

文章编号:1000-582x(2001)04-0098-04

# 吸毒者脉象异常的现代谱分析法<sup>\*</sup>

陈明杰<sup>1</sup>, 蔡坤宝<sup>1</sup>, 石永智<sup>2</sup>, 王永东<sup>3</sup>

(1. 重庆大学 高电压与电工新技术教育部重点实验室, 重庆 400044;  
2. 重庆市公安局 江北分局强制戒毒所, 重庆 400020; 3. 重庆大学 通信工程学院, 重庆 400044)

**摘要:**采用PVDF脉搏传感器,将受测者左手官位的脉象信息采集到计算机中,并以数据文件格式存储。利用现代谱分析法,随机选取受测者40个连续心动周期的脉象信号,分别对每一心动周期的脉象信号作现代功率谱估计得到40幅功率谱图,取其平均值得到平均功率谱。从平均功率谱图中可以看出,吸毒者和正常人的功率分布有显著差异。将平均功率谱图中的频率轴0~20 Hz分为7个频段,对每一位受测者的平均功率谱计算特定频段上的功率分布,从而获得用以区分吸毒者和正常人的初步判据。将此判据用于30例受测者,其中15例为海洛因成瘾者,另15例为正常人,区分吸毒者与正常人的正确率为93.3%。研究结果表明,现代谱分析法是分析吸毒者脉象异常的有效手段。

**关键词:**吸毒者;功率谱;平均功率谱;脉搏

**中图分类号:** R 318.04

**文献标识码:** A

毒品是全人类共同面对的世界性公害,禁毒是国际社会刻不容缓的共同责任。毒品危害人民健康,滋生犯罪和腐败,破坏可持续发展,危及国家安全和世界和平。据不完全统计,截止1999年底,中国登记在册的吸毒人员已达68万。吸毒对人体的损害是十分严重的,并可导致各种并发症,如肝炎、呼吸道感染、神经系统病变、心内膜炎及心律失常等<sup>[1]</sup>。中医脉诊是祖国医学诊断学的精髓,在国际上越来越受到重视。但是,由于历史条件的限制,致使传统中医脉象的分辨标准停留在定性上和主观上,影响了中医脉诊的推广与发展。因此,中医脉诊方法的客观化,是现代中医学研究的一个重要方面。笔者用现代谱估计法对脉象信号进行分析,根据信号功率随频率分布的特性,初步定出了区分海洛因吸毒者与正常人脉象的分辨标准。从吸毒病人脉搏信号中提取特征信息,为戒毒治疗的评估与改进提供客观的依据,推动中医脉诊的现代化与客观化是本文的着眼点。

## 1 信号处理系统结构简介

中医脉象信号处理系统的结构如图1所示。该系统采用由北京信息工程学院传感器研究所研制的压电

薄膜脉搏传感器,PVDF压电薄膜材料用作该传感器的换能元件,脉压信号通过特殊的匹配层传递到换能器件上,变换成电荷量,再经传感器内部的放大电路转换成电压输出信号。此信号送至后续电路进行滤波、放大和电平转换后,由SL1210型A/D采样卡送入计算机,经必要的数据预处理后再由Maple算法进行现代功率谱估计。

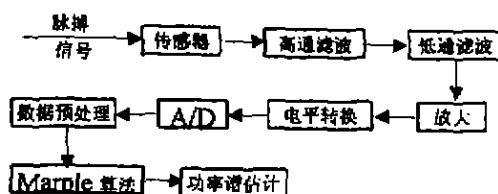


图1 中医脉象信号处理系统结构图

## 2 现代谱估计法

### 2.1 谱分析方法简介

利用广义平稳随机过程的 $N$ 个样本数据估计该过程的功率谱密度称为功率谱估计,亦可称为谱分析。谱分析方法分为非参数化方法和参数化方法两大类。非参数化谱分析即为经典谱估计,参数化谱分析又称现代谱分析,它具有频率分辨率高的优点<sup>[2]</sup>,且改善了

