

专  
家  
介  
绍

李新立,男,教授,博士研究生导师,南京医科大学名医,江苏省突出贡献中青年专家,南京医科大学第一附属医院心内科科副主任;中华心血管病分会心力衰竭学组副组长,中华中医药学会络病分会副主任委员,国际心脏研究会中国转化医学工作委员会常委,中华预防医学会心脏病预防与控制专业委员会常委,中国老年学会心血管病分会常委,中国医师协会心血管病内科医师分会委员,江苏省心血管病分会心衰学组组长;主持国家自然科学基金 4 项,江苏省自然科学基金及国际合作项目多项,江苏省卫生厅“十五”攻关 1 项,江苏省重大科技支撑项目 1 项,国家“973”子项目 1 项,国家“十二五”科技支撑急性心衰项目 1 项;获 2009 江苏省科技进步二等奖 1 项,中华中医药学会科技进步一等奖;国内外期刊发表学术论文、综述 300 余篇,通讯作者 SCI 文章 50 篇,最高影响因子 17.759(JACC)。专业特长:擅长心力衰竭介入性血流动力学检查评估及治疗。

## 心电学参数在心力衰竭预后评估中的应用

王 凯,王慧敏,吴倩芸,李新立\*

(南京医科大学第一附属医院心血管内科,江苏 南京 210029)

**[摘要]** 心力衰竭(heart failure, HF)是心血管疾病的终末期表现和最主要的死因。对其进行危险度分层及死亡率的预测,一直是备受关注的临床研究领域。心电学参数以无创、简单、可靠等优点逐渐展现了广阔的应用前景。本综述旨在分析 QRS 时限、心室晚电位、T 波电交替、窦性心率震荡、心率减速度与连续心率减速度、室性早搏与非持续性室速等心电学参数在评估 HF 患者预后中的应用价值及最新研究进展,有助于我国临床工作者更加准确地评估 HF 患者病情,并及时采取相应的干预性治疗。

**[关键词]** 心力衰竭;心电学参数;预后

**[中图分类号]** R541.6 **[文献标志码]** A

**[文章编号]** 1007-4368(2017)03-0261-06

**doi:** 10.7655/NYDXBNS20170301

### Application of cardiac electrical parameters in evaluating the prognosis of heart failure

Wang Kai, Wang Huimin, Wu Qianyun, Li Xinli\*

(Department of Cardiology, the First Affiliated Hospital of NJMU, Nanjing 210029, China)

**[Abstract]** Heart failure (HF) is the end-stage performance and the leading cause of death in cardiovascular disease. All the time, we pay more and more attention to the risk stratification and prediction of HF. Cardiac electrical parameters had shown a broad application prospects in cardiovascular system, and its advantages consist of convenience, security, and no invasion. This review summarizes the application value and the research development of cardiac electrical parameters including QRS duration, ventricular late potential, T-wave alternans, heart rate turbulence, deceleration capacity of rate, heart rate deceleration runs, premature ventricular complexes and non-sustained ventricular tachycardia, which may help clinician to take accurate assessment of HF patients and timely perform intensive treatments to reduce adverse outcomes.

**[Key words]** heart failure; cardiac electrical parameters; prognosis

[Acta Univ Med Nanjing, 2017, 37(03): 261-266]

**[基金项目]** 国家“十二五”科技支撑计划课题(2011BAI11B08)

\*通信作者 (Corresponding author), E-mail: Xinli3267@yeah.net

心力衰竭(heart failure, HF)是由于任何心脏结构或功能异常导致心室充盈或射血能力受损的一组复杂临床综合征,其发病率高,是各种心脏病的严重或终末阶段,各年龄段 HF 死亡率均高于同期其他心血管疾病<sup>[1]</sup>。曾有流行病学调查发现我国 HF 患者死亡原因依次为:泵衰竭、心律失常、猝死和其他死因<sup>[2]</sup>。目前,临床上越来越重视应用心电学参数来预测心血管病患者发生恶性心律失常甚至猝死的风险。本综述重点分析常见的心电学参数在评估 HF 预后中的应用价值及研究进展。

