

文章编号:1004-7220(2010)06-0439-05

· 论 著 ·

基于小波变换的中医推拿揉法作用力信号能量分析

吕杰¹, 曹金凤¹, 方磊², 马龙龙¹, 章丹颂¹, 方舟¹, 许世雄¹, 房敏²

(1. 复旦大学力学与工程科学系, 上海 200433; 2. 上海中医药大学附属岳阳中西医结合医院, 上海 200437)

摘要: 目的 分析中医推拿揉法作用力各频率段的能量分布, 揭示揉法的动力学特点。方法 测量6位推拿专家及6位初学者的揉法推拿作用力信号, 利用小波变换进行频带划分, 计算各频率段的能量并进行统计分析。对垂直作用力和水平作用力构造18个特征量, 提出了总体评价系数 R 。结果 专家的揉法推拿作用力信号在0~0.406 25 Hz的低频段集中了近70%的能量, 另有约20%的能量集中在1.625~3.25 Hz频率段。6位推拿专家总体评价系数 R 均大于0.70, 6位初学者的总体评价系数 R 均小于0.70, 两者具有较显著的差异。结论 揉法作用力各频率段的能量分布体现了揉法“柔和”性及周期性特点。当测试者揉法推拿技术动作规范且总体评价系数 R 大于0.70时, 可认为已较好地掌握了揉法推拿技术。

关键词: 揉法; 作用力信号; 小波变换; 能量; 动力学; 频带

中图分类号: R318.01 文献标志码: A

Energy analysis of rolling manipulation force signal based on wavelet transform

LV Jie¹, CAO Jin-feng¹, FANG Lei², MA Long-long¹, ZHANG Dan-song¹, FANG Zhou¹, XU Shi-xiong¹, FANG Min² (1. *Mechanics and Engineering Science Department, Fudan University, Shanghai 200433, China*; 2. *Yueyang Hospital of Integrated Traditional Chinese and Western Medicine, Shanghai University of Traditional Chinese Medicine, Shanghai 200437, China*)

Abstract: Objective To analyze the energy of rolling manipulation in different frequency bands and find the features of rolling manipulation dynamics. **Method** The force signals of rolling manipulation of six experts and six beginners were measured and divided into different frequency bands by wavelet transform to calculate the energy. Through statistical analysis, 18 characteristic quantities of horizontal force or vertical force were created and the overall evaluation coefficient R was proposed. **Results** About 70% of experts' rolling manipulation energy was found in 0~0.406 25 Hz and about 20% energy in 1.625~3.25 Hz. The overall evaluation coefficient R of 6 experts was over 0.70, while R of beginners was below 0.70, which showed the difference was significant. **Conclusions** The energy distribution of rolling manipulation reflects the characteristics of softness and periodicity. If the rolling manipulation is in accordance with the manipulative requirement and the overall evaluation coefficients R is over 0.70, it could be said that the operator masters the rolling manipulation well.

Key words: Rolling manipulation; Force signal; Wavelet transforms; Energy; Dynamics; Frequency bands

由著名推拿专家丁季峰教授首创的揉法刺激面积大, 作用力强, 深透作用明显, 是临床最常用的手

收稿日期: 2010-08-22; 修回日期: 2010-09-20

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973)项目子课题(2007CB512700), 上海市重点学科建设项目(B112)。

作者简介: 吕杰(1986-), 男, 博士研究生, 研究方向: 生物力学。

通讯作者: 许世雄, 教授, E-mail: xusx_fd@yahoo.com.cn。

法之一^[1]。

推拿手法的规范性是产生有效疗效的保证,包括两个方面:一方面是运动学的规范性,涉及动作的轨迹、频率、幅度等;另一方面是动力学的规范性,涉及施力的大小、方向、作用点等。只有规范的手法动作才能产生所必须的恰当的作用力,而恰当的施力也从另一方面来判断其手法动作的规范性。

