

# 运动心电图解读:2013

刘霞

**[摘要]** 20 世纪 30 年代,心电图应用于运动负荷试验,称为运动心电图。20 世纪 60 年代,运动心电图广泛应用于临床诊断心肌缺血。在过去的几十年中,运动心电图有了很大的发展,本文根据 2013 年美国心脏协会(American Heart Association, AHA)发布的用于试验和训练的运动标准,更新运动心电图的解读。

**[关键词]** 运动心电图;心肌缺血;运动试验;运动负荷试验;ST 段

**[中图分类号]** R540.41 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1008-0740(2014)03-0153-04

**Interpretation for exercise electrocardiogram:2013** Liu xia (Department of Cardiology, Ruijin Hospital Affiliated to Medical College of Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200025, China)

**[Abstract]** The 1930s witnessed the application of electrocardiogram into exercise test, called exercise electrocardiogram. In the 1960s, exercise electrocardiogram was popularized in clinical diagnosis of myocardial ischemia. In the past few decades, great development has been achieved in this field. This paper updates the interpretation for exercise electrocardiogram, according to *Exercise standards for testing and training* published by AHA in 2013.

**[Key words]** exercise electrocardiogram; myocardial ischemia; exercise test; load exercise test; ST segment

20 世纪 20 年代末,Master 首先发表了运动中脉搏和血压改变用于评定心脏功能的论文,由此开创了运动负荷试验(运动试验)。运动试验中所观察的指标,有一个逐渐发展的过程。最初所能观察的指标是反映血流动力学的指标,主要有心率和血压两项。20 世纪 30 年代,Master 将心电图记录作为运动试验的重要观察指标,用于评定心肌缺血。此后,心电学指标成为运动试验主要的参数,称为运动心电图。在运动心电图,可观察的参数包括:心率、QRS 波、ST 段、T 波和心律失常。其中,运动中的 ST 段改变具有诊断心肌缺血的价值,目前它是运动试验中最重要和最常用的参数。20 世纪 60 年代,随着心电技术和计算机技术的发展,运动试验开始广泛应用于临床。1997 年美国心脏病协会(American College of Cardiology, ACC)/美国心脏协会(American Heart Association, AHA)发布了运动试验的指南<sup>[1]</sup>,2002 年更新了指南<sup>[2]</sup>;2001 年 AHA 发布了用于试验和训练的运动标准<sup>[3]</sup>,2013 年更新了这一标准,对运动心电图有了新的观点,包括运动

试验的临床应用和有关运动心电图解读的更新。

## 1 临床应用

以往经典的运动试验临床应用包括<sup>[1]</sup>:① 诊断冠心病;② 已确诊冠心病患者的危险性及其预后评定;③ 心肌梗死后危险性及其预后评定和心脏康复治疗;④ 对特殊人群,如女性、无症状者、血管再通术前、心脏瓣膜病患者和检出心律失常者;⑤ 儿童运动试验。

更新标准中新增的运动试验临床应用包括<sup>[4]</sup>:① 诊断冠心病;② 评定已确诊冠心病的严重程度;③ 预测心血管事件和心源性死亡;④ 评定运动能力和耐力;⑤ 评定运动相关的症状;⑥ 评估心率变时性功能、心律失常和对植入性器械治疗的反应;⑦ 评估对医学介入治疗的反应。

运动试验用于诊断心肌缺血,已经有 60 年的历史。在过去的几十年中,运动试验的重点在于评估心血管疾病的危险性,而不是简单地发现冠脉狭窄,最终改善预后成为运动试验的主要目的。这是运动