## 1 QRS 时限

心电图 QRS 波群是指随时间推移心肌细胞电活动总向量的动态演变,正常心脏除极的电活动沿心肌细胞间通道迅速传导,且方向同步,较少产生传导延迟,因此正常 QRS 时限一般为 60~100 ms,当  $\geq 120$  ms 时则认为 QRS 时限延长。有研究指出 HF 患者中 QRS 时限延长 ( $\geq 120$  ms) 的发生率为 14%~47%,发生率的差别主要是由于对 QRS 时限延长的定义不统一以及纳入的 HF 患者本身存在异质性<sup>[3]</sup>,现在普遍认为 HF 患者 QRS 时限延长发生率约为 30%。

QRS 时限延长通常预示潜在心脏病引起的心肌受损<sup>[4]</sup>。HF 患者心脏负荷较重,心肌的结构、功能以及心肌细胞外基质发生变化,心脏电传导的速度及方向发生改变<sup>[5]</sup>,同时由于心肌细胞跨膜电位的影响,细胞内  $K^+$  减少而  $Na^+$  显著增多<sup>[6]</sup>,心室异常去极化,导致 QRS 时限延长。此外,这种心室电活动的改变可导致心室机械性收缩不同步<sup>[5]</sup>,从而引起室间隔的矛盾运动、心室充盈时间不足以及二尖瓣反流,进而使心输出量减少、左心室容量增加和射血分数减低,最终引起 HF 患者心功能恶化<sup>[7]</sup>。由此可以推测,QRS 时限可能与 HF 患者预后相关。EVEREST 研究<sup>[8]</sup>及 EMPHASIS-HF 研究<sup>[9]</sup>均认为对于射血分数下降的心衰(HF-REF),QRS 时限延长( $\geq 120$  ms)是此类患者出院后高复发率及病死率的独立预测因子,心脏再同步化治疗(cardiac resynchronization therapy, CRT)对于改善患者预后可能有一定积极作用。最新的 ESC 指南<sup>[10]</sup>提出经优化药物治疗后左室射血分数(left ventricular ejection fractions, LVEF)仍  $\leq 35\%$  且 QRS  $\geq 130$  ms,伴有左束支传导阻滞(left bundle-branch block, LBBB)的有症状的窦性心律 HF 患者, CRT 为 I 类推荐,对于 LVEF  $\leq 35\%$ 、QRS  $\geq 150$  ms 不伴有 LBBB 的 HF 患者以及

LVEF  $\leq 35\%$ 、QRS 时限在 130~149 ms 不伴有 LBBB 的 HF 患者, CRT 分别为 II a 类和 II b 类推荐。而对于射血分数保留的心衰(HF-PEF),既往有关 QRS 时限与患者预后的研究相对较少,近年来已逐渐得到一些学者的关注, Lund 等<sup>[11]</sup>研究指出无论射血分数下降或者正常, QRS 时限延长均是 HF 患者全因死亡率的独立危险因素,并且提出 CRT 可能对于 HF-PEF 也有一定的治疗价值。最近的 I-PRESERVE 研究<sup>[12]</sup>也认为 QRS 时限延长会增加 HF-PEF 患者的心血管死亡及再住院的风险。总之, QRS 时限对于 HF 患者的预后具有重要的预测价值,但对于 HF-PEF 患者, QRS 时限延长是否能作为其预后的独立危险因素以及 CRT 是否有明确的治疗效果仍有待进一步的大样本研究来证实。

## 2 心室晚电位(ventricular late potential, VLP)

VLP 是由于受损心肌除极化延迟而在 QRS 波群终末端形成的高频率、低振幅的碎裂心电信号<sup>[13]</sup>。VLP 代表缺血区心肌电兴奋传导延迟,去极化速度减慢,是发生折返性室性心律失常的重要机制,因此 VLP 对于心源性猝死有一定的预测价值<sup>[13]</sup>。因为这种电信号的振幅太低(一般只有几十微伏),标准的 12 导联心电图无法探测到,因此需要放大的高分辨率心电图(信号平均心电图)来记录。

