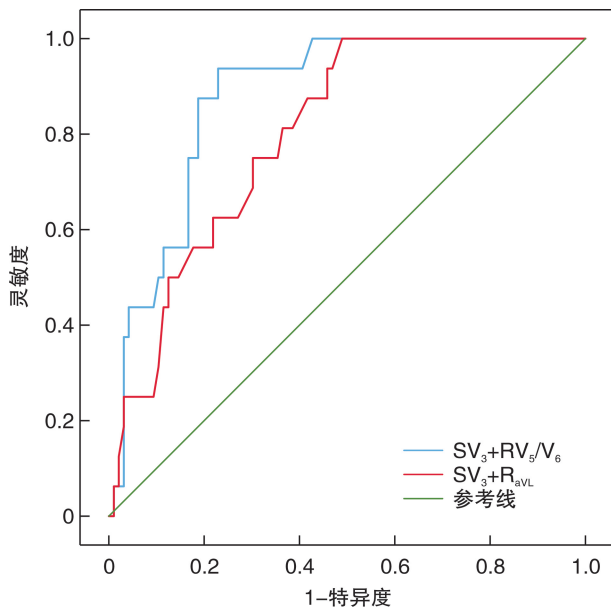


图 1 SV_3+RV_5/V_6 和 SV_3+R_{aVL} 诊断马拉松跑者 LVH 的 ROC 曲线

Figure 1 ROC curves of SV_3+RV_5/V_6 and SV_3+R_{aVL} in diagnosing LVH in marathon runners

表 4 SV_3+RV_5/V_6 和 SV_3+R_{aVL} 诊断马拉松跑者 LVH 的效能

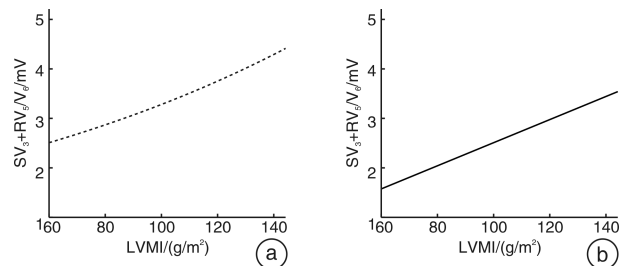
Table 4 The efficiency of SV_3+RV_5/V_6 and SV_3+R_{aVL} in diagnosing LVH in marathon runners

指标	AUC	截断值 /mV	特异度 /%	灵敏度 /%	约登指数
SV_3+RV_5/V_6	0.879	3.21	77.08	93.75	0.71
SV_3+R_{aVL}	0.800	1.05	52.14	99.94	0.52

表 5 SV_3+RV_5/V_6 诊断不同性别马拉松跑者 LVH 的效能

Table 5 The efficacy of SV_3+RV_5/V_6 in diagnosing LVH in marathon runners with different genders

性别	截断值/mV	特异度/%	灵敏度/%	约登指数
男性	3.71	83.05	90.00	0.73
女性	2.74	97.30	100.00	0.97



a: 男性; b: 女性。

图 2 SV_3+RV_5/V_6 与 LVMI 的相关性分析

Figure 2 Correlation analysis between SV_3+RV_5/V_6 and LVMI

3 讨论

马拉松是一种高强度的耐力运动,在跑步过程中,机体的代谢状态会发生显著变化,这些变化会影响心脏稳态,逐渐出现心脏血流动力学、心脏电生理的改变^[4]。长期的高强度耐力训练下,运动员的心脏会出现生理性适应及重塑,可能会导致“运动员心脏”,包括心室增大、心肌肥厚、心输出量增加及静息心率下降等^[5,13]。Pelliccia 等^[14]发现,约有 2% 训练有素的成年男性运动员左心室壁厚度

轻微增加(13~15 mm),15%的左心室扩大超过60 mm。心室的增大及心肌的增厚均可使LVM增大。而Ghorayeb等^[15]研究发现,高强度体育锻炼导致的压力和容量超负荷仅代表了LVH进展中的血流动力学刺激,不一定会出现心肌病理性肥厚中的神经体液变化,运动相关的LVH似乎仅限于肌细胞,并不改变细胞外基质,也不会引起间质纤维化。Prior等^[5]研究发现,运动刺激的左心室重塑通常被称为“生理性”反应,“病理性”LVH的分子递质(利钠肽、血管活性激素和儿茶酚胺)与那些运动介导LVH的分子递质(营养激素,如胰岛素样生长因子)有很大不同。这些表现均不同于高血压相关的LVH。目前尚无马拉松跑者正常左心室厚度及质量的参考标准,本研究参照ASE的标准,根据RT-3DE测定的LVMI定义LVH,观察心电图指标在不同人群的分布,以筛查更加适用于马拉松跑者LVH的心电图指标,以利于有效提供医疗服务。

