

秒级微动人体经穴阻抗计量检测仪的研制

李 波¹, 张 军¹, 角建瓴²

(1. 暨南大学光电工程研究所, 广东 广州 510632; 2. 香港浸会大学中医药学院, 香港 999077)

[摘 要] 为有效分析人体经穴生物阻抗的波动特性,进而实施经穴疾病关联诊断与中医干预,本小组研制了秒级微动人体经穴阻抗计量检测仪,该仪器最小测试间隔为0.01 s,可以0.24 s的周期循环跟踪人体24处经穴阻抗微动情况,具有高效无创、操作方便、实时性好等优点. 实测数据表明,仪器重复性相对误差<0.067%,仪器准确度测量的相对误差为0.22%~0.75%,目前同类仪器的相对误差水平为<0.1%和1%,因此秒级微动人体经穴阻抗计量检测仪可以满足实用要求.

[关键词] 生物阻抗; 秒级微动; 低惯性关联; 微控芯片

[中图分类号] R318.6; TM934.14 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1000-9965(2009)03-0264-05

A secs-level detector for human meridian impedance

LI Bo¹, ZHANG Jun¹, JIAO Jian-ling²

(1. Institute of Optoelectronic Engineering, Jinan University, Guangzhou 510632, China;

2. School of Chinese Medical Science, HongKong Baptist University, HongKong 999077, China)

[Abstract] With the aim to analysis effectively the volatility of the human meridian impedance, as for the diagnosis of meridian diseases and the traditional Chinese medical intervention, a secs-level detector of human meridian impedance is developed. The minimum test interval of the detector is 0.01 second and it can track and test meridian impedances at 24-points in a period of 0.24 second. The developed detector is non-invasive and with high efficiency, it is also easy to use and good in a real time test. Experimental data shows that the relative error of repeatability of the detector is lower than 0.067% and the relative error of accuracy lies between 0.22% and 0.75%, while for the existing similar detectors in use, the corresponding values are respectively lower than 0.1% and 1%; hence the developed detector can meet the practical requirements very well.

[Key words] biological impedance; secs-level fretting; low inertia association; micro-chips

生物阻抗是反映生物组织、器官、细胞和整个生物机体电学性质的物理量之一,与其相关的生物阻抗技术主要是利用生物组织与器官的电特性(阻

抗、导纳、介电常数等)及其变化提取与人体生理、病理状况相关的生物医学信息的无损检测技术^[1].

[收稿日期] 2008-09-16

[基金项目] 广东省科技攻关项目(32406025);广东省中医药局科研课题(2060114)

[作者简介] 李 波(1982-),男,硕士研究生,研究方向:光电检测技术及其相关的精密计量检测仪器的研制
通讯作者:张 军,女,副研究员. 电话:(8620)85220484-412

国内外研究者在此方面做了大量的研究工作。我国的周钰等^[2]用自制的穴位伏安特性检测仪进行有关研究发现:穴位低阻现象并非普遍存在,而低惯性特征更具有普遍意义;脏腑腧穴的信息传递过程中存在时滞、耗损和信息散裂等特点,这些特点反映在生物物理特性上称为经络惯性特征,与非穴相比,穴位具有低惯性特征,意味着其与脏腑间的传输损耗低、时滞小、传输效率高。刘豫淑等^[3]利用湖北电子仪器厂生产的穴位电阻测定仪进行的测量结果表明人体十二经穴的五腧穴电阻均值在曲线图上呈现类似余弦的昼夜节律性。台湾 Chiou S Y 等^[4]应用单晶管弛张振荡器研制了穴位皮肤电阻探测仪。美国 Colbert A P 等^[5]研制了 Prognos 皮肤电装置来检测穴位皮肤电阻。澳大利亚 Kwok G 等^[6]认为传统方法受皮肤厚度、表面分泌物、电极重置及单次检测一个穴位等因素影响,研制了基于多道检测电极的穴位皮肤电阻探测仪。国内的吴润泽等^[7-8]也先后采用多路测量系统采集穴位阻抗。韩国 Cho S H 等^[9]研制了计算机辅助十六道皮肤电阻测定系统,可同时测定 16 个穴位皮肤电阻。但是这些仪器或方法,都未曾对衡量系统测量精度的一些关键性指标诸如分辨率、重复性、准确性等进行深入客观的剖析,因此,在检测过程中暴露出衡量标准不固定,测试结果随意性强等问题,严重时会导致相关研究工作半途中止,无功而返。

人体经穴系统是个复杂多变的非线性系统,只有在假定一些相对稳定或缓变易控要素的前提下,有关研究工作才能顺利进行下去。本小组研制的秒级微动人体经穴阻抗计量检测仪正是在充分肯定人体温湿度、皮肤角质层以及分泌物等个体差异特征的前提下进行的“干”式测量。

近年来,将经穴皮肤阻抗的波动值,作为客观指标来探究经络电学特性,是生物阻抗研究领域新的尝试。研究中我们发现人体经穴生物阻抗与相关疾病之间存在着某种特定的联系,为此,设计了一台秒级微动人体经穴阻抗计量检测仪。为确保系统检测数据的真实可靠,我们对系统的重复性、准确性及分辨能力进行了较为深入的研究论证,在确认系统可靠之后,利用该系统的检测数据与相关疾病进行关联探讨,形成人体经穴生物阻抗疾病中医诊断系统 BID-CDS,希望该系统能够成为中医诊断及治疗的辅助手段。