目前,对于 VLP 的研究主要集中于急性心肌梗死(acute myocardial infarction, AMI)的患者, VLP 是 AMI 后不良事件和死亡的独立预测指标, AMI 24 h 内 VLP 的发生率较高,并且 ST 段抬高型心肌梗死 VLP 的发生率明显高于非 ST 段抬高型心肌梗死<sup>[14]</sup>。同时研究发现 AMI 患者经过再灌注和  $\beta$  受体阻滞剂治疗后, VLP 的发生率及其预后价值将明显下降<sup>[15]</sup>。随着对 VLP 的认识逐渐深入,其在其他心脏疾病中的应用价值逐渐被发掘,孙德利等<sup>[16]</sup>研究发现 VLP 可对儿童病毒性心肌炎的早期诊断、病情严重程度、预后作出判断,尤其对预防重症心肌炎患儿恶性心律失常和猝死有重要意义。而 Yoshioka 等<sup>[17]</sup>通过长时间观察 Brugada 综合征患者的 VLP,在有典型 Brugada 综合征症状的患者中发现了明显的昼夜变化规律,这也提示 VLP 对于鉴别具有高风险的 Brugada 综合征患者有重要意义。而对于 HF 患者, VLP 的预后研究相对较少,国外曾有研究表明 VLP 可作为 HF 患者预后不良的预测因子,其和 LVEF、fQRS 以及 las40-cv 联合预测,与单 LVEF 预测相比,可提高 8% 的准确度<sup>[18]</sup>,但由于仅入选 90 例患者,样本

量较少且随访时间较短,尚有待进一步研究来验证。尽管 VLP 与室性心律失常密切相关,但由于其敏感性较低,且存在一定的假阳性率,同时检测技术及诊断标准不统一,对于各研究的结果应科学对待,可进一步探讨 VLP 在评估非缺血性心肌病引起的 HF 预后中的应用价值。

### 3 T 波电交替(T-wave alternans, TWA)

TWA 通常是指在窦性心律规整时,体表心电图上 ST 段或 T 波的形态或振幅呈逐搏交替变化的现象<sup>[21]</sup>。TWA 反映了心脏复极化的时空异质性,是心脏电活动不稳定的标志,常常出现在恶性心律失常发生之前,具有预测心源性死亡的价值<sup>[19-20]</sup>。TWA 分为毫伏级 TWA 和微伏级 TWA (microvolt T wave alternans, MTWA),毫伏级 TWA 可从体表心电图直接观察到,但发生率低,临床应用价值相对较小;而 MTWA 多采用频域法或时域法检测,可在 24 h 动态心电图分析系统中检出,能预测心源性死亡,有着广泛的临床应用前景<sup>[20]</sup>。

随着检测技术的进步,越来越多的临床研究表明,TWA 是一种无创性电生理检测指标,能够预测恶性室性心律失常的发生<sup>[21-23]</sup>。曾有多因素分析研究发现,TWA 为心血管疾病提供的风险预测价值超出标准临床变量,包括人口因素(如年龄、性别、种族)和传统的心血管危险因素(如吸烟、血压、病史、药物)<sup>[24]</sup>。Sulimo 等<sup>[21]</sup>研究发现在陈旧性心肌梗死患者中,MTWA 阳性患者的心源性猝死发生风险明显高于 MTWA 阴性患者(HR:5.01,95%CI:1.5~17.0,  $P=0.005$ )。Hoshida 等<sup>[22]</sup>也得到了相似结果,指出对于心肌梗死后患者,MTWA 是一个预测心源性死亡有价值的指标(HR:5.8,  $P=0.0072$ ),并且主要与恶性心律失常事件发生相关。

近年来,越来越多的研究开始评估 MTWA 在 HF 患者预后中的价值,国外已有前瞻性研究发现 24 h 动态心电图测得的时域 TWA 可预测缺血性和非缺血性左室功能不全患者心源性死亡率<sup>[25]</sup>。Monasterio 等<sup>[23]</sup>发现对于慢性 HF 患者动态心电图检测发现 MTWA 阳性患者发生心源性猝死的风险更大(HR:2.29,  $P=0.004$ )。TWA 同样对 HF 患者的治疗选择及效果评价具有重要意义。MTWA 在筛选 HF 合并心律失常患者心律转复除颤器植入时有重要价值,Merchant 等<sup>[26]</sup>发现,在未植入心律转复除颤器的 HF 患者中,LVEF<35%、MTWA 阴性患者心源性猝死机率很低(0.9%),LVEF>35%、MTWA 阳性患