马拉松参赛前的心电图筛查对于降低比赛期间的猝死风险可能特别重要。马拉松户外比赛时,心电图检查也常应用于发现心律失常等。Herm等^[16]曾于马拉松赛中为109名运动员佩戴了便携式心电图记录仪来监测比赛中的心律失常。Lasocka等^[17]对比业余马拉松跑者赛前和赛后的心电图变化,发现男性跑者表现出更多的运动诱发的心电图异常。医生可能需要解释这些运动员的各种心电图异常,马拉松运动员与训练相关的心电图异常都很常见,包括窦性心动过缓、窦性心律失常和左心室高压等^[18]。

十二导联心电图是临床中诊断LVH最经济和方便的检查方式,通常可通过检测心肌电活动的电压变化来反映LVH。在正常左心室中,心肌除极的平均向量主要是水平的,心前区导联 V_3 将记录1个等电位QRS波。LVH时心室激动的顺序仍与正常相同,但由于肥厚的左心室除极面增大,同时位置向左、向下及向后方不同程度偏移,使左心室壁除极的QRS向量环方向和大小发生改变,即QRS向量环更偏向左后方,且振幅增大、电压增高及时间延长,表现在心电图上为导联 V_3 和 V_4 的S波振幅增加,导联 V_5 和 V_6 的R波振幅增加^[9]。故任何单一导联的最大电压均不能代表整体左心室的除极结果。目前LVH常用的国际心电图诊断标准是Cornell标准和Sokolow-Lyon标准,在诊断高血压相关LVH方面得到较多验证^[19]。此外,国内外还开发了一系列与LVH相关的衍生心电图标准,多以性别分组研究^[8-9]。本研究显示, $SV_3 + RV_5/V_6$ 标准、Cornell标准和Sokolow-Lyon标准在男性马拉松跑者中与LVH相关,但在女性跑者中仅 $SV_3 + RV_5/V_6$ 标准和

Cornell标准与LVH相关。Porthan等^[20]发现,Cornell标准倾向于识别女性LVH,Sokolow-Lyon标准倾向于识别男性LVH,这与本研究的结果相似。原因可能与男女性体型、性激素等内分泌的不同和女性乳房的影响有关,进一步证实LVH的心电图诊断标准在男女性别间存在差异。

本研究通过RT-3DE获取马拉松跑者的超声心动图数据,根据ASE标准筛选出LVH者。相比二维超声心动图,RT-3DE能适应增厚的心室壁的解剖位置差异,可以提供最准确的LVM测值^[21-22]。未选择心脏磁共振评估LVH,是考虑到马拉松的户外复杂情况、磁共振的高成本及偏远地区的普及度,超声心动图较其更适用及普遍。本研究按性别分层,建立两种模型调整混杂因素,验证不同性别下LVH与所有心电图指标的关系,多元回归分析显示,心电图指标 $SV_3 + RV_5/V_6$ 、 $SV_3 + R_{aVL}$ 可不受性别影响与马拉松跑者LVH相关,进一步ROC曲线分析发现,指标 $SV_3 + RV_5/V_6$ 诊断马拉松跑者LVH具有最佳诊断效能,曲线拟合证实不同性别马拉松跑者的心电图 $SV_3 + RV_5/V_6$ 值与LVMI呈近似线性正相关。

本研究结果不同于常用的LVH心电图诊断标准的原因,可能是马拉松跑者的心电图是在定期运动后的生理性心脏适应和长期高强度运动后的独特心电图学表现。Sharma等^[23]发现,高血压等病理性LVH还会出现其他的心电图特征,如下壁导联和侧壁导联的T波倒置、ST段压低和病理性Q波,而运动员训练相关LVH的心电图变化则仅表现为孤立存在的高QRS电压,与本研究的结论相似。此外,马拉松跑者除了要考虑LVH的影响外,还须同时考虑肺部形态改变和肺功能变化对心脏电活动产生的影响。长期马拉松赛跑同样会引起肺部的适应性改变,尤其是肺容积的增大会进一步使心脏稍向下偏移,进一步使左心室壁除极的QRS向量环方向和大小发生改变^[24-25]。心电图导联 V_3 、 V_5/V_6 的电压变化更能反映LVH及肺容积增大情况下左心室的心肌电活动。

综上所述,心电图 $SV_3 + RV_5/V_6$ 标准可以便捷、动态地反映马拉松跑者LVH,对预防SCD,同时对指导运动员以及普通长跑人群合理开展运动有重要意义。本研究尚存在一些局限性:首先,样本量偏小;其次,忽视了心电图在部分少见LVH中的低敏感性,如心肌淀粉样变等;此外,马拉松跑者的长期不良心脏事件随访尚未结束。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] Schwabe K, Schwellnus M, Derman W, et al. Medical complications and deaths in 21 and 56 km road race runners: a 4-year prospective study in 65,865 runners-

