

心率变异的测量和分析

周果宏

(郑州大学)

心率变异性实时测试系统由心电图机、Apple-II 微型机、6522 接口板和自制的接口电路组成。

将一系列心跳事件看作时间序列，并把发生在任意时刻 t_i 的事件用其最接近的采样脉冲表示，则心跳序列可表示为

$$X(t) = \sum_i \delta(t - n_i \cdot \tau). \quad (1)$$

对(1)式进行稀疏化的离散富氏变换后，可得其在频域中表示式

$$Y(K) = \sum_i \cos(2\pi K \cdot \Delta f \cdot n_i \tau) - j \cdot \sum_i \sin(2\pi K \cdot \Delta f \cdot n_i \cdot \tau), \quad (2)$$

$(K = 1, 2, \dots, 80).$

考虑心率变异的有效范围，频率 $f = K \cdot \Delta f$ 最大取值为 0.4 Hz，采样频率为 1 KHz，故 $\tau = 1 \text{ms}$ ；总测试时间取为 200 秒。(2)式的功率谱由下式给出：

$$\sum_{K=1}^{80} P(K) = \sum_{K=1}^{80} |Y(K)|^2 = \sum_{K=1}^{80} \{ \{ \text{Re}[Y(K)] \}^2 + \{ \text{Im}[Y(K)] \}^2 \}. \quad (3)$$

在 200 秒测试期间，每当一个 ECG 信号 R 波到来，获取一个取样脉冲瞬时计数 n_i ，按(2)式进行处理，最后按(3)式算出功率谱，并进行海宁滤波。以频率 $K \cdot \Delta f$ 为横坐标，以 $P(K)/P(K)_{\max}$ 为纵坐标，打印出心率变异谱 (HRV)。

设 T_i 为瞬时心率的倒数， T 为 T_i 的均值。心跳间隔的变异可用 $\Delta T_i = T_i - T$ 表示。在时域中绘制心跳间隔变异直方图 HIV，横坐标为 ΔT_i ，纵坐标表示 ΔT_i 落于某一范围的心跳次数。 ΔT_i 超过 160ms 属非正常值。计算 T_i 的方差

$$d = \sqrt{\sum_{i=1}^{N-1} (T_i - T)^2 / (N - 1)}. \quad (4)$$

定义 $R_{dt} = d/T$ 为心跳间隔变异指数，可在时域中作为心率变异的量度。

HRV 谱的总功率由下式给出：

$$SP = \int_0^{f_{\max}=0.43\text{Hz}} P(f) df = \sum_{K=1}^{80} P(K). \quad (5)$$

定义 $R_{pf} = SP/\bar{f}$ 为变异功率指数，作为心率变异在频域的量度。

通过对 21 名中老年教师, 12 名健康大学生的 71 次测试表明, 健康被试者变异功率指数 R_{pf} 均不大于 5, 而心跳间隔变异指数 R_{dt} 不大于 0.1. 中老年教师中有四名已知的心脏病患者, 其两项指标显著偏高. 从时域的 HIV 直方图来看, 正常健康人的图形多呈高斯分布, 心率异常者多在最左侧有高的线柱, 表示 ΔT_i 超出 $\pm 160\text{ms}$ 的次数(图 1), 或呈杂散分布. 正常被试者的 HRV 功率谱均具有较明显的呼吸峰及血压波动峰群(图 2). 部分谱图在低频部分有 $1/f$ 型陡峰. 四例心脏病患者, 有三例 HRV 谱呈多峰紊乱型, 一例呈 $1/f$ 型. 在老龄女性被试者中, 有 8 人 HRV 谱呈 $1/f$ 型, 具有低血压峰、低呼吸峰的特征.