者心源性猝死机率明显升高(3.0%)。而另外 1 项入选了 40 例 HF 合并 LBBB 的前瞻性研究发现,CRT 植入术后 6 个月随访时,T 波振幅变化(T-wave amplitude variability, TAV)平均值降低只发生于心室结构逆转且无室性心律失常的患者,并且 CRT 术后 6 个月的 TAV>35.4  $\mu\text{V}$  对室性心律失常预测的灵敏度为 83%、特异度为 93%,这提示在 HF 患者 CRT 术后长期随访中,平均 TAV 值是室性心律失常发生的良好预测因子<sup>[27]</sup>。

总之目前临床上认为 MTWA 的预测价值优于传统的无创指标,可以作为室性心律失常及心源性猝死的有力预测因子,2011 年国际无创心电学会专家共识认为,临床上怀疑有恶性心律失常发作时可进行 TWA 检测,但不能完全根据 TWA 检测结果制定临床治疗方案<sup>[19]</sup>。

### 4 窦性心率震荡(heart rate turbulence, HRT)

HRT 是指自发性室性早搏(premature ventricular complexes, PVCs)后窦性心律周期短期波动的现象<sup>[28]</sup>。在正常人群中,一次 PVCs 后,窦性心律会出现先加速随后减速的现象,而对于器质性心脏病后猝死的高危患者,PVCs 后窦性 HRT 现象通常会减弱或者消失,表现为 PVCs 前后窦性心律的 RR 间期无明显变化<sup>[28-29]</sup>。窦性 HRT 的发生机制目前尚不明确,主要考虑可能与 PVCs 的直接作用、压力反射学说以及自主神经的紧张性变化相关<sup>[28]</sup>。

常用的检测窦性 HRT 的指标有震荡初始(turbulence onset, TO)、震荡斜率(turbulence slope, TS)及动态心率震荡(turbulence dynamics, TD)。TO 代表 PVCs 后窦性心律的加速,可用室早后的前 2 个窦性节律 RR 间期均值减去 PVCs 前的 2 个窦性节律 RR 间期均值,两者之差再除以后者,所得结果即为 TO,其中性值定义为 0<sup>[28]</sup>。TS 表示 PVCs 后是否存在窦性心率减速现象,首先测定 PVCs 后前 20 个窦性 RR 间期值,并以 RR 间期值为纵坐标,以 RR 间期的序号为横坐标,绘制 RR 间期值得分布图,再用任意连续 5 个序号的 RR 间期值计算并作出回归线,其中正向的最大斜率为 TS,TS 中性值定义为 2.5 ms/RR 间期<sup>[28-29]</sup>。TO $\geq 0$  或 TS $\leq 2.5$  ms/RR 间期被认为是不正常的反应<sup>[28]</sup>。TD 是指 TS 与当时心率的比值,反映了 TS 与 PVCs 前心率的关系,代表 TS 随心率变化而变化的程度,包含了 TS 以外的预测信息<sup>[30]</sup>。