试验临床应用的重大变迁。

## 2 运动心电图

### 2.1 导联系统

运动试验中心电图的记录导联,同样也有一个逐渐演变的过程。最初的心电图记录仅能记录单导联,20 世纪 60 年代起,对于心电图记录导联的选择,最常用的是 V<sub>5</sub>导联或 CM5 导联。单导联中,胸前 V<sub>5</sub>导联的价值胜过下壁导联,12 导联中诊断冠心病最有价值的是 I、-aVR、V<sub>4</sub>~V<sub>6</sub>导联。单导联中,特异性为 95% 时的敏感性,V<sub>5</sub>导联最高<sup>[5]</sup>。无心肌梗死病史和静息心电图正常者,胸前导联是冠心病可靠的指标,下壁导联只能提供很少的附加诊断信息;静息心电图正常者,运动诱发下壁导联 ST 段压低,诊断冠心病的价值很小<sup>[1]</sup>。

随着心电技术的发展,12 导联心电图记录用于运动试验中。1966 年,Mason 和 Likar 提出了改良 12 导联系统,将安放在肢体的电极改良为安放在躯体,称为躯体 12 导联系统(图 1)。它随着运动试验的普及而被广泛用于临床。尽管有研究认为躯体 12 导联是良好的改良导联,由电极位置改变而产生的心电图图形误差是在被允许的范围之内,但也有不少研究者比较了躯体 12 导联系统与常规 12 导联系统,结果显示二者所记录的心电图存在差异性。因此,躯体 12 导联并不是常规 12 导联,在记录躯体 12 导联心电图前,应先记录常规 12 导联。2013 年发布的标准中,躯体 12 导联被认为是标准的运动试验导联系统<sup>[4]</sup>。

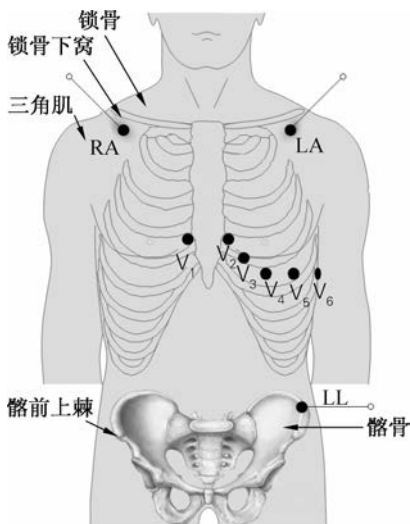


图 1 躯体 12 导联系统

Fig.1 Body surface 12 lead electrocardiographic system

2013 年发布的标准<sup>[4]</sup>中,再次指出双极 CM5 导联是有价值的双极胸前导联,对于检出运动诱发心内膜下心肌缺血的敏感性最高,是最常用的单导联;其原理

是电极方向与左室腔自心底部致心尖部的长轴一致。敏感性其次的是 -aVR 导联,aVR 导联的反向导联,其额面上位于 I 和 III 导联之间,电极方向与左心室的长轴一致,-aVR 导联 ST 段压低对应 aVR 导联 ST 段抬高,与心内膜下心肌缺血有关,有助于发现左主干或左前降支近段病变引起的心肌缺血。许多年来,aVR 导联无论在静息心电图还是在运动心电图,都是被忽略的。通常导联越多,敏感性越高;多导联系统中,侧壁胸前导联可以发现 90% 的 ST 段压低。2013 年更新的标准<sup>[4]</sup>中再次强调,运动诱发的心内膜下心肌缺血的 ST 段压低,与急性心肌梗死的 ST 段抬高不同,不能定位受累的心肌区域。

### 2.2 计算机辅助处理心电图

为了解决运动干扰问题,数字化心电图通常采用心动周期的叠加图,以计算机算法自动测量 ST 段移位。ST 段移位自动测量能增加精确性,但是需要有可依据的点来确定基线,如 QRS 起点和终点常用于计算机算法中。当心率增加时,P 波埋入 T 波中,使得 T-P 基线消失,因此计算机算法中常采用 PR 段作为等电位线。计算机自动测量可能发生的误差:① 运动中 PR 段缩短,判断 PR 段终点可能发生错误,造成 ST 段移位测量误差;② 不能自动判断 QRS 终点。因此,再次强调计算机算法只能辅助诊断,不能替代人对心电图的解读<sup>[4]</sup>。