\* 收稿日期:2001-02-28

作者简介:陈明杰,男(1972-),重庆人,重庆大学硕士研究生。从事信号处理在生物医学工程中的应用研究。

谱线分裂和频率偏移现象。

### 2.2 AR 模型及其功率谱

设  $\{x(n)\}$  为广义平稳的零均值实随机过程,  $\{w(n)\}$  为白噪声过程, 若两者的样本序列  $x(n)$  和  $w(n)$  满足

$$x(n) = - \sum_{k=1}^M a_{M,k} x(n-k) + w(n) \quad (1)$$

则称过程  $\{x(n)\}$  为  $M$  阶自回归过程, 而式(1) 被称为该过程的  $M$  阶自回归模型, 简称 AR 模型。可以证明该过程的功率谱密度为

$$P_x(\omega) = \frac{P_M}{\left| 1 + \sum_{k=1}^M a_{M,k} e^{-j\omega k} \right|^2} \quad (2)$$

其中  $P_M$  为白噪声过程的功率谱密度, 亦即方差。由此可见, 只要估计出  $P_M$  以及所有的参数  $a_{M,i}$ , 即可估计出功率谱密度  $P_x(\omega)$ , 或者说功率谱<sup>[3]</sup>。

### 2.3 正反向线性预测最小二乘法

设前向线性预测误差为

$$f_{M,k} = \sum_{i=0}^M a_{M,i} x_{k+M-i}$$

( $a_{M,0} \equiv 1, 1 \leq k \leq N - M$ )

而后向线性预测误差为

$$b_{M,k} = \sum_{i=0}^M a_{M,i} x_{k+i}$$

( $a_{M,0} \equiv 1, 1 \leq k \leq N - M$ )

则前向与后向预测误差能量之和  $e_M$  为

$$e_M = \sum_{k=1}^{N-M} f_{M,k}^2 + \sum_{k=1}^{N-M} b_{M,k}^2$$

可以证明, 当  $e_M$  达最小时有如下两式成立

$$\sum_{j=0}^M a_{M,j} r_M(i, j) = 0 \quad (i = 1, 2, \dots, M) \quad (3)$$

$$\sum_{j=0}^M a_{M,j} r_M(0, j) = e_M \quad (4)$$

其中  $r_M(i, j) = \sum_{k=1}^{N-M} (x_{k+M-j} x_{k+M-i} + x_{k+j} x_{k+i})$  ( $0 \leq i, j \leq M$ ) 常被称为自相关函数。

将式(3)和(4)合并写成如下的矩阵形式

$$R_M A_M = E_M \quad (5)$$

其中  $R_M = \begin{bmatrix} r_M(0,0) & \cdots & r_M(0,M) \\ \vdots & & \vdots \\ r_M(M,0) & \cdots & r_M(M,M) \end{bmatrix}$

$$A_M = [1 \quad a_{M,1} \quad \cdots \quad a_{M,M}]^T$$

$$E_M = [e_M \quad 0 \quad \cdots \quad 0]^T$$

求解式(5)即可得到 AR 模型参数矩阵  $A_M$ 。

### 2.4 Marple 算法

若直接求解式(5), 则需求矩阵  $R_M$  的逆阵, 当阶数  $M$  取得较高时, 计算量是相当大的。Larry Marple 于 1980 年提出了一种新的求解式(5)的方法, 即常称的 Marple 算法。笔者采用这一算法并对其退出机制作了相应的改进。由 Marple 算法估计出 AR 模型的参数与白噪声的方差, 按式(2)即可估计出 AR 过程的功率谱。由 Marple 算法所得的功率谱没有明显的谱线漂移, 减少了谱峰频率估计的偏差<sup>[4]</sup>。

## 3 实验结果与分析

笔者使用一个 10 阶的 AR 模型, 利用 Marple 算法估计参数  $a_{M,i}$ , 然后利用式(2)估计出功率谱。总共分析了 30 个人的 1 200 个心动周期的脉象信号, 其中正常人 15 人, 计 600 个心搏, 吸毒者 15 人, 计 600 个心搏。具体作法是: 随机选取任一例受测者的 40 个连续心动周期的脉象信号, 在进行必要的数据预处理后, 分别对每一个心动周期的脉象信号作功率谱估计即可得 40 幅功率谱图, 再由此 40 幅功率谱图求得平均功率谱图, 亦即在此意义下该受测者脉象信号的平均功率谱, 图 2 与图 3 分别为吸毒者 b02 和正常人 z04 的平均功率谱图。

