

基于ST损伤向量的心肌缺血罗盘显示*

蔡莎莎¹ 杨圣¹ 蒋依秦¹ 陈迪虎²

(1. 中国科学技术大学 工程科学学院 精密机械与精密仪器系 合肥 230027;

2. 中国科学院安徽光学精密机械研究所 合肥 230027)

摘要: 为了将心肌缺血的信息可视化,提出了一种基于ST段损伤向量罗盘显示的心肌缺血检测方法。该方法用ECG设备采集十二导联心电图信号,计算各导联的偏移值,用最小二乘解矛盾方程组的方法逆投影到罗盘上,得到ST损伤向量,该向量的大小代表缺血的严重程度,方向指向缺血部位,并用紫色标记。实验对32位心肌缺血患者做检测,将其结果与心电图检测法进行对比,Kappa值为0.9036,敏感性96.2%,特异性100%,准确性96.9%,阳性率81.3%, $P>0.1$;对比冠状动脉造影法,Kappa值为0.7949,敏感性96.2%,特异性83.3%,准确性93.8%,阳性率81.2%, $P>0.1$ 。数据表明该方法和这两种方法之间都具有很高的一致性,无显著性差异,准确性高,因此ST损伤向量的罗盘显示方法是心肌缺血检测领域一种很有价值的诊断手段。

关键词: 心肌缺血;ST段偏移;ST罗盘;ST损伤向量

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.4030

Myocardial ischemia displayed in compass based on ST injury vector

Cai Shasha¹ Yang Sheng¹ Jiang Yiqin¹ Chen Dihu²

(1. Department of Precision Machinery and Precision Instrumentation, School of Engineering Science, University of Science and Technology of China, Hefei 230027, China; 2. Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230027, China)

Abstract: ST injury vector displayed in the compass was proposed to visualize the location and extent of myocardial ischemia. Analysis of ST deviations from the standard 12-lead ECG allows for estimation a ST injury vector. The direction of this vector can be used to localize ischemia and the magnitude of the vector correlated with the extent of ischemia. Thirty-two patients with myocardial ischemia were detected by the ST injury vector method. The result was compared with electrocardiogram, Kappa value was 0.9036, sensitivity 96.2%, specificity 100% and accuracy 96.9%, positive rate of 81.3%, $P>0.1$; And compared with the coronary angiography, Kappa value was 0.7949, sensitivity 96.2%, specificity 83.3% and accuracy 93.8%, positive rate of 81.2%, $P>0.1$. It proved that there are high consistency and no significant difference between ST injury vector and electrocardiography and coronary angiography, and the accuracy is high. ST injury vector is valuable in the field of myocardial ischemia.

Keywords: myocardial ischemia; ST deviation; ST compass; ST injury vector

1 引言

心肌缺血是严重危害人民身体健康的常见病,特别是近年来,人们的生活水平不断提高,心肌缺血呈现居高不下而且逐年增长的趋势^[1]。因此,心肌缺血的预防和诊断治疗就成为当今医学界面临的医学难题。

随着心肌缺血治疗手段的日益发展,各种检测方法也越来越显示出其重要性。虽然冠状动脉造影是临床上冠心病诊断的金标准^[2],但是其他几种检查方法则在

心肌组织的水平上证实心肌缺血的存在。一些非创伤性的检查方法,如放射性核素心肌显影(ECT),心脏超声等在临床上作为常规方法应用;单光子发射计算机断层显像(SPECT)是国外目前用于检测心肌灌注最为常用的方法;正电子发射计算机断层显像(PET)是目前公认的评估心肌活力的“金标准”^[2-3]。然而,上述的各种方法也都存在一定的不足之处,如设备成本高、不方便携带、操作程序复杂、检测费用高、对人体有辐射等。

为了克服传统方法存在的缺点,英国格拉斯哥大学研

究组提出了十二导联心电图 ST 段偏移是诊断急性心肌梗死的关键所在,但是没有给出确切的方法,不能直观地表示出缺血部位以及缺血的范围。安格利亚鲁斯金大学的研究人员提出了将心电图 ST 段偏移转换为三维彩色图像显示的方法,并用欧洲 ST-T 数据库验证了其有效性,但是此方法仅考虑每个导联自身代表的缺血信息,忽略了各导联之间的相关性。

