

计算机自动识别足底压力信号功率谱：帕金森病患者与对照组的步态分析**

韩 阳¹, 马展鸿², 周 萍¹

Foot sole pressure signal power spectra based on computer recognition: Gait analysis between Parkinson's patients and controls

Han Yang¹, Ma Zhan-hong², Zhou Ping¹

¹School of Biomedical Engineering, Capital Medical University, Beijing 100069, China; ²Department of Radiology, Chaoyang Hospital, Beijing 100020, China

Han Yang, School of Biomedical Engineering, Capital Medical University, Beijing 100069, China
yanghan88@gmail.com

Correspondence to: Zhou Ping, Associate professor, School of Biomedical Engineering, Capital Medical University, Beijing 100069, China
eduhelp@163.com

Supported by: the Basic Clinical Foundation of Capital Medical University, No. 2007JL25*; Beijing Middle-aged and Young Talent Teachers of Strong Teaching Program in 2005, Beijing Education Commission*

Received: 2010-01-24
Accepted: 2010-04-06

Abstract

BACKGROUND: Gait of Parkinson's disease (PD) is a research focus. However, few studies explored the gait features from the pressures of sole of foot.

OBJECTIVE: To compare extracted features from the foot-pressure signals in PD patients and control subjects and realize automatic recognition by computer, so as to extract the pattern of walking in PD and help explain the disturbed gait through signal processing.

METHODS: Autoregressive (AR) model was applied to the analysis of foot-pressure based on Yule-Walker equation for the calculation of power spectra. In the comparison process, we also gave our own definition to Associated Discrete Index in order to measure the discrete degree at a same frequency. The data from three research groups: Ga, Ju and Si were analyzed. The database included 18, 25, 29 control subjects and 29, 29, 35 PD patients respectively.

RESULTS AND CONCLUSION: In different framework, obvious difference between PD patient and control subject through *t*-test was observed in spectral line distribution, and density. Spectral line of PD patients was dense with similar appearance compared with normal controls.

Han Y, Ma ZH, Zhou P. Foot sole pressure signal power spectra based on computer recognition: Gait analysis between Parkinson's patients and controls. Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu yu Linchuang Kangfu. 2010;14(26): 4812-4814. [http://www.crter.cn http://en.zgckf.com]

摘要

背景: 基于帕金森的步态研究是当前的热点之一,但是很少有人从足底压力入手来研究帕金森病患者行走中的步态特点。

目的: 从帕金森患者和对照组步态数据中提取特征进行对比,以期对计算机自动识别打下基础。同时希望从患者的步态中提取规律,通过信号处理的方法,帮助解释这种受扰动的步态。

方法: 在分析足底压力时应用自回归(AR)模型,利用 Yule-Walker 方程进行功率谱的计算。在进行对比时,定义了相对分离指数用来测量功率谱在某一频率时的分离程度。分析来源于 Ga, Ju 和 Si 的 3 组观察指标,分别包含 18, 25, 29 名正常对照以及 29, 29, 35 例帕金森病患者。

结果与结论: 通过计算得到了帕金森病患者和正常对照的 Yule-Walker 功率谱密度分布图,可以发现,谱线的分布、密度、疏密程度有明显的差别。帕金森病患者的谱线排列紧密且彼此相似度高,正常对照的谱线排列疏松且彼此差异较大。

关键词: 帕金森病;步态;足底压力;功率谱;自回归(AR)模型

doi:10.3969/j.issn.1673-8225.2010.26.015

韩阳, 马展鸿, 周萍. 计算机自动识别足底压力信号功率谱: 帕金森病患者与对照组的步态分析[J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2010, 14(26):4812-4814. [http://www.crter.org http://cn.zgckf.com]