### 2.3 运动诱发心肌缺血的异常心电图改变

运动心电图中最重要观察指标是 ST 段改变,但新的研究已经开始关注 ST 段以外的改变<sup>[6]</sup>。  
2.3.1 ST 段移位 在运动试验半个多世纪的历史中,ST 段值是诊断心肌缺血的经典标准。ST 段值是相对于 PR 段终点的值,测量同一导联中 J 点后 60~80 ms,3 个或更多的心动,由人工或计算机测定。

① ST 段压低:有上斜型、水平型和下斜型(图 2)。诊断标准:J 点后 60~80 ms,水平型或下斜型压低  $\geq 1$  mm (0.1 mV);运动前有 ST 段压低者,测量 ST 段压低的增加量,运动前有 ST 段抬高者,测量基线下 ST 段压低值。冠脉狭窄程度严重,敏感性增强;ST 段压低程度、出现时间、持续时间和导联数,与冠脉病变程度有关。

② ST 段抬高:心肌梗死后 ST 段抬高,运动诱发梗死部位 ST 段抬高  $>1$ mm,视为异常。ST 段抬高可能是原梗死部位缺血或室壁运动障碍或室壁无运动。30% 的前壁心肌梗死和 15% 的下壁心肌梗死,可能诱发 Q 波导联的 ST 段抬高,其他导联引起对应性 ST 段压低。ST 段抬高合并 ST 段压低,提示多支冠脉病变。原无心肌梗死,运动诱发 ST 段抬高,提示心内膜下和心外

膜下全层的严重心肌缺血,是近段冠脉几乎完全闭塞

的结果;冠脉痉挛和轻度病变者很少发生。

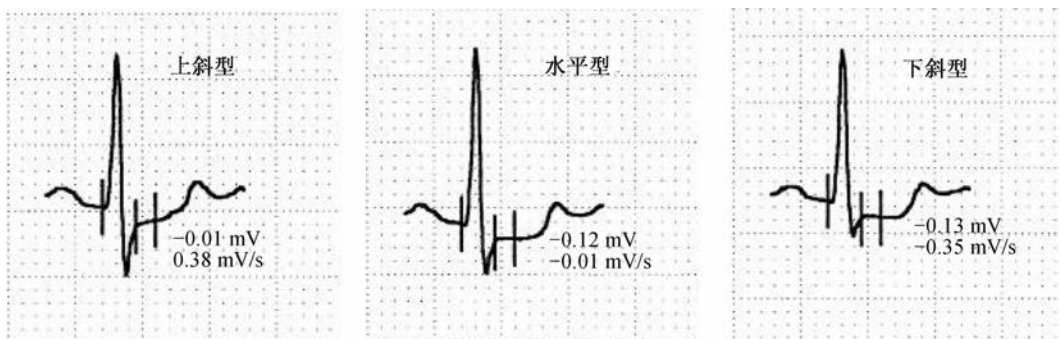


图2 ST段压低的形态

Fig.2 Shapes of ST segment depression

③ ST段正常化:冠心病,静息心电图有复极异常,包括T波倒置和ST段压低,运动中可正常化,发生机制是多部位心肌缺血,相对向量相互抵消。多支病变者可出现假阴性;年轻的早期复极者,运动也可使抬高的ST段正常化。

④ 心率调整的ST段压低:运动诱发心肌缺血,ST段压低的程度不仅与冠脉病变有关,而且与心率增加所致的需氧量增加有关。运动中ST段压低更多与需氧量增加有关。特异性不变,心率调整的ST段压低可以提高运动试验的敏感性,尤其是对上斜型ST段压低或诊断不明确者。心率调整的ST段压低常用的有两项参数:ST/HR斜率和ST/HR指数。恢复期ST/HR曲线和ST/HR滞后是新的由计算机整体运算的恢复期ST/HR分析方法。