本文提出了将心肌缺血信息可视化的一种新方法——基于 ST 损伤向量的罗盘显示^[2,4]。ST 损伤向量是将各导联的 ST 段偏移通过计算转换为分布在两个平面罗盘上的向量,胸导联 V1~V6 位于水平面,肢体导联 I~III 和加压导联 aVR~aVF 位于垂直面,用向量的大小和方向分别表示心肌缺血部位与程度^[5-7]。实验中对收集的病例分别用 ST 损伤向量法、心电图检测法和冠状动脉造影法 3 种方法进行检测,分别以心电图法和冠脉造影作为标准,通过计算 Kappa 值来表明 ST 损伤向量法和这两种方法之间存在很高的一致性,并用 χ^2 统计证明与这两种方法之间无显著性差异。这表明 ST 损伤向量的罗盘显示法是切实可行的,而且作为心肌缺血检测的一种新手段,具有一定的优势,如采用便携式 ECG 采集设备,体积小,携带方便,操作简单,缺血信息直观易读,大大减少了对专业医师的依赖,准确性高,可以在地方社区医院和家庭可以得到广泛的普及和应用。下面主要从心电信号的获取与处理、ST 段偏移值和 ST 损伤向量的算法、ST 罗盘、实验方法、实验结果分析等方面做一综述。

2 理论方法

2.1 心电信号的获取

采用便携式心电采集设备,通过电极采集来自人体的标准十二导联心电信号,并经过 A/D 转换和可编程控制器的数据传输与整合,转换为实际有效的数字化的心电数据,并将数据存入一个 data 文件,以便后续程序调用。

本心电信号采集设备下位机主要由 ACTEL 公司的可编程控制器 A3P250 和 TI 公司的 ADS1298 模拟前端 IC 构成,ADS1298 包含 8 通道、24 位高分辨率 ADC,低功耗 (0.75 mW/channel),内置右腿驱动放大器、导联脱落检测、威尔逊终端、脉搏检测等,省去了大量的外围电路^[8-9]。下位机通过 USB2.0 协议与上位机进行数据传输。

软件由 C++ 语言开发,依次实现对心电数据的实时采集、传输、处理与显示^[10-11]。具体的系统结构图如图 1 所示。

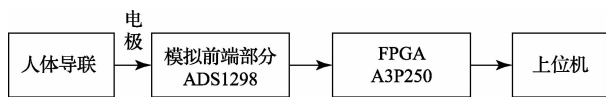


图 1 心电采集设备的系统结构

2.2 心电图导联位置

根据心电图导联在心脏上的位置,将其看成是分布在垂

直和水平两个平面上。其中,胸导联 V1~V6 位于水平面,肢体导联 I~III 和加压导联 aVR~aVF 位于垂直面。心电图十二导联的位置关系如图 2 所示。

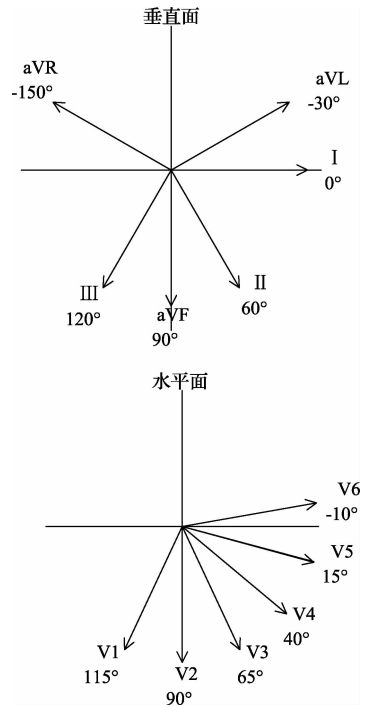


图 2 各导联的位置关系

2.3 ST 段偏移值

心电图中心 ST 段代表了心室除极结束后,心室复极开始的一段时间内的点位变化。正常情况下 ST 段是与等电位线平行的,或有轻度的上下偏移。当心室复极受到一定损伤时,心电图 ST 段有两种表现:当心外膜心肌损伤时,出现 ST 段抬高,当心内膜心肌损伤时,出现 ST 段下移。ST 段偏移是诊断心肌缺血的重要指标,正确分析 ST 段的偏移值具有重要的临床意义。ST 段偏移值的算法如下,该过程由 MATLAB 实现。