目前,揉法研究主要集中在临床,对其运动学及动力学研究较少。1996年,周信文等^[2]研制了FZ-I型中医推拿手法测力分析仪,对揉法合力作用点的轨迹进行了分析。此后谢志勇和许世雄等^[3,4]对揉法作用力进行了频域分析和时域分析。2003年,曾庆云^[5]对揉法操作步骤提出了更细致的描述,同时对各种揉法的施力曲线进行了统计分析。2004年,秦杰等^[6]利用测力台和测力指套,在体测量了揉法的作用力及在手掌上的分布力。2006年,余顺年等^[7]分析了揉法等9种推拿手法的自由度、速度大小、动作频率。

近年来,小波变换受到了广大研究者的关注,在信号处理领域得到了广泛的应用。推拿作用力信号是一种非平稳信号,相对于傅里叶变换,小波变换更适合用来分析这种非平稳信号。本文将基于小波变换,对揉法推拿作用力各频率段的信号进行能量分析,提出18个特征量,并给出这些特征量的参考值及总体评价系数,定量分析揉法的动力学特点。

1 方法

1.1 实验设备、对象及信号采集

实验设备:复旦大学和上海中医药大学共同研制的FZ-I型推拿手法测定仪。其技术参数为:垂直正压力满量程100 N,精度1%,分辨率0.30 N;水平力满量程30 N,精度1%,分辨率0.15 N^[2]。

测试者:上海中医药大学附属岳阳中西医结合医院、曙光医院的6位具有多年临床经验的副主任医师及以上职称医生,以及6位学习揉法推拿2个月左右,已初步掌握揉法动作要领,手法动作较规范的初学者。

信号采集:测试者根据揉法要求在测力平台上进行揉法推拿,由测定仪采集3个方向上的分力信号并在显示屏上同步显示三维作用力曲线。采样结束后,利用自编软件,在信号较稳定的区域内,以垂直作用力出现某一极小值为起始时刻,选取连续8

个周期的信号数据并保存为数据文件,以便作后续的分析。

1.2 小波变换及频带划分

当满足小波变换的容许条件时,由基本小波生成的二进离散小波为

$$\phi_{j,k}(t) = 2^{-j/2} \phi(2^j t - k) \quad (j, k \in \mathbf{Z})$$

如果二进离散小波函数簇 $\{\phi_{j,k}(t) \mid j, k \in \mathbf{Z}\}$ 构成 $L^2(\mathbf{R})$ 中的标准正交基,则对信号 $f(t) \in L^2(\mathbf{R})$ 的正交小波分解为

$$f(t) = \sum_{j=1}^N \sum_{k \in \mathbf{Z}} d_{j,k} \phi_{j,k}(t) + \sum_{k \in \mathbf{Z}} a_{N,k} \phi_{N,k}(t)$$

式中: N 为分解层数, $d_{j,k}$ 为第 j 层第 k 个点的细节系数, $a_{N,k}$ 为第 N 层第 k 个点的近似系数, $\phi_{N,k}(t)$ 为二进正交尺度函数。

本文采用的推拿手法测定仪,其采样频率为208 Hz,根据Nyquist采样定理,信号的频率范围为0~104 Hz。由于揉法各分力的频段主要集中在2~15 Hz^[3],因此,用小波函数db3对所采集的揉法作用力信号 $f(t)$ 进行8层小波分解,频带划分如表1所示。

表1 小波分解频带范围

Tab. 1 Frequency bands of wavelet decomposition

频带序号	频率范围/Hz
1	52 ~ 104
2	26 ~ 52
3	13 ~ 26
4	6.5 ~ 13
5	3.25 ~ 6.5
6	1.625 ~ 3.25
7	0.8125 ~ 1.625
8	0.40625 ~ 0.8125
9	0 ~ 0.40625