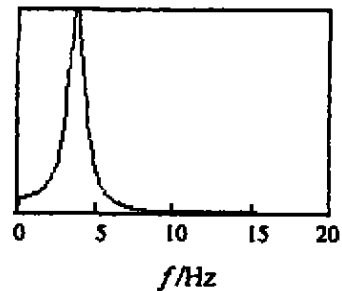


图 2 吸毒者 b02 的平均功率谱图

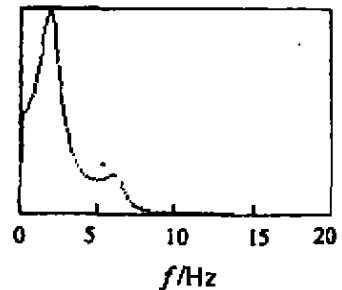


图 3 正常人 z04 的平均功率谱图

从 30 例平均功率谱图的分布得出结论, 脉搏信号

的功率在 20 Hz 以上的分布几乎为零(可以忽略不计)。吸毒者的平均功率谱在 0~1.5 Hz 频段上的功率分布较小,在 3~6 Hz 频段上的功率分布较大,而正常人的平均功率谱在 3~6 Hz 频段上具有的功率较小。因此,为了更好地分析出吸毒者和正常人功率谱中功率分布的差异,笔者将每一平均功率谱图从 0~20 Hz 分为 7 个区间,从 0~6 Hz 频段均分为 4 个区间,6~20 Hz 频段分别按 2 Hz、4 Hz 和 8 Hz 宽度分为 3 个区间,将每一区间上功率谱密度曲线与横轴所围的面积值分别定义为  $er_1, er_2, \dots, er_7$ , 并将  $er_3$  与  $er_4$  的和与总面积之比定义为  $er$  值。笔者对采集的 15 例吸毒者和 15 例正常人的脉搏信号进行了上述处理,表 1 给出了详细的数据。实际应用中,采用如下判定方法。

若同时满足以下两个条件,则判定为吸毒者。1)  $er > 0.4$ ; 2)  $er_3 > 125$ 。

若只满足其中一个或不满足以上任一条件,则判定为正常人。笔者用上述判定方法对 30 个人进行判定,能正确判断 15 例正常人,而 15 例吸毒者中有 2 个被误判为正常人。这样,对 30 例资料而言,准确率为 93.3%。查阅病例记录表明,记录为 b11 和 b12 的两个吸毒者,吸毒史都不太长,且在进行脉象采集时已被强制戒毒多日,身体恢复较好。所以,笔者大胆地猜测:中医脉象的平均功率谱图可以作为检测戒毒疗效及戒毒者身体康复的指标之一。当然,这需要进行大样本的数据采集和分析,有待做进一步的研究。

表 1 30 例受测者平均功率谱图各频段功率值及  $er$  值

记录	$er_1$	$er_2$	$er_3$	$er_4$	$er_5$	$er_6$	$er_7$	$er$
b01	96.29	113.90	151.43	69.14	16.15	4.22	1.37	0.487
b02	24.05	52.635	216.48	52.15	10.99	3.51	1.13	0.744
b03	71.37	127.30	135.15	34.88	19.45	8.88	0.43	0.427
b04	29.65	68.707	203.20	65.28	13.83	2.85	0.68	0.698
b05	85.81	175.26	143.79	67.46	22.66	2.47	0.65	0.424
b06	81.14	130.99	155.81	78.00	22.92	3.55	0.87	0.494
b07	42.87	133.42	201.46	36.69	14.21	3.16	0.42	0.550
b08	47.03	177.10	127.28	54.19	20.43	2.82	0.61	0.422
b09	17.49	66.388	286.92	43.22	18.36	3.02	0.53	0.757
b10	49.91	155.02	150.95	44.23	18.56	2.92	0.60	0.462
b11	104.2	164.51	96.49*	48.35	36.81	5.33	0.76	0.317*
b12	75.95	258.48	85.02*	39.84	37.08	2.42	0.31	0.250*
b13	75.83	119.01	153.34	51.61	33.04	14.3	0.91	0.457
b14	25.66	109.82	204.73	37.88	45.18	6.61	0.47	0.563
b15	12.05	43.023	223.60	48.33	27.29	3.55	0.63	0.758
z01	58.88	239.96	114.99	45.38	44.95	3.52	0.35	0.315
z02	75.04	165.46	137.82	41.35	45.70	9.30	0.48	0.377
z03	75.65	253.52	65.806	39.46	63.80	3.09	0.50	0.209
z04	79.68	118.08	75.401	34.27	38.02	12.98	1.64	0.304
z05	74.20	214.49	80.109	30.69	36.49	3.68	0.37	0.251
z06	62.27	81.586	77.607	52.79	60.67	22.54	2.71	0.362
z07	48.55	154.79	102.43	32.04	47.69	5.86	0.48	0.343
z08	60.23	178.36	94.969	36.14	32.79	4.00	0.36	0.322
z09	116.6	81.016	75.277	67.25	43.87	14.15	0.85	0.357
z10	66.58	50.015	121.10	63.09	20.06	17.99	0.33	0.543
z11	99.33	291.70	129.20	67.09	40.92	3.07	0.51	0.310
z12	90.9	158.38	120.05	61.50	60.96	17.25	0.32	0.356
z13	82.39	155.37	58.114	24.94	29.93	8.71	0.40	0.230
z14	74.37	111.79	63.087	33.28	62.16	18.88	2.40	0.263
z15	188.9	233.20	68.674	42.92	36.46	3.57	0.49	0.194