首先读取方法(1.1)中存储的 data 文件,对其进行平滑预处理^[12],然后取一个完整的心电周期,根据式(1)中的二阶差分法检测出 R 波。如果患者的 R 波倒置,还需进一步根据式(2)求二阶差分的绝对值负数。心电信号每个 R 波都对应于其二阶差分的一个极小值。

$$Y(n) = X(n) - 2X(n-1) + X(n-2) \quad (1)$$

$$Z(n) = -|Y(n)| \quad (2)$$

最后确定出 R 波后,采用 R+X 法选取特征点,这里取 R 波后各 108 ms 处为 ST 段测量点,R 波前 80ms 处为等电位参考点,两点的电位值分别用来表征 ST 段的电位值 V_1 以及参考电位值 V_0 ,ST 段的偏移值为 V_s ,则:

$$V_s = V_1 - V_0 \quad (3)$$

在实际设计中,可根据患者不同的情况用鼠标点击进行微调,软件响应点击操作,便可自动读取各导联的 ST 段

偏移值。十二导联的ST段偏移值由此方法依次求出。

2.4 ST 损伤向量

ST 损伤向量在心肌缺血中的价值取决于如何从十二个导联的ST偏移值中获得ST损伤向量,十二导联的ST段偏移值是空间总ST损伤向量在各导联上的投影。已知每条导联轴的方向,测出十二导联的ST段偏移值后,通过逆投影即可求出ST损伤向量。采用的是最小二乘解矛盾方程组的方法,具体方法求解如下:

以垂直面为例,设 $i=1,2,\dots,6$ 分别代表导联 I、II、III、aVL、aVR、aVF,ST 损伤向量在各导联上的投影坐标表示为 (x_i, y_i) ,ST 段偏移值为 b_i ,ST 损伤向量在垂直面上投影的坐标值为 (x_f, y_f) ,则根据最小二乘解矛盾方程组的方法有:

$$\begin{pmatrix} x_1 & y_1 \\ x_2 & y_2 \\ \vdots & \vdots \\ x_6 & y_6 \end{pmatrix}^T \begin{pmatrix} x_1 & y_1 \\ x_2 & y_2 \\ \vdots & \vdots \\ x_6 & y_6 \end{pmatrix} (x_f, y_f) = \begin{pmatrix} x_1 & y_1 \\ x_2 & y_2 \\ \vdots & \vdots \\ x_6 & y_6 \end{pmatrix}^T \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_6 \end{pmatrix} \quad (4)$$

由线性代数知识,解出方程组(4)的解即为ST损伤向量在垂直面上的坐标 (x_f, y_f) ;同理可得ST损伤向量在水平面上的坐标 (x_h, y_h) 。将求解得到的ST损伤向量分别表示在水平和垂直两个平面罗盘上,即ST损伤向量罗盘图。以上算法的程序都由MATLAB软件编程实现。

2.5 ST 罗盘

ST 罗盘可以分成两种情况:一是ST段偏移值在罗盘上的显示,这样将ST偏移值的大小和方向(抬高或压低)可视化,从图中可以很容易看出各导联上ST段的偏移情况;二是ST损伤向量在罗盘上的显示,从图中可以得出缺血的严重程度与缺血的部位,并且图中用紫色部分标记出缺血的区域,红色部分为正常区域。这样的表现形式直观易懂,不需要依赖专业医师,这也正是与标准心电图等其他方法的区别所在。

如图3所示,ST罗盘由5个同心圆组成,其半径分别为1,2,3,4,5(单位:mm),1mm=0.1mV(单位mV是心电图导联上的电位)。胸导联V1~V6分别按图1中的位置关系分布在水平面上,肢体导联I~III和加压导联aVR~aVF分布在垂直面上。理论上,ST罗盘的中心为心脏左室的中心。

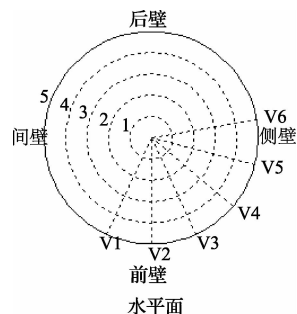
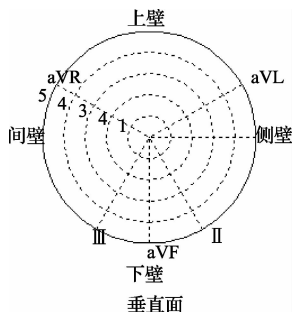