0 引言

帕金森病又名震颤麻痹,是一种常见的中老年神经系统变性疾病,随着人口的老龄化,其发病率呈逐年上升趋势^[1],主要影响50岁以上的老年人。因此,帕金森患者易摔倒,甚至可能丧失独立行走的能力。帕金森病可以进行性发展,导致严重的平衡不稳的强迫步态^[2]。而行走是日常活动最重要的组成部分,正常行走是人正常生活的基本保障^[3]。本文采用的数据来源于93例患者和72名正常对照,被试以其平时自然的步态在水平地面上行走2 min,记录下足底在垂直方向所受的反作用力^[4]。研究的数据来源于3个不同的研究小组。在本文中Ga代指的

数据来自于Yogev等^[5]的研究小组, Ju来自于Hausdorff等^[6]的研究小组, Si来自于Frenkel-Toledo等^[7]的研究小组。AR模型是一种参数化谱估计方法,涉及自回归(AR)参数的估计,且不需求解非线性方程组,计算过程相对简单。

1 对象和方法

1.1 对象 采用的数据来源于93例帕金森病患者(平均年龄66.3岁;63%为男性)和72名正常对照(平均年龄66.3岁;55%为男性)。所有观察对象对试验方案均知情同意,且得到医院伦理道德委员会批准。被试以其平时自然的步态在水平地面上行走2 min,足底在垂直方向所受

的反作用力(N)以时间序列记录下来。足底的16个传感器以采样100次/s的速度记录, 数据中还包括了每只足底8个传感器的记录之和^[2]。采样速度为100 Hz, 每个被试采样时间为121.1715 s。

1.2 方法 AR模型是一种时间序列分析方法, 一个精确的AR模型可以反映动态系统的特征。同时, AR模型的自回归参数对于条件变量非常敏感^[8-9]。帕金森病患者的步态信号具有独特的性质和特点, 可以利用AR模型的自回归参数从中提取频率响应函数, 用来分析这一动态系统。

AR模型的Yule-Walker方程: AR模型是一个全极点模型, 该模型的现在输出是现在的输入和过去输出的加权, 可用如下差分方程来表示^[10]:

$$x(n) = -\sum_{r=1}^p a_r x(n-k) + u(n)$$

其中 $u(n)$ 为白噪声序列, p 为AR模型的阶数, $a_r, r=1, 2, \dots, P$ 为AR模型的参数。由上面的差分方程, 很容易得到AR模型的转移函数形式:

$$H(z) = \frac{1}{1 + \sum_{r=1}^p a_r z^{-r}}$$

进一步可以得到利用AR模型进行功率谱估计的公式:

$$\hat{P}_x(k) = \frac{\sigma^2}{\left| 1 + \sum_{r=1}^p a_r W_N^{-kr} \right|^2}$$

其中 σ^2 为白噪声序列的方差。

由此可以看出, 要进行功率谱估计, 必须求得AR模型的参数 $a_1, a_2, \dots, a_P$ 及 σ^2 , 它们可由下面的Yule-Walker方程求得:

$$\begin{bmatrix} \hat{R}_x(0) & \hat{R}_x(-1) & \dots & \hat{R}_x(-p) \\ \hat{R}_x(1) & \hat{R}_x(0) & \dots & \hat{R}_x(-(p-1)) \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \hat{R}_x(p) & \hat{R}_x(p-1) & \dots & \hat{R}_x(0) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ a_1 \\ \vdots \\ a_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sigma^2 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix}$$

相对分离指数(ADI): 为了比较帕金森病患者和正常对照功率谱密度(power spectral density, PSD), 作者定义了相对分离指数:

$$d(\omega) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n |x_i(\omega) - x_j(\omega)|$$

$x_i(\omega)$ 代表编号为 i 的功率谱线, $i=1, 2, \dots, 18$, 分别代表足底不同的传感器。 ω 在这里是一个确定的频率, 而 $d(\omega)$ 表示频率为 ω 时不同