注:1~8分别为第1~8层细节信号d1~d8的频带,9为第8层近似信号a8的频带

1.3 能量表征及特征量

由多分辨率分析知,同一尺度上的小波函数 $\phi_{j,k}(t)$ 与尺度函数 $\phi_{N,k}(t)$ 正交,根据Parseval定理,对于完备正交函数集满足

$$\int_{\mathbf{R}} |f(t)|^2 dt = \sum_{j=1}^N \sum_{k \in \mathbf{Z}} |d_{j,k}|^2 + \sum_{k \in \mathbf{Z}} |a_{N,k}|^2$$

即信号在各频带上的能量总和与原信号的能量是一致的,每个频带内的信号均表征原信号在该频率范

围内的特征信息。因此,本文构造 9 个特征量 E_1, E_2, \dots, E_9 , 其中

$$E_i = \frac{\sum_{k \in \mathbf{Z}} |d_{i,k}|^2}{\sum_{j=1}^8 \sum_{k \in \mathbf{Z}} |d_{j,k}|^2 + \sum_{k \in \mathbf{Z}} |a_{8,k}|^2} \quad i = 1, 2, \dots, 8$$

$$E_9 = \frac{\sum_{k \in \mathbf{Z}} |a_{8,k}|^2}{\sum_{j=1}^8 \sum_{k \in \mathbf{Z}} |d_{j,k}|^2 + \sum_{k \in \mathbf{Z}} |a_{8,k}|^2}$$

E_i 为各频带范围内信号的能量经无量纲化后的值。

2 结果

选用小波函数 db3 对各测试者揉法推拿的垂直作用力信号及水平作用力模的信号进行 8 层小波分解。图 1 所示为测试者严氏揉法推拿作用力信号分解后各层系数重构波形。