ST/HR斜率:从运动开始到运动终点,测定各导联ST段压低,计算微电压与心率的线性相关性,一般取最大ST/HR斜率(图3)。ST/HR斜率 > 2.4  $\mu\text{V}/(\text{次} \cdot \text{min}^{-1})$  为异常; > 6  $\mu\text{V}/(\text{次} \cdot \text{min}^{-1})$  提示广泛病变,包括3支病变或左主干病变。新标准认为它的价值有待进一步的前瞻性研究<sup>[4]</sup>。

ST/HR指数:在运动过程中ST段随心率改变的平均值,是计算ST/HR斜率的简化方法。ST/HR指数 > 1.6  $\mu\text{V}/(\text{次} \cdot \text{min}^{-1})$  为异常。

恢复期ST/HR曲线和滞后,是测量恢复期ST段恢复曲线。滞后是指两种相关指标之间的不相称,即ST段与心率变化不相称。心肌缺血,恢复期1min内ST段压低值大于运动中相同心率时ST段压低值。

2.3.2 ST段以外 体表心电图是心脏各处动作电位的综合,心肌缺血不仅仅影响动作电位的平台期和静息电位。因此,运动心电图延伸至ST段以外的方面,包括P波异常、R波振幅改变、QRS波时间、高频QRS波成分、QRS波评分、T波改变、U波改变、QT间期和QT滞后、冲动形成异常和冲动传导异常等。

导联	斜率 ( $\mu\text{V} \cdot \text{次}^{-1} \cdot \text{min}$ )	N	r	r ( $P < 0.05$ )
I	0.52	16	0.625	0.497
II	1.96	16	0.643	0.497
III	1.43	16	0.611	0.497
(aVR)	(0.00)	0	0.000	0.000
(aVL)	(0.00)	0	0.000	0.000
aVF	1.62	16	0.598	0.497
(V <sub>1</sub> )	(0.00)	0	0.000	0.000
V <sub>2</sub>	0.00	0	0.000	0.000
V <sub>3</sub>	0.00	0	0.000	0.000
V <sub>4</sub>	2.44	16	0.546	0.497
V <sub>5</sub>	3.71	16	0.664	0.497
V <sub>6</sub>	3.40	16	0.687	0.497

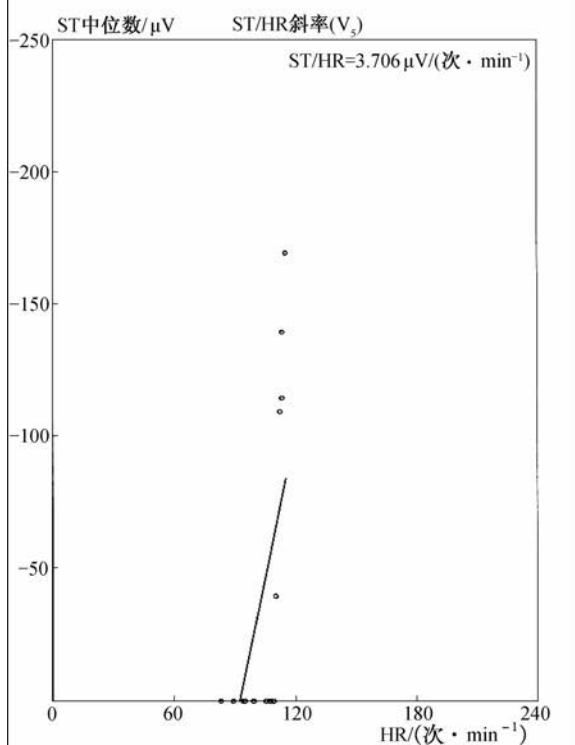


图3 ST/HR斜率

Fig.3 Gradient of ST/HR



① P 波改变:冠心病,运动中 P 波时间和  $V_1$  导联 P 波终末振幅增大。它的发生机制是心肌缺血增加了左心房的压力负荷。

② QRS 波改变:包括 R 波振幅、QRS 波时间、QRS 波高频成分和 QRS 波评分。正常人亚极量运动中 R 波振幅增加,极量运动中 R 波振幅降低。心肌缺血时,运动极点(最大运动量)时 R 波振幅增加,可能与心肌缺血引起左心室扩张有关。由计算机同步测量各导联 QRS 波时间,可获得“总体 QRS 波时间”,心肌缺血时,运动极点 QRS 波时间缩短消失。心肌缺血可使高频 QRS 波中的高频带减少。运动诱发的 Q 波、R 波和 S 波振幅改变,可改变 QRS 波 Athens 评分。