谱线之间的距离。 $d(\omega)$ 可以用来表征功率谱线的分散程度。

2 结果

通过计算得到了帕金森病患者和正常对照的Yule-Walker功率谱密度分布图。典型帕金森病患者见图1, 正常对照见图2。

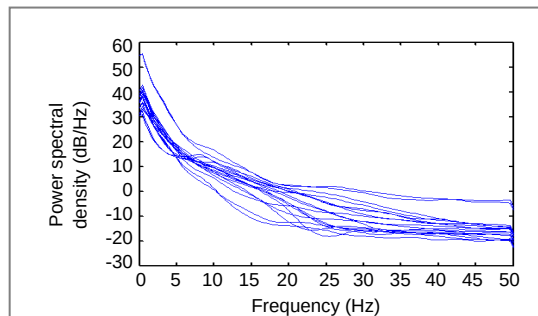


Figure 1 Yule-Walker power spectrum density map of Parkinson's disease patients
图1 帕金森病患者的 Yule-Walker 功率谱密度图

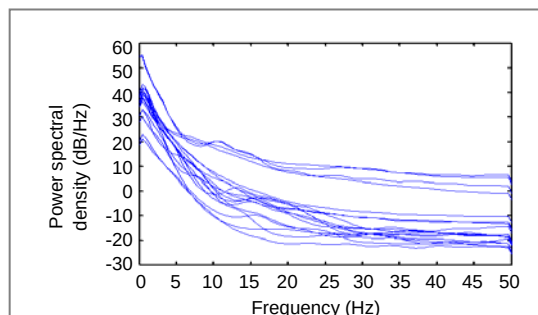


Figure 2 Yule-Walker power spectrum density map of normal controls
图2 正常对照的 Yule-Walker 功率谱密度图

从图1, 2可以发现, 谱线的分布、密度、疏密程度有明显的差别。帕金森病患者的谱线排列紧密且彼此相似度高, 正常对照的谱线排列疏松且彼此差异较大。

图3是相对分离指数相对于频率的分布图, 虚线代表正常对照, 实线代表帕金森病患者, 不同的颜色是指数据来源于3个不同的研究小组。

作者对比了相同颜色的实线和虚线, 发现了很明显的差异。在大多数的频段, 正常对照的相对分离指数都大于帕金森病患者。因为本组数据来源于足底不同位置的传感器, 发现帕金森病患者足底不同点数据的频域特性更为相似。结果用双尾 t 检验进行统计学分析, 发现在高频段, P 值趋于稳定, 且接近或小于0.05, 说明帕金森病患者与正常对照步态的功率谱分析具有明显差异。

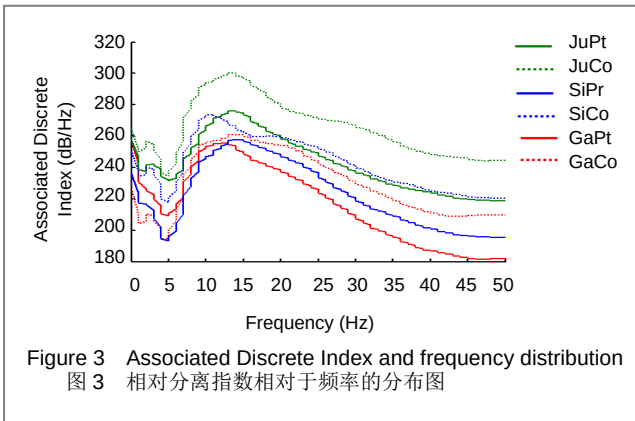
¹ 首都医科大学生物医学工程学院, 北京市 100069; ² 朝阳医院放射科, 北京市 100020

韩 阳, 女, 1988年生, 江苏省南京市人, 汉族, 首都医科大学在读, 主要从事生物医学图像处理研究。yanghan88@gmail.com

通讯作者: 周萍, 副教授, 首都医科大学生物医学工程学院, 北京市 100069 eduhelp@163.com

中图分类号: R318
文献标识码: B
文章编号: 1673-8225 (2010)26-04812-03

收稿日期: 2010-01-24
修回日期: 2010-04-06
(20091106017/G-A)