图3 ST 罗盘

由于心肌缺血多见于心内膜下心肌,因为心内膜下心肌冠状血管承受的压力明显大于心外膜下心肌。所以只考虑导联偏移的绝对值,即不管ST段是抬高还是压低,对于除aVR以外的其他导联,向量都由罗盘的中心指向相应导联的正方向(即虚线的方向)。对于aVR导联则取反方向。

3 实验方法

3.1 研究对象

本文收集了2014年3月至2014年12月期间到中国人民解放军第一零五医院就诊住院,并根据临床病史和心电图检查等方法拟诊为心肌缺血的患者为32例,年龄范围46~93岁,其中男性17例,女性15例。本实验的排除标准为:

- 1)合并除心肌缺血外的其他心血管疾病,如严重心律失常、心瓣膜病等;
- 2)因各种原因无法行冠脉造影检查者,如严重肝肾功能不全经治疗无好转;
- 3)曾冠状动脉造影经皮腔内冠状动脉成形术者。

3.2 检查方法

对以上病例的患者分别用以下3种方法进行检测:ST损伤向量法、心电图检测法和冠状动脉造影法。其中冠状动脉造影记录狭窄血管和血管狭窄程度,心电图观察心肌缺血异常的部位和范围。检查结果分别以心电图法和冠脉造影作为标准,计算ST损伤向量法对病灶检出的Kappa值(是评价不同方法间,校正机遇一致率后的观察一致率指标,常用于比较两者间的一致性)、敏感性、特异性、阳性预测值、准确性、阳性率,并用 χ^2 统计比较ST损伤向量法与其他两种方法之间有无显著性差异。

4 实验结果

4.1 与心电图的对比

ST损伤向量法检测结果:阳性26例,阴性6例;心电图法检测结果:阳性26例,阴性6例;两种方法均阳性25例,均阴性6例。将两种方法所检测的结果列入四格表,如表1所示。

表1 ST损伤向量法与心电图法检测结果

		心电较长法		
		阳性	阴性	合计
ST损伤	阴性	25	0	25
向量法	阴性	1	6	7
合计		26	6	32

计算得:Kappa 值为 0.9036(>0.81),由此可知 ST 损伤向量法与心电图法两者具有很强的一致性。敏感性 96.2%,特异性 100%,准确性 96.9%,阳性率 81.3%。 $\chi^2=0.5$,查表得 $P=0.48>0.1$,认为这两种方法之间无显著差异。

4.2 与冠状动脉造影的对比

ST 损伤向量法检测结果:阳性 26 例,阴性 1 例;冠状动脉造影检测结果:阳性 26 例,阴性 1 例;两种方法均阳性 25 例,均阴性 5 例。将两种方法所检测的结果列入四格表,如表 2 所示。

表2 ST损伤向量法与造影法检测结果

		冠状动脉造影法		
		阳性	阴性	合计
ST损伤	阴性	25	1	26
向量法	阴性	1	5	6
合计		26	6	32

计算得:Kappa 值为 0.7949($0.61<0.7949<0.80$),可知 ST 损伤向量法与冠状动脉造影法两者具有高度一致性。敏感性 96.2%,特异性 83.3%,准确性 93.8%,阳性率 81.2%。 $\chi^2=0.5$,查表得 $P=0.48>0.1$,认为这两种方法之间无显著差异。

4.3 案例分析

患者女,61岁,冠状动脉造影显示:左主干正常,左前降支近段 80%狭窄,回旋支正常,右冠状动脉可见斑块。因为左前降支的供血区域为心脏前壁和侧壁,而近段位于心脏的前壁,因此该患者诊断为心肌前壁缺血。患者的 ST 罗盘图如图 4(a)、(b)所示。由图可见,该患者的缺血区域为前壁。

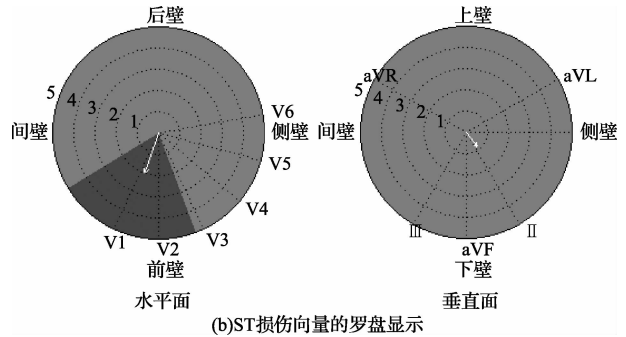


图4 ST段偏移和ST损伤向量罗盘显示

5 讨论

目前,ST 损伤向量的罗盘显示在应用于心肌缺血的检测领域中还存在一定的不足之处,如只适用于单支病变的心肌缺血,对于多区域缺血还不能正确的进行评价;不能对心肌缺血进行准确的定量分析等,而这些问题有待于进一步的研究。