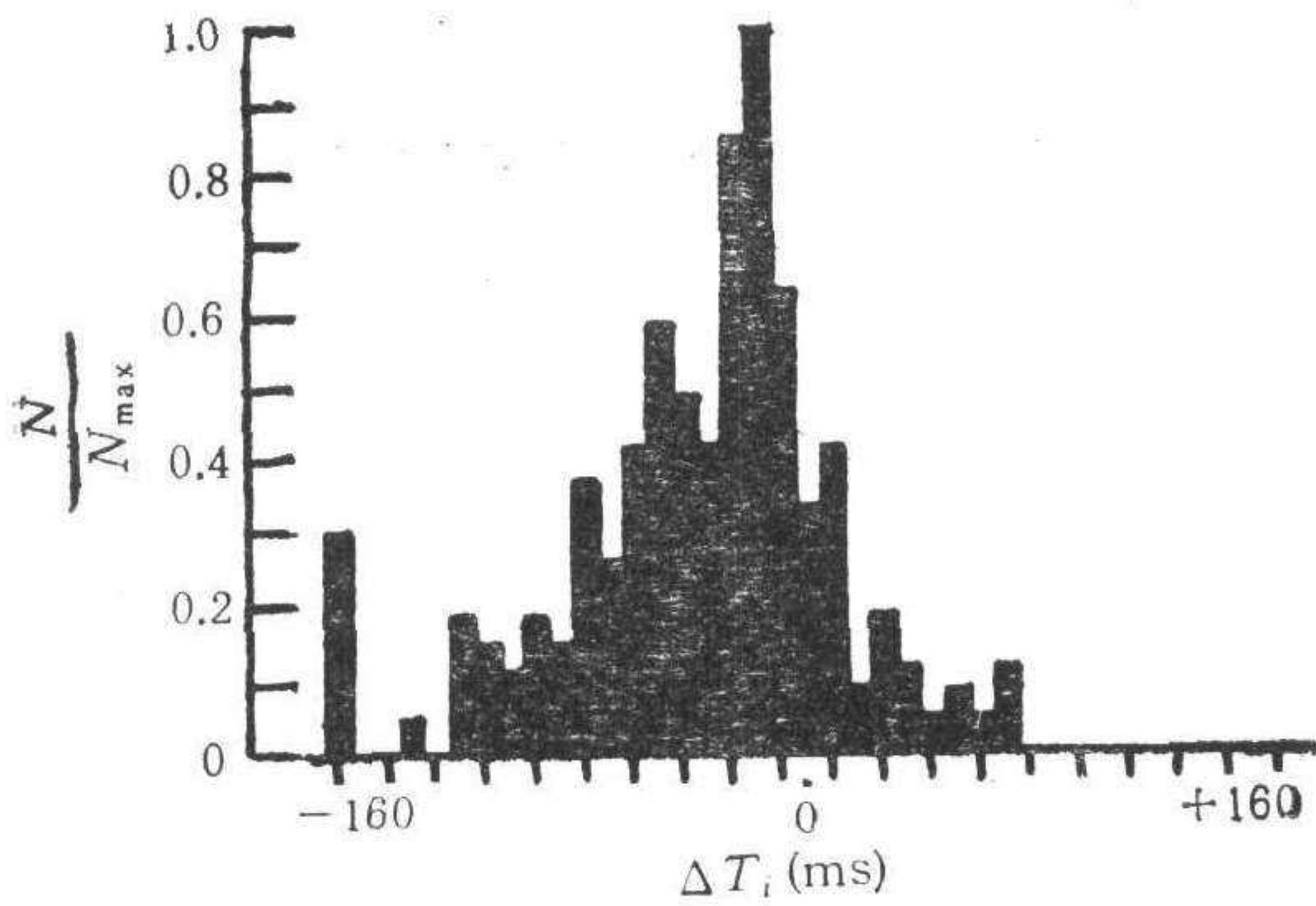
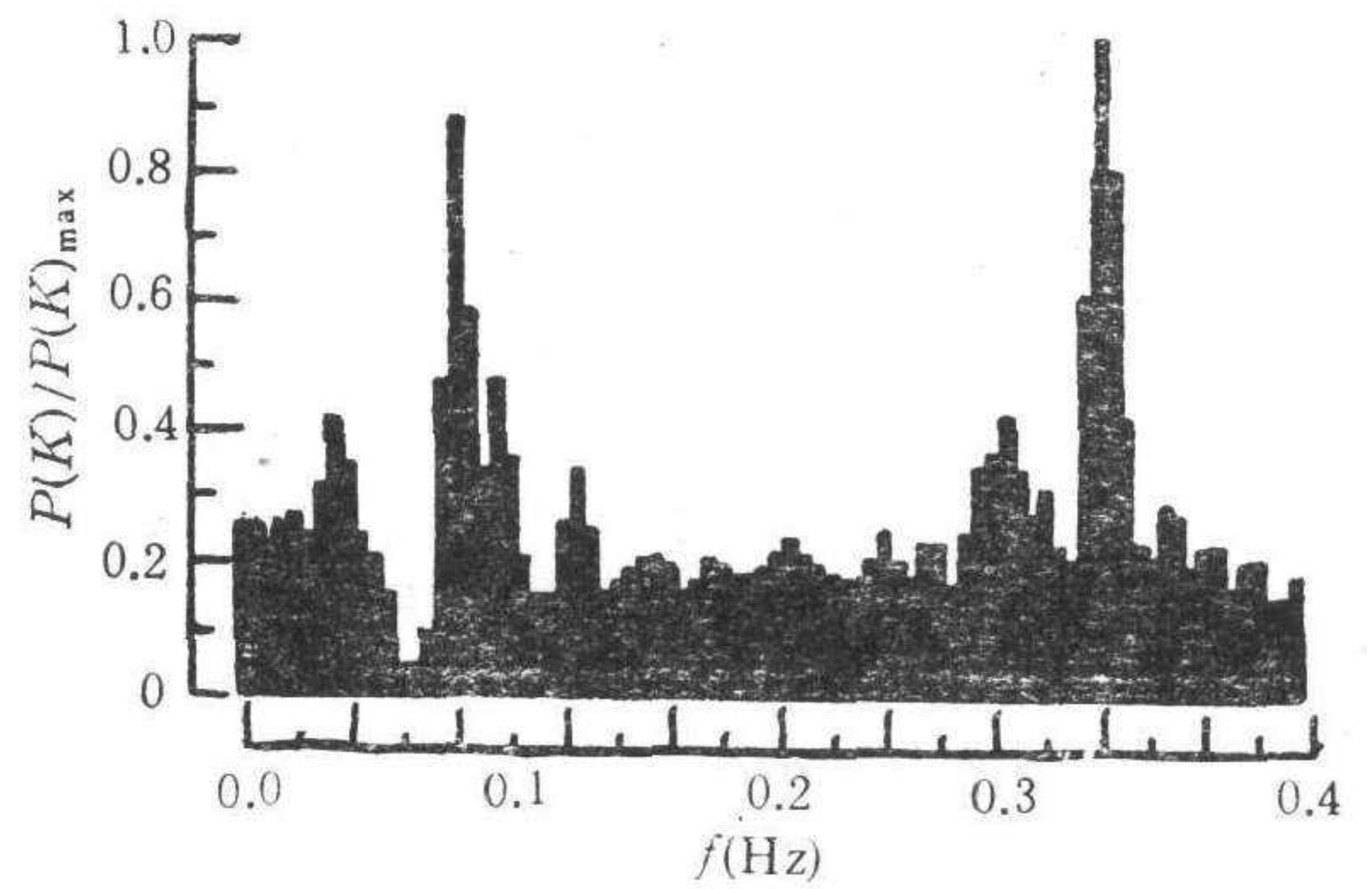


图 1 R-R 间隔变异谱



左为血压波动峰; 右为呼吸峰

图 2 心率变异功率谱

THE MEASUREMENT AND ANALYSIS OF HEART RATE VARIABILITY

ZHOU GUOHONG
(Zhengzhou University)