- SAFER study I[J]. *Br J Sports Med*, 2014, 48(11): 912-918.
- [2] Beutler J, Schmid E, Fischer S, et al. Sudden cardiac death during a city marathon run[J]. *Anaesthesist*, 2015, 64(6): 451-455.
- [3] 张承铎,徐顺霖,高炜. 马拉松运动的 心脏安全性与风险防范[J]. *中华心血管病杂志*, 2020, 48(2): 100-103.
- [4] Trivax JE, McCullough PA. Phidippides cardiomyopathy: a review and case illustration[J]. *Clin Cardiol*, 2012, 35(2): 69-73.
- [5] Prior DL, La Gerche A. The athlete's heart[J]. *Heart*, 2012, 98(12): 947-955.
- [6] 盛小花,游江军,李琳. 心室舒张末期直径比在高海拔汉族、藏族、回族成人先天性心脏病相关肺动脉高压中的研究[J]. *临床心血管病杂志*, 2022, 38(4): 323-327.
- [7] Hancock EW, Deal BJ, Mirvis DM, et al. AHA/ACC/HRS recommendations for the standardization and interpretation of the electrocardiogram: part V: electrocardiogram changes associated with cardiac chamber hypertrophy: a scientific statement from the American Heart Association Electrocardiography and Arrhythmias Committee, Council on Clinical Cardiology; the American College of Cardiology Foundation; and the Heart Rhythm Society. Endorsed by the International Society for Computerized Electrocardiology[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2009, 53(11): 992-1002.
- [8] 朱韵,葛志祥,张春旭,等. 改良的心电图 Cornell 标准在诊断高血压左心室构型改变中的价值[J]. *中华高血压杂志*, 2021, 29(4): 343-348.
- [9] Peguero JG, Lo Presti S, Perez J, et al. Electrocardiographic Criteria for the Diagnosis of Left Ventricular Hypertrophy[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2017, 69(13): 1694-1703.
- [10] 中华医学会超声医学分会超声心动图学组. 中国成年人超声心动图检查测量指南[J]. *中华超声影像学杂志*, 2016, 25(8): 645-666.
- [11] 中国心电学会,中国心律学会,编译. 心电图标准化和解析的建议与临床应用国际指南 2009[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2009.
- [12] Marwick TH, Gillebert TC, Aurigemma G, et al. Recommendations on the use of echocardiography in adult hypertension: a report from the European Association of Cardiovascular Imaging (EACVI) and the American Society of Echocardiography (ASE) [J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2015, 28(7): 727-754.
- [13] Heidbuchel H, Prior DL, La Gerche A. Ventricular arrhythmias associated with long-term endurance sports: what is the evidence? [J]. *Br J Sports Med*, 2012, 46(Suppl 1): i44-i50.
- [14] Pelliccia A, Maron BJ, De Luca R, et al. Remodeling of left ventricular hypertrophy in elite athletes after long-term deconditioning [J]. *Circulation*, 2002, 105(8): 944-949.
- [15] Ghorayeb N, Batlouni M, Pinto IM, et al. Left ventricular hypertrophy of athletes: adaptive physiologic response of the heart[J]. *Arq Bras Cardiol*, 2005, 85(3): 191-197.
- [16] Herm J, Töpper A, Wutzler A, et al. Frequency of exercise-induced ST-T-segment deviations and cardiac arrhythmias in recreational endurance athletes during a marathon race: results of the prospective observational Berlin Beat of Running study[J]. *BMJ Open*, 2017, 7(8): e015798.
- [17] Lasocka Z, Da browska-Kugacka A, Kaleta AM, et al. Electrocardiographic Changes in Male and Female Amateur Marathon Runners: A Comparison Study [J]. *Int J Sports Med*, 2021, 42(10): 936-944.
- [18] Wen X, Huang YM, Shen TH, et al. Prevalence of abnormal and borderline electrocardiogram changes in 13,079 Chinese amateur marathon runners[J]. *BMC Sports Sci Med Rehabil*, 2021, 13(1): 41.
- [19] Tomita S, Ueno H, Takata M, et al. Relationship between electrocardiographic voltage and geometric patterns of left ventricular hypertrophy in patients with essential hypertension[J]. *Hypertens Res*, 1998, 21(4): 259-266.
- [20] Porthan K, Niiranen TJ, Varis J, et al. ECG left ventricular hypertrophy is a stronger risk factor for incident cardiovascular events in women than in men in the general population[J]. *J Hypertens*, 2015, 33(6): 1284-1290.
- [21] Lang RM, Badano LP, Mor-Avi V, et al. Recommendations for cardiac chamber quantification by echocardiography in adults: an update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging[J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2015, 16(3): 233-270.
- [22] 谢明星. 医学影像人工智能在心脏瓣膜疾病介入诊疗中的应用[J]. *临床心血管病杂志*, 2022, 38(12): 929-933, 940.
- [23] Sharma S, Drezner JA, Baggish A, et al. International Recommendations for Electrocardiographic Interpretation in Athletes[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2017, 69(8): 1057-1075.
- [24] Salinero JJ, Soriano ML, Ruiz-Vicente D, et al. Respiratory function is associated to marathon race time[J]. *J Sports Med Phys Fitness*, 2016, 56(12): 1433-1438.
- [25] Tiller NB. Pulmonary and Respiratory Muscle Function in Response to Marathon and Ultra-Marathon Running: A Review [J]. *Sports Med*, 2019, 49(7): 1031-1041.