③ T 波、U 波和 QT 间期:T 波形态受体位、呼吸、过度呼吸、药物和心肌缺血/坏死的影响。对于冠心病低危人群,运动使倒置的 T 波正常化,无诊断价值;非 Q 波梗死,T 波正常化有诊断价值。静息心电图正常,运动诱发 U 波倒置为异常。心肌缺血,运动极点 QT 间期缩短消失,即 QT 滞后。

④ 冲动形成异常和冲动传导异常:运动诱发冲动形成异常,可见于各种室上性和室性心律失常;运动诱发冲动传导异常,可见于束支阻滞和房室传导阻滞,也可诱发心室预激,或使心室预激消失。

## 2.4 运动心电图的诊断价值

运动心电图诊断检出冠心病的平均敏感性为 68% (范围:23% ~ 100%),特异性为 77% (范围:17% ~ 100%)。对于评定冠脉的解剖学改变和功能而言,运动诱发的 ST 段压低并不能提示特定的冠脉病变;运动诱发的非 Q 波导联 ST 段抬高,则提示全层心肌缺血,能定位冠脉病变。 $V_2 \sim V_4$  导联提示左前降支病变;侧壁导联提示左回旋支病变;II、III 和 aVF 导联提示右冠脉病变。对于判断冠心病预后,单独用 ST 段分析,不足以判断预后,必须结合非 ST 段的指标。

## 参考文献

- [1] Gibbons RJ, Balady GJ, Beasley JW, et al. ACC/AHA guidelines for exercise testing: executive summary: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (Committee on Exercise Testing) [J]. *Circulation*, 1997, 96(1): 345 - 354.
- [2] Gibbons RJ, Balady GJ, Bricker JT, et al. ACC/AHA 2002 guideline update for exercise testing: summary article: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (Committee to Update the 1997 Exercise Testing Guidelines) [J]. *Circulation*, 2002, 106(14): 1883 - 1892.
- [3] Fletcher GF, Balady GJ, Amsterdam EA, et al. Exercise standards for testing and training: a statement for health-care professionals from the American Heart Association [J]. *Circulation*, 2001, 104(14): 1694 - 1740.
- [4] Fletcher GF, Ades PA, Kligfield P, et al. Exercise standards for testing and training: a scientific statement from the American Heart Association [J]. *Circulation*, 2013, 128(8): 873 - 934.
- [5] Viik J, Lehtinen R, Turjanmaa V, et al. Correct utilization of exercise electrocardiographic leads in differentiation of men with coronary artery disease from patients with a low likelihood of coronary artery disease using peak exercise ST-segment depression [J]. *Am J Cardiol*, 1998, 81(8): 964 - 969.
- [6] Kligfield P, Lauer MS. Exercise electrocardiogram testing: beyond the ST segment [J]. *Circulation*, 2006, 114(19): 2070 - 2082.

(收稿日期:2014-05-01)

(本文编辑:李政萍)

## 运动心电图解读：2013

作者：[刘霞, Liu xia](#)  
作者单位：[上海交通大学医学院附属瑞金医院心脏科, 上海, 200025](#)  
刊名：[江苏实用心电学杂志](#)  
英文刊名：[Journal of Practical Electrocardiology JS](#)  
年, 卷(期)：2014(3)

本文链接：[http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_jssydxzz201403001.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_jssydxzz201403001.aspx)