既往对于 HRT 的研究主要集中于心肌梗死后

的患者,可预测心肌梗死后患者的死亡率<sup>[31]</sup>。近期有研究发现 HRT 与初次发生的恶性心律失常或晕厥、血浆脑钠肽 (brain natriuretic peptide, BNP)  $\geq 158$  pg/mL,均可作为预防心源性猝死的独立预测因子<sup>[32]</sup>。而既往有关 HRT 在 HF 患者中预测价值的研究相对较少, Cygankiewicz 等<sup>[33]</sup>研究曾发现异常的 HRT 参数是 HF 严重程度的独立预测因子, HRT 能较好反映 HF 的严重程度并与左心室功能不全相关。而 Szymanowska<sup>[34]</sup>、Yin<sup>[35]</sup>等研究也表明 HRT 可作为慢性 HF 患者预后的预测指标, 并且与 NYHA 心功能、BNP 等临床指标有一定相关性。国外同时有研究通过分析得出  $TS \leq 3.0$  ms/RR 间期 (而不是 2.5 ms/RR 间期) 对于预测 HF 患者预后具有更优的价值<sup>[28]</sup>。HRT 作为一种简单无创的心电学指标, 仍无统一的检测标准, 且需要有代偿间期的室性期前收缩产生, 临床运用方面存在一定局限性, 但因 HRT 与自主神经功能有一定相关性, 其对心肌梗死及 HF 的预后具有预测价值, 只是 HRT 目前并不能用于指导临床用药, 仍需要更大规模前瞻性研究来证实其实用价值。

### 5 心率减速力 (deceleration capacity of rate, DC) 与连续心率减速力 (heart rate deceleration runs, DRs)

DC 是一种新的检测自主神经功能的心电技术, 通过对患者 24 h 动态心率整体进行趋向性分析, 并测定其减速能力, 定量评估患者迷走神经张力的高低, 从而起到筛选和预警猝死高危患者的作用<sup>[36]</sup>。2006 年德国慕尼黑心脏中心首次报道了 DC 作为心肌梗死后死亡率预测因子的队列研究<sup>[37]</sup>, 得出减弱的 DC 是心肌梗死后患者死亡的强有力预测因素, 并且比传统的监测方法如 LVEF 及心率变异性 (HRV) 更准确。2012 年在 DC 的基础上提出了 DRs 这一新概念<sup>[31]</sup>, 认为当 DC 连续发生时, 患者预后更为良好。

随着对 DC 的认识逐渐增多, 人们开始探讨 DC 在除心肌梗死外的其他心血管疾病中的作用。对于 DC 在 HF 患者预后中的应用价值, 目前缺乏大样本、多中心的临床研究。Arsenos 等<sup>[38]</sup>通过分析 221 例 HF 患者 41.2 个月的预后情况, 最后得出 DC 对于 HF 患者出院后心源性猝死及全因死亡率有很好的预测价值。Hu 等<sup>[39]</sup>认为, 无论男性或者女性 HF 患者, DC 均是其预后的独立危险因素, 男性患者中 DC 的 cut-off 值是 4.55 ms, 女性患者中 DC 的 cut-

off 值是 4.85 ms。由于 DRs 提出时间较 DC 更短, 目前关于其在 HF 患者中的研究较少, 但 Guzik 等<sup>[31]</sup>研究表明 DRs 同样具有强大的评估预后能力。总之, DC 与 DRs 是一种新的检测技术, 其检测方法简单, 检测结果可靠, 具有较高的临床应用价值, 但由于目前相关研究中样本量较少, 随访时间不够长, 说服力不够强, 若想将 DC 及 DRs 真正应用于临床甚至指导临床用药, 仍需更多大型临床研究来验证。