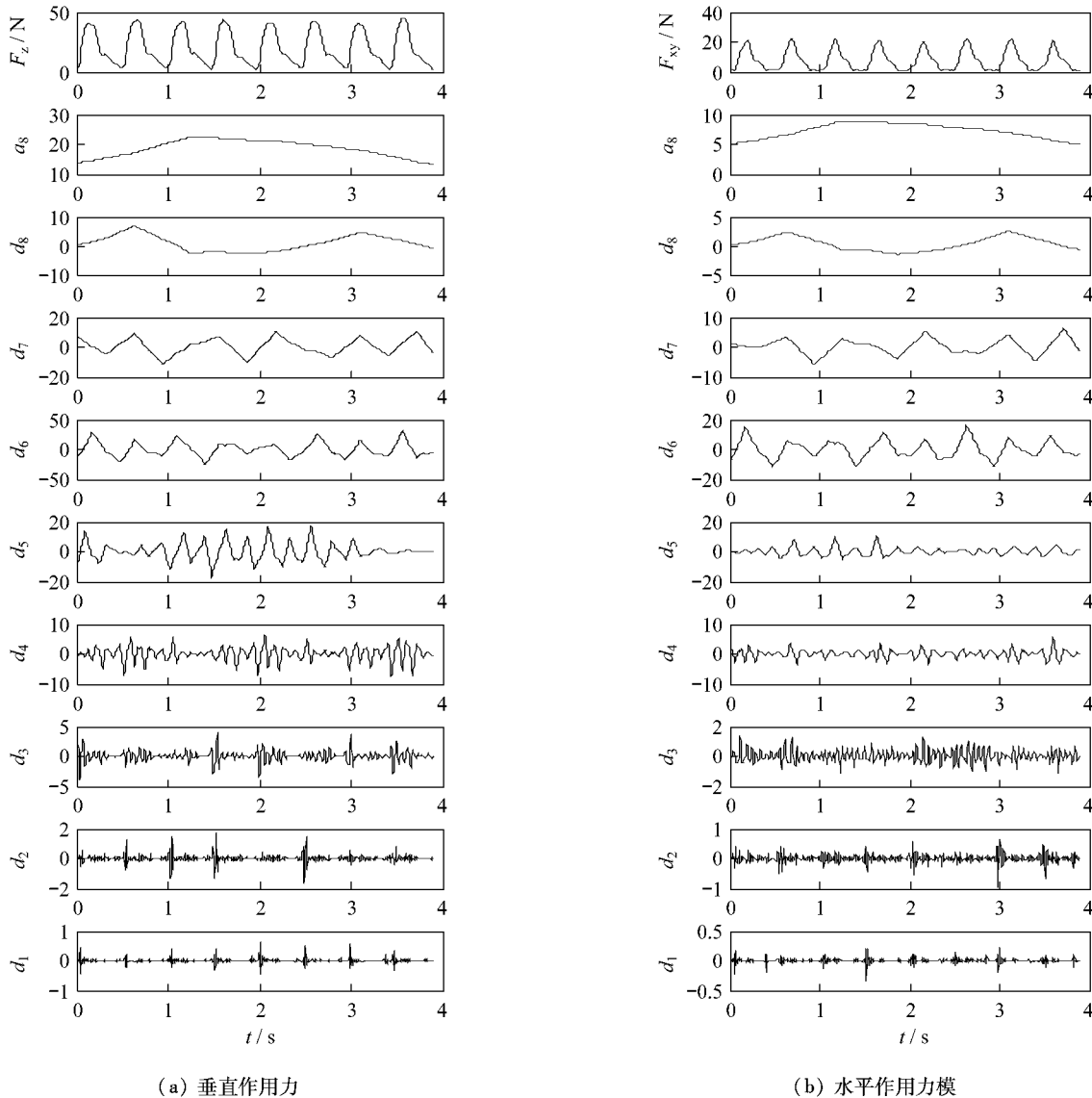


图 1 严氏揉法推拿作用力信号小波分解后各层系数的重构波形

Fig. 1 The reconstructive waveform of each scale wavelet coefficient after wavelet decomposition of Yan's rolling manipulation force signal
 (a) Under vertical force (b) Under horizontal force

计算所得揉法推拿垂直作用力及水平作用力模的特征量的值如表2所示。假设特征向量中各特征值的总体符合正态分布, n, \bar{X}, S 分别是样本数、样本均值和样本标准差, 则 $\sqrt{n}(\bar{X} - \mu)/S \sim t(n - 1)$ 满足 $t(n - 1)$ 分布, 均值 μ 的置信上下限为

$$\bar{X} \pm t_{1-\alpha/2}(n - 1) \cdot S/\sqrt{n} \text{ (置信度为 } 1 - \alpha)$$

每位测试者对应18个特征量, 若其中有 n 个特征量的值位于对应的95%置信区间内, 则定义总体评价系数 $R = n/18$ 。表2显示6位专家测试者的总体评价系数 R 均大于0.70。