3 讨论

基于AR模型,可以得到帕金森病患者和正常对照行走时足底压力信号的功率谱分析。对于谱线的密度分析是功率谱分析中一个重要的方面,作者发现在谱线的分布密度和相似性方面,帕金森病患者和正常对照有明显差异。帕金森病患者足底各压力传感器得到的谱线更为相似,说明帕金森病患者在行走中,脚各部分运动的一致性较强,运动适应性较差,反映了帕金森病患者运动时肌肉强直的特点。这与帕金森病患者在行走中特有的步态表现是一致的,也可以间接地解释为什么帕金森病患者在行走中更易摔倒。根据以上分析,经过帕金森病病人的步态规律和正常对照相比,得到的结论是足底各点之间的同步更加明显,可以猜测这一特征可能表征某些行走时神经系统对运动的控制规律,有待进一步的研究。

基于帕金森的步态研究是当前的研究热点之一,但是很少有人从足底压力入手来研究帕金森病患者行走中的步态特点。帕金森病的慌张步态是该疾病的特征之一,主要特点为步长缩短,步态节奏中度降低,步速的改变和运动范围的紊乱^[8]。行走时上肢缺乏摆动动作,步幅短小,有阵发性加速,不能随意立停或转向,呈前

冲步态或慌张步态。帕金森病患者步行时的重心放在足的前部,行走中无正常足跟步^[11]。根据对传感器在足底位置的分析,能表征特征的信号主要来自于足底前方的传感器,与以上的研究结果是一致的。

4 参考文献

- [1] Song CW, Fang M, Gao KB, et al. Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu yu Linchuang Kangfu. 2009;13(36):7186-7188. 宋承伟,方明,高开波,等.自体外周血造血干细胞移植治疗帕金森病10例[J].中国组织工程研究与临床康复,2009, 13(36):7186-7188.
- [2] Li Y. Zhongguo Linchuang Kangfu. 2003;3(31):4287. 李艳.帕金森病患者的运动与作业疗法[J].中国临床康复,2003, 3(31):4287.
- [3] Li YQ. Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu yu Linchuang Kangfu. 2009;13(41):8044-8047. 李永强. 60~69岁妇女自然行走时的足底压力特征[J].中国组织工程研究与临床康复,2009,13(41):8044-8047.
- [4] www.physionet.org
- [5] Yogev G, Giladi N, Peretz C, et al. Dual tasking, gait rhythmicity, and Parkinson's disease: Which aspects of gait are attention demanding? Eur J Neurosci. 2005;22(5):1248-1256.
- [6] Hausdorff JM, Lowenthal J, Herman T, et al. Rhythmic auditory stimulation modulates gait variability in Parkinson's disease. Eur J Neurosci. 2007;26(8):2369-2375.
- [7] Frenkel-Toledo S, Giladi N, Peretz C, et al. Treadmill walking as an external pacemaker to improve gait rhythm and stability in Parkinson's disease. Mov Disord. 2005;20(9):1109-1114.
- [8] Hong D, Ya W, Shuzi Y. Fault diagnosis by time series analysis. Applied Time Series Analysis, World Scientific Publishing Co, Singapore, 1989. PDCA12-70 data sheet, Opto Speed SA, Mezzovico, Switzerland.
- [9] Ya W, Shuzi Y. Application of several time series models in prediction. Applied Time Series Analysis, World Scientific Publishing Co, Singapore, 1989.
- [10] Stephen TG. Scale for the assessment of movement disorders. Robert MH. Handbook of neurologic rating scales. New York: Demos Vermande,1997:81.
- [11] Liu JH, Hu XR, Li L, et al. Zhongguo Kangfu Lilun yu Shijian. 2008;14(10):985. 刘建华,胡秀茹,李立,等.自主牵张运动对帕金森病患者步行速度及步长的影响[J].中国康复理论与实践, 2008,14(10):985.

来自本文课题的更多信息--

基金资助: 首都医科大学基础临床基金(2007JL25);北京市教委“人才强教计划”2005 年北京市中青年骨干教师资助项目。

利益冲突: 课题未涉及任何厂家及相关雇主或其他经济组织直接或间接的经济或利益的赞助。