### 6 PVCs 与非持续性室速 (nonsustained ventricular tachycardia, NSVT)

PVCs 是临床上较为常见的一种心律失常, 其临床症状有很大变异性。无器质性心脏病患者出现单形性 PVCs 时一般认为无明显生命威胁, 不建议过多使用抗心律失常药物<sup>[40]</sup>。然而越来越多的研究发现, 频发的 PVCs、多源性 PVCs 以及起源于右心室的 PVCs 可能会引起左心室收缩功能下降, 甚至增加 HF 的事件率<sup>[41]</sup>, 24 h PVCs 总数大于 1 万次时甚至容易引起心动过速型心肌病<sup>[40]</sup>。关于 PVCs 导致左室收缩功能下降的病理生理机制尚不清楚, 可能的原因包括心室不同步收缩、血流动力学障碍、自主神经功能失调、细胞内  $Ca^{2+}$  改变、心率动态变化等<sup>[42]</sup>。然而, 关于 PVCs 对于 HF 患者的预后评估价值仍存在一些争议, PROMISE 研究结果指出 PVCs 不能作为中-重度 HF 患者猝死的预测因子<sup>[43]</sup>。而 Smilde 等<sup>[44]</sup>研究发现 PVCs 对于轻-重度 HF 患者的远期预后具有重要价值。以上研究入选对象主要集中于慢性 HF 患者, 而有关评估 PVCs 在急性 HF 患者预后中作用的临床研究相对较少。近期由南京医科大学第一附属医院牵头的国家“十二五”科技支撑计划有关急性 HF 预后分层的研究初步得出 PVCs 与急性 HF 预后可能有相关性, 研究入选了 2012 年 3 月—2015 年 2 月在南京医科大学第一附属医院心内科住院的急性 HF 患者共 230 例, 随访 18 个月, 终点事件为全因死亡, 最后得出急性期 PVCs 总数作为急性 HF 患者长期预后及危险分层的预测指标有一定临床价值, 其最佳预测值为 1 193 次/24 h, 当然, 该研究仅为单中心研究, 其所得研究结果价值有限, 仍需日后大样本研究来证实。对于 PVCs 的处理, 目前专家共识认为对于没有结构性心脏病的患者或者症状轻微的患者, PVCs 多考虑有良性预后, 一般无需特殊治疗, 而对于合并左室功能下降的 PVCs 患者, 特别当 PVCs 总数  $> 1$  万次/24 h 或者  $>$  总心搏 10% 时, 可考虑药物治疗或行 PVCs 射频消融术, 很

多患者左室功能可得到明显改善<sup>[45-46]</sup>。

NSVT 也是临床上一种常见的心律失常,目前尚不能明确其是否能作为 HF 患者预后的独立预测因子<sup>[50]</sup>,对于出现 NSVT 的患者,通常认为应该重点治疗其潜在的心脏疾病而不是治疗心律失常<sup>[46-47]</sup>。

## 7 总结

HF 患者预后较差,是当今医学未解的难题之一,采用简单有效的方法来评估 HF 患者预后显得格外重要,目前临床上对于心电学参数在 HF 预后中的作用尚不明确,但其临床价值不应被忽略,加强对这些心电学参数的认识有助于临床医师及时采取干预性治疗。