表2 专家揉法推拿作用力各特征量的值

Tab.2 The characteristic quantities of experts' rolling manipulation force

	严氏	沈氏	是氏	孙氏	龚氏	程氏	样本均值 \bar{X}	样本标准差 S	95% 置信区间
垂直作用力特征值	E_1	0.000 0*	0.000 0*	0.000 0*	0.000 0*	0.000 0*	0.000 0	0.000 0	0.000 0
	E_2	0.000 1*	0.000 1*	0.000 1*	0.000 1*	0.000 1*	0.000 1	0.000 0	0.000 1
	E_3	0.001 0*	0.001 2*	0.001 2*	0.001 1*	0.000 9*	0.000 7	0.001 0	0.000 2 ~ 0.001 2
	E_4	0.008 6*	0.003 6*	0.018 4	0.011 5*	0.007 5*	0.005 2*	0.009 1	0.005 3 ~ 0.014 7
	E_5	0.052 9*	0.018 4	0.061 7*	0.073 9	0.022 1*	0.038 0*	0.044 5	0.022 2 ~ 0.067 8
	E_6	0.231 2*	0.142 3*	0.143 8*	0.226 3*	0.309 8	0.166 5*	0.203 3	0.065 2 ~ 0.271 8
	E_7	0.044 2*	0.029 2*	0.019 0*	0.004 9*	0.048 9*	0.052 7*	0.033 1	0.018 8 ~ 0.052 9
	E_8	0.014 3*	0.016 7*	0.017 0*	0.004 8	0.023 9	0.009 3*	0.014 3	0.006 6 ~ 0.021 3
	E_9	0.647 6*	0.788 5	0.738 8*	0.677 4*	0.586 7	0.727 7*	0.694 5	0.072 1 ~ 0.770 1
水平作用力模特征值	E_1	0.000 0*	0.000 0*	0.000 0*	0.000 0*	0.000 0*	0.000 0	0.000 0	0.000 0
	E_2	0.000 1*	0.000 3*	0.001 2	0.000 4*	0.000 1*	0.000 1*	0.000 4	0.000 0 ~ 0.000 8
	E_3	0.001 2*	0.005 1*	0.013 7	0.004 9*	0.001 0*	0.001 7*	0.004 6	0.000 0 ~ 0.009 6
	E_4	0.015 4*	0.018 6*	0.067 7	0.026 2*	0.010 6*	0.007 5*	0.024 4	0.0222 ~ 0.047 7
	E_5	0.062 6*	0.020 1*	0.083 6	0.044 0*	0.032 2*	0.027 3*	0.045 0	0.024 1 ~ 0.070 3
	E_6	0.313 9	0.168 9*	0.151 1*	0.104 9	0.236 6*	0.198 7*	0.195 7	0.073 0 ~ 0.272 2
	E_7	0.057 5*	0.033 3*	0.012 1*	0.006 0	0.038 8*	0.067 1	0.035 8	0.024 1 ~ 0.061 2
	E_8	0.014 3*	0.015 1*	0.013 4*	0.013 4*	0.021 3	0.009 2	0.014 4	0.003 9 ~ 0.018 6
	E_9	0.534 8	0.738 7*	0.657 0*	0.800 2	0.659 4*	0.688 4*	0.679 8	0.089 4 ~ 0.773 6
R	0.89	0.89	0.72	0.72	0.78	0.83			

注: * 表示位于95%置信区间

为了验证总体评价系数 R 的可靠性, 本文采用同样的方法, 对6位揉法推拿初学者进行了测试, 6位初学者揉法推拿作用力各特征量的值及总体评价系数 R 如表3所示。从表3可以看出, 这6位初学者的总体评价系数 R 均小于0.70, 与专家组 R 值进行 t 检验, $P < 0.005$, 说明两者具有显著差异。

3 讨论

参与测试的专家均具有较高的揉法推拿水平, 动作规范, 为业内公认。他们揉法推拿作用力信号在0~0.406 25 Hz的低频段集中了近70%的能量,

体现了揉法推拿“柔和”的特点, 使被推拿者不会感到过度的冲击。另外有约20%的能量集中在1.625~3.25 Hz频率段, 这与揉法推拿的周期2.0~2.7 Hz^[1]相吻合, 体现了揉法推拿的周期性特点。其于的能量主要分布在0.406 25~1.625 Hz及3.25~13 Hz频率段, 少部分在13~26 Hz频率段, 对于26 Hz以上的高频段, 能量几乎为零。

专家测试者的总体评价系数 R 均大于0.70, 与初学者的 R 值有显著差异, 可作为揉法推拿规范性的判据之一。如揉法学习者在手法动作(运动学)规范的前提下, 其手法作用力在各个频率段的能量

表3 初学者揉法推拿作用力各特征量的值
 Tab.3 The characteristic quantities of beginners' rolling manipulation force