注:以字母 b 开头的记录代表吸毒者,  $er$  值后有 \* 号的记录代表误判。

值得一提的是,在研究的初期,笔者仅对每一受测者的一个心动周期的脉象信号作现代功率谱估计,并据此求得  $e_r$  值作为正常与否的判别指标,结果发现判别正确率较低,且若随机选取受测者一个心动周期的脉象信号加以分析,判定结果会有一定的变动。研究结果表明,用改进的平均功率谱进行分析,在统计平均的含义下,减少了随机选择一个心动周期脉象信号进行分析而引起的随机误差,提高了诊断的正确率。

#### 4 结束语

借助现代谱分析法,采用本文中提出的平均功率谱方法,对30例受测者的脉象信号进行分析的结果表明,吸毒者与正常人脉象信号的功率谱分布有显著的

差异。研究结果对检测吸毒病人脉象的异常,进而应用临床监测戒毒病人脉象的变化具有一定的意义。

#### 参考文献:

- [1] 曾令禄. 戒毒与康复知识八十问[M]. 重庆: 重庆大学出版社, 1998. 19-25.
- [2] 张贤达. 现代信号处理[M]. 北京: 清华大学出版社, 1998. 68-142.
- [3] 杨燕翔. 中医脉象的现代谱分析及其在急性肝炎病检测中的应用[D]. 重庆: 重庆大学电工学院, 1988. 15-24.
- [4] MARPLE L. A new Autoregressive Spectrum Analysis Algorithm [J]. IEEE, 1980, ASSP-28(4): 441-453.

## A Modern Spectrum Analysis Method for Pulse Abnormalities of Drug Abusers

CHEN Ming-jie<sup>1</sup>, CAI Kun-bao<sup>1</sup>, SHI Yong-zhi<sup>2</sup>, WANG Yong-dong<sup>3</sup>

(1. The Key Laboratory of High Voltage Engineering and Electrical New Technology, Ministry of Education, Chongqing University, Chongqing 400044, China; 2. Force Kicking the Habit Station of Jiangbei Office, Chongqing Police Bureau, Chongqing 400020, China; 3. College of Communication Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

**Abstract:** The pulse sense of PVDF is used to collection pulse signals of subjects into computer and store them in data file style. The author select a series of pulse signals randomly which contains 40 consecutive cardiac cycles of subject and using a modern spectrum analysis method to estimate the power spectrum of data in every cardiac cycle. An average power spectrum is obtained through averaging such 40 power spectra. It is found that the significant difference of power distribution exists between the heroin addicts and the healthy person. The frequency axis of average power spectrum. Calculating the power distributions on specified frequency bands of the average power spectrum for every subject is carved up. A primary criterion is obtained. The above criterion is applied to 30 subjects including 15 heroin addicts and 15 healthy persons. The correctness of classifying heroin addicts and healthy persons arrives 93.3%. The result shows that the modern spectrum analysis method is really an effective measure to analyze pulse abnormalities of heroin addicts.

**Key words:** drug abusers; power spectrum; average power spectrum; pulse

(责任编辑 李胜春)