### [参考文献]

- [1] 中华医学会心血管病学分会,中华心血管病杂志编辑委员会. 中国心力衰竭诊断和治疗指南 2014[J]. 中华心血管病杂志,2014,42(2):98-122
- [2] 中华医学会心血管病学分会. 中国部分地区 1980、1990、2000 年慢性心力衰竭住院病例回顾性调查[J]. 中华心血管病杂志,2002,30(8):450-454
- [3] Kashani A,Barold SS. Significance of QRS complex duration in patients with heart failure[J]. J Am Coll Cardiol,2005,46(12):2183-2192
- [4] Brenyo A,Zareba W. Prognostic significance of QRS duration and morphology[J]. Cardiol J,2011,18(1):8-17
- [5] 张学丹,白鸿远,卢群,等. QRS 波时限对慢性心力衰竭心血管事件的预测价值[J]. 中华临床医师杂志(电子版),2013,7(11):4660-4662
- [6] Zang Y,Dai L,Zhan H,et al. Theoretical investigation of the mechanism of heart failure using a canine ventricular cell model: Especially the role of up-regulated camkii and sr ca(+) leak[J]. J Mol Cell Cardiol,2013,56:34-43
- [7] Adabag S,Roukoz H,Anand IS,et al. Cardiac resynchronization therapy in patients with minimal heart failure: A systematic review and meta-analysis[J]. J Am Coll Cardiol,2011,58(9):935-941
- [8] Wang NC,Maggioni AP,Konstam MA,et al. Clinical implications of QRS duration in patients hospitalized with worsening heart failure and reduced left ventricular ejection fraction[J]. JAMA,2008,299(22):2656-2666
- [9] Cannon JA,Collier TJ,Shen L,et al. Clinical outcomes according to QRS duration and morphology in the eplerenone in mild patients: Hospitalization and survival study in heart failure (EMPHASIS-HF) [J]. Eur J Heart Fail,2015,17(7):707-716
- [10] Ponikowski P,Voors AA,Anker SD,et al. 2016 ESC guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure [J]. Eur Heart J,2016,37 (27): 2129-2200
- [11] Lund LH,Jurga J,Edner M,et al. Prevalence, correlates, and prognostic significance of QRS prolongation in heart failure with reduced and preserved ejection fraction [J]. Eur Heart J,2012,34(7):529-539
- [12] Cannon JA,Shen L,Jhund PS,et al. Clinical outcomes according to QRS duration and morphology in the irbesartan in patients with heart failure and preserved systolic function (I-PRESERVE) trial [J]. Eur J Heart Fail,2016,18(8):1021-1031
- [13] Santangeli P,Infusino F,Sgueglia GA,et al. Ventricular late potentials: A critical overview and current applications[J]. J Electrocardiol,2008,41(4):318-324
- [14] 王军,隋欣桐,孙英贤,等. 急性 ST 段抬高型与非 ST 段抬高型心肌梗死患者心室晚电位临床特点分析[J]. 中国综合临床,2013,29(1):42-44
- [15] Bauer A,Guzik P,Barthel P,et al. Reduced prognostic power of ventricular late potentials in post-infarction patients of the reperfusion era [J]. Eur Heart J,2005,26(8):755-761
- [16] 孙德利,刘东方,董晶. 重症病毒性心肌炎患儿心室晚电位临床分析[J]. 实用儿科临床杂志,2009,24(13):1008-1009
- [17] Yoshioka K,Amino M,Zareba W,et al. Identification of high-risk brugada syndrome patients by combined analysis of late potential and T-wave amplitude variability on ambulatory electrocardiograms [J]. Circ J,2013,77(3):610-618
- [18] Matsuzaki A,Yoshioka K,Amino M,et al. Usefulness of continuous 24-hour ventricular late potential to predict prognosis in patients with heart failure [J]. Tokai J Exp Clin Med,2014,39(3):128-136
- [19] Verrier RL,Klingenheben T,Malik M,et al. Microvolt T-wave alternans [J]. J Am Coll Cardiol,2011,58(13):1309-1324
- [20] 朱正庭,张存泰,吕家高,等. 动态心电图微伏级 T 波电交替对心源性死亡危险度预测的荟萃分析[J]. 中西医结合心脑血管病杂志,2015(16):1867-1869
- [21] Sulimo V,Okisheva E,Tsaregorodtsev D. Non-invasive risk stratification for sudden cardiac death by heart rate turbulence and microvolt T-wave alternans in patients after myocardial infarction [J]. Europace,2012,14(12):1786-1792
- [22] Hoshida K,Miwa Y,Miyakoshi M,et al. Simultaneous assessment of T-wave alternans and heart rate turbulence on holter electrocardiograms as predictors for serious car-