	一	二	三	四	五	六	
垂直作用力特征值	E_1	0.000 0*	0.000 0*	0.000 0*	0.000 0*	0.000 0*	0.000 0*
	E_2	0.000 1*	0.000 1*	0.000 0	0.000 0	0.000 1*	0.000 1*
	E_3	0.001 6	0.001 6	0.000 1	0.000 2	0.000 8	0.000 7
	E_4	0.004 8*	0.003 0	0.001 1	0.001 4	0.003 9*	0.004 2*
	E_5	0.009 6	0.007 8	0.022 4*	0.013 5	0.016 1	0.015 6
	E_6	0.007 3	0.003 7	0.103 6	0.092 0	0.037 5	0.034 8
	E_7	0.002 8	0.002 3	0.008 9	0.035 1*	0.005 3	0.004 0
	E_8	0.002 5	0.002 8	0.004 8	0.004 9	0.002 1	0.003 2
	E_9	0.971 4	0.978 6	0.859 1	0.853 0	0.934 1	0.937 5
水平作用力模特征值	E_1	0.000 0*	0.000 0*	0.000 0*	0.000 0*	0.000 0*	0.000 0*
	E_2	0.000 4*	0.000 4*	0.000 3*	0.000 2*	0.000 5*	0.000 5*
	E_3	0.006 0*	0.005 6*	0.004 5*	0.003 8*	0.007 5*	0.006 7*
	E_4	0.025 9*	0.027 5*	0.037 2*	0.029 7*	0.038 3*	0.037 8*
	E_5	0.064 4*	0.074 1	0.1250	0.119 3	0.065 0*	0.061 9*
	E_6	0.173 8*	0.129 1*	0.059 2	0.068 4	0.012 4	0.038 6
	E_7	0.033 5*	0.011 9*	0.007 5	0.014 6*	0.005 5	0.008 7
	E_8	0.005 9	0.005 0	0.004 0	0.007 3	0.001 6	0.002 7
	E_9	0.690 0*	0.746 4*	0.762 4*	0.756 8*	0.869 1	0.843 1
R	0.61	0.50	0.39	0.44	0.50	0.44	

注: *表示位于95%置信区间

分布(动力学)也正确,即总体评价系数 R 达到0.70以上,则可认为已较好地掌握了揉法推拿技术。

参加本研究测试的专家共6位,进一步研究应扩大测试者数量,对他们的作用力信号进行统计、分析,以便为其他医师、学生检验自身揉法推拿水平提供更准确的定量参考,为今后开发相应的测试仪器,实现揉法推拿水平测试的自动化提供一定的帮助。

致谢 上海中医药大学附属岳阳医院的严隽陶、沈国权、是有康、孙武权和龚利医生以及曙光医院的程英武医生给予帮助,上海中医药大学的部分学生参与测试,在此一并致谢!

参考文献:

[1] 王国才,范亚莉,管政. 中国推拿[M]. 上海:上海中医学院出版社,1990:189-193.

[2] 周信文,许世雄,谢志勇,等. 中医推拿手法测力分析仪 FZ-I 型的研制及揉法合力作用点轨迹分析[J]. 医用生物力学,1996,11(3):179-183.

[3] 谢志勇,许世雄,李信安,等. 关于中医推拿手法摆动类揉法施力的频域分析[J]. 医用生物力学,1996,11(4):208-211.

[4] 许世雄,谢志勇,李信安,等. 摆动类揉法推拿作用力时域分析[J]. 医用生物力学,1997,12(1):25-29.

[5] 曾庆云. 揉法动作原理的运动生物力学研究[D]. 山东中医药大学硕士学位论文,2003.

[6] 秦杰,赵鹏,刘家勇,等. 在体手法测量系统对揉法的生物力学分析[J]. 中医正骨,2004,16(12):4-5.

[7] 余顺年,马履中,郭宗和. 中医推拿手法运动学与动力学特征分析[J]. 山东理工大学学报(自然科学版),2005,19(3):82-85.