综上所述,ST 损伤向量的罗盘显示已经成为检测心肌缺血的一种新方法,ST 损伤向量的罗盘显示技术上还有许多需要解决的问题。单纯应用 ST 损伤向量的罗盘显示诊断心肌缺血还仅仅是一个研究方向,但作为一种无创性检查手段,具有一定的优势。未来技术的发展,将进一步提高 ST 损伤向量对心肌缺血检测的准确性。

6 结论

实验结果表明,ST 损伤向量的罗盘显示法与人们公认的诊断心肌缺血的两种方法,即心电图检测法和冠状动脉造影法具有很高的一致性,且无显著性差异。用 MATLAB 对心电信号进行提取与处理,创造性的将心肌缺血的程度和部位用一个 ST 损伤向量表示在 ST 罗盘上,并且将缺血部位用紫色做以标记,让非专业医师也能很直观的读取心肌缺血的信息。ST 损伤向量的罗盘显示方法作为心肌缺血检测领域的一种新方法,是很有价值的诊断手段。

参考文献

[1] 李世锋,李中健,申继红,等.心电图学系列讲座(七)——心肌缺血、损伤与心肌梗死[J].中国全科医学,2014,17(7):846-848.

[2] MADS P, ANDERSEN, CHRISTIAN J. The ST injury vector: electrocardiogram-based estimation of location and extent of myocardial ischemia [J]. Journal of Electrocardiology, 2010, 43: 121-131.

[3] FIECHTER M, GEBHARD C, GHADRI J R, et al. Myocardial perfusion imaging with ^{13}N -Ammonia PET is a strong predictor for outcome [J].

(a)ST段偏移的罗盘显示

- International Journal of Cardiology, 2013, 167(3): 1023-1026.
- [4] MAN S, RAHMATTULLA C, MAAN A C, et al. Acute coronary syndrome with a totally occluded culprit artery: relation of the ST injury vector with ST-elevation and non-ST elevation ECGs[J]. Journal of Electrocardiology, 2014, 47(2): 183-190.
- [5] CAYLA G, SILVAIN J, COLLET J P, et al. Updates and current recommendations for the management of patients with Non-ST-Elevation acute coronary syndromes: What it means for clinical practice[J]. The American Journal of Cardiology, 2015, 115(5): 10A-22A.
- [6] GARG P, NELSON T, SAHU J, et al. Is this ST-elevation because of myocardial ischaemia or a Brugada pattern? An interesting case review [J]. Internal and Emergency Medicine, 2015, 10(2): 249-250.
- [7] ZHANG Y J, ZHENG W, SUN J, et al. Electrocardiogram score for the selection of reperfusion strategy in early latecomers with ST-segment elevation myocardial infarction[J]. Journal of Electrocardiology, 2015, 48(2): 260-267.
- [8] 魏厚杰,官金安,方浩. ADS1298 模拟前端的便携式生理信号采集系统[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2012,12(2):36-39.
- [9] 王飞. 基于FPGA的多通道高分辨率时间数字转换系统设计[J]. 电子测量与仪器学报, 2014, 28(6): 664-669.
- [10] 刘青,徐赞. 便携式远程心电分析监护仪的设计与实现[J]. 国外电子测量技术, 2014, 33(10): 62-66.
- [11] 王芳,季忠,彭承琳. 基于双树复小波变换的心电信号去噪研究[J]. 仪器仪表学报, 2013, 34(5): 1160-1166.
- [12] 黄政钦,孙静,张丽娜,等. 心音、心电采集系统设计与信号预处理[J]. 电子测量技术, 2014, 37(9): 117-131.

作者简介

蔡莎莎,1990年出生,硕士研究生。主要研究方向为心肌缺血的罗盘显示。

E-mail: caisha@mail.ustc.edu.cn

杨圣,1962年出生,博士,副教授。主要研究方向为生物医学工程、电力电子技术和纳米测控技术等。

E-mail: yangs@ustc.edu.cn