- diac events in patients after myocardial infarction [J]. *Circ J*, 2013, 77(2): 432–438
- [23] Monasterio V, Laguna P, Cygankiewicz I, et al. Average T-wave alternans activity in ambulatory ECG records predicts sudden cardiac death in patients with chronic heart failure [J]. *Heart Rhythm*, 2012, 9(3): 383–389
- [24] Verrier RL, Klingenhoben T, Malik M, et al. Microvolt T-wave alternans physiological basis, methods of measurement, and clinical utility: consensus guideline by international society for holter and noninvasive electrocardiology [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2011, 58(13): 1309–1324
- [25] Sakaki K, Ikeda T, Miwa Y, et al. Time-domain T-wave alternans measured from holter electrocardiograms predicts cardiac mortality in patients with left ventricular dysfunction: A prospective study [J]. *Heart Rhythm*, 2009, 6(3): 332–337
- [26] Merchant FM, Ikeda T, Pedretti RF, et al. Clinical utility of microvolt T-wave alternans testing in identifying patients at high or low risk of sudden cardiac death [J]. *Heart Rhythm*, 2012, 9(8): 1256–1264 e1252
- [27] Zizek D, Cvijic M, Tasic J, et al. Effect of cardiac resynchronization therapy on beat-to-beat T-wave amplitude variability [J]. *Europace*, 2012, 14(11): 1646–1652
- [28] Cygankiewicz I. Heart rate turbulence [J]. *Prog Cardiovasc Dis*, 2013, 56(2): 160–171
- [29] 张德强, 吴永全, 黄捷英. 窦性心率振荡现象 [J]. *中华心血管病杂志*, 2005, 33(3): 290–292
- [30] Bauer A, Malik M, Barthel P, et al. Turbulence dynamics: An independent predictor of late mortality after acute myocardial infarction [J]. *Int J Cardiol*, 2006, 107(1): 42–47
- [31] Guzik P, Piskorski J, Barthel P, et al. Heart rate deceleration runs for postinfarction risk prediction [J]. *J Electrocardiol*, 2012, 45(1): 70–76
- [32] Golukhova EZ, Gromova O, Grigoryan M, et al. Noninvasive predictors of malignant arrhythmias [J]. *Cardiology*, 2016, 135(1): 36–42
- [33] Cygankiewicz I, Zareba W, Vazquez R, et al. Relation of heart rate turbulence to severity of heart failure [J]. *Am J Cardiol*, 2006, 98(12): 1635–1640
- [34] Szymanowska K, Piatkowska A, Nowicka A, et al. Clinical significance of heart rate turbulence assessment in patients with chronic heart failure [J]. *Kardiol Pol*, 2008, 66(12): 1289–1295
- [35] Yin DC, Wang ZJ, Guo S, et al. Prognostic significance of heart rate turbulence parameters in patients with chronic heart failure [J]. *BMC Cardiovasc Disord*, 2014, 14(1): 50
- [36] 陈书佩. 心率减速力的临床应用研究进展 [J]. *中国循环杂志*, 2013, 28(7): 543–545
- [37] Bauer A, Kantelhardt JW, Barthel P, et al. Deceleration capacity of heart rate as a predictor of mortality after myocardial infarction: Cohort study [J]. *Lancet*, 2006, 367(9523): 1674–1681
- [38] Arsenos P, Manis G, Gatzoulis KA, et al. Deceleration capacity of heart rate predicts arrhythmic and total mortality in heart failure patients [J]. *Ann Noninvasive Electrocardiol*, 2016, 21(5): 508–518
- [39] Hu W, Jin X, Zhang P, et al. Deceleration and acceleration capacities of heart rate associated with heart failure with high discriminating performance [J]. *Sci Rep*, 2016, 6: 23617
- [40] Prystowsky EN, Padanilam BJ, Joshi S, et al. Ventricular arrhythmias in the absence of structural heart disease [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2012, 59(20): 1733–1744
- [41] Agarwal SK, Simpson RJ, Rautaharju P, et al. Relation of ventricular premature complexes to heart failure (from the atherosclerosis risk in communities [ARIC] study) [J]. *Am J Cardiol*, 2012, 109(1): 105–109
- [42] Adams JC, Srivathsan K, Shen WK. Advances in management of premature ventricular contractions [J]. *J Interv Card Electrophysiol*, 2012, 35(2): 137–149
- [43] Teerlink JR, Jalaluddin M, Anderson S, et al. Ambulatory ventricular arrhythmias in patients with heart failure do not specifically predict an increased risk of sudden death. Promise (prospective randomized milrinone survival evaluation) investigators [J]. *Circulation*, 2000, 101(1): 40–46
- [44] Smilde TD, van Veldhuisen DJ, van den Berg MP. Prognostic value of heart rate variability and ventricular arrhythmias during 13-year follow-up in patients with mild to moderate heart failure [J]. *Clin Res Cardiol*, 2009, 98(4): 233–239
- [45] Chen T, Koene R, Benditt DG, et al. Ventricular ectopy in patients with left ventricular dysfunction: Should it be treated? [J]. *J Card Fail*, 2013, 19(1): 40–49
- [46] Pedersen CT, Kay GN, Kalman J, et al. Ehra/hrs/aphrs expert consensus on ventricular arrhythmias [J]. *Heart Rhythm*, 2014, 11(10): e166–196
- [47] Katritsis DG, Zareba W, Camm AJ. Nonsustained ventricular tachycardia [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2012, 60(20): 1993–2004