通过对相关技术的回顾性研究,本文提出了“暂态节律特性捕获”的概念。它是指排除个体体表潮湿、温热状况、损伤等外界易控因素,在健康清洁的穴位皮肤表层,通过利用秒级微动人体经穴阻抗计量检测仪快速扫描,循环测量经穴阻抗,从而在较短时间内分析人体穴位由于受气血经脉这一内部主因影响作用下而产生的阻抗波动起伏特性,进一步研究其基于角质层薄厚、内部气血经脉、化学分泌物质的个体差异性特征,“暂态”是相对前人研究中的“昼夜”、“十二时辰”而言。

1 系统总体设计

图 1 为人体经穴生物阻抗疾病中医诊断系统的原理图,图中列出了 3 个病种子库。随着关联诊断工作的开展以及人体经穴阻抗样值的不断积累,可细分出更多的病种子库,以便归类诊断。

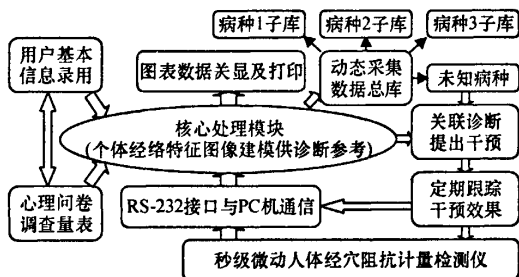


图1 人体经穴 BID-CDS 系统原理图

秒级微动人体经穴阻抗计量检测仪主要用来连续准确地提取多组经穴阻抗数据。该仪器具有以下特点:①根据穴位阻抗的初测值,动态调整阻抗匹配放大器的放大率,使经穴阻抗检测始终处于最佳的分辨状态;②仪器测量精度高,检测数据稳定可靠,构造简单,易于推广使用;③仪器拥有可扩展性,最多可实现 64 路经穴皮肤阻抗的快速并行检出。图2为该仪器的工作原理图,BID-CDS 系统在此基

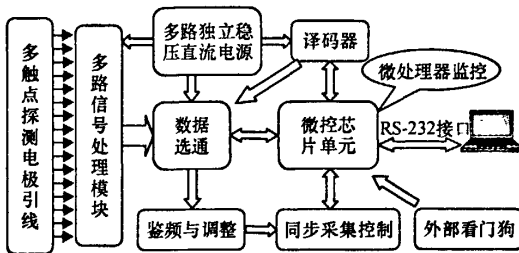


图2 秒级微动人体经穴阻抗计量检测原理图

础上通过对个体多个穴位的低惯性关联状态及短时间如数秒内经络暂态节律特性进行客观捕获与定量分析,建立个体档案,提出中医干预,并实施跟踪检测,从而更微观、精确地研究人体经穴皮肤阻抗及其波动情况.

秒级微动人体经穴阻抗计量检测仪的检测原理:将经穴阻抗作为由晶体管、场效应管及 LCR 元器件等构成的 Ω -V-Hz 转换电路的回路负载,把不同的接入阻抗转化为不同的取样电平,并借助体表的多触点循环选通系统依次选通各路电平信号,再经适当放大调整,转换成周期性低频脉冲量,以脉宽计量方式记录穴位信息.图 2 中的稳压部分采用多路独立的 5V 电压源对各组电极独立供电,确保测量时拥有均匀的电场;数据选通模块负责开关各路数据的物理链接,其响应速度直接影响系统的实时特性;微控芯片单元由 AT89 系列 SCM 及其状态监控芯片构成,负责协调数据选通、同步控制、译码器等外设电路有序工作,采集各路穴位信号,并对信号

进行预处理后传输给 PC 机;后续处理、穴位标注及关联诊断结果交由 PC 机显示和描述.

2 实验与讨论

2.1 仪器重复性分析

在使用秒级微动人体经穴阻抗计量检测仪之前,需要了解仪器的重复性.在检测系统重复性时,须有客观不变的固定标准来衡量,由于受试目标人体经穴阻抗的变动性,不宜作为甄别仪器性能指标的参照标准.在此,我们选择 10 个标称电阻($R_{0\sim 9}$)作为参照,保持相同的外界环境与系统操作平台,同一操作人员反复测量 10 次.采集模块,通过软件编程实现单点采样 16 次求平均,上位 PC 机利用 VisualBasic 语言编程输出本次测量典型值.结果如表 1 所示,其中,假设 n 为测量次数(一般 $n \geq 10$); x_n ($n = 0, 1, 2, \dots$) 为每次测试结果的实测值; \bar{x} 为 10 次测试结果的平均值; σ 为标准差(Standard Deviation); δ 为相对误差,其计算方法是: σ/\bar{x} .

表 1 仪器重复性测试与分析结果

M Ω

	$R_0 = 0.1$	$R_1 = 0.5$	$R_2 = 1$	$R_3 = 1.5$	$R_4 = 2.0$	$R_5 = 2.5$	$R_6 = 3.0$	$R_7 = 3.5$	$R_8 = 4.0$	$R_9 = 4.5$
x_0	0.099 8	0.509 5	1.025 9	1.501 4	1.956 8	2.550 6	3.096 5	3.491 6	4.014 7	4.507 6
x_1	0.100 0	0.509 5	1.026 8	1.502 1	1.956 8	2.550 9	3.096 9	3.493 3	4.015 4	4.507 8
x_2	0.099 9	0.509 5	1.026 8	1.502 1	1.957 9	2.550 6	3.096 5	3.493 3	4.015 2	4.506 8
x_3	0.099 9	0.510 5	1.025 1	1.501 4	1.957 9	2.550 6	3.096 5	3.492 9	4.014 5	4.506 8
x_4	0.099 9	0.509 5	1.025 9	1.501 4	1.956 8	2.551 5	3.097 1	3.493 3	4.014 7	4.507 1
x_5	0.099 8	0.509 5	1.025 9	1.502 8	1.957 9	2.550 2	3.096 3	3.493 6	4.014 5	4.506 8
x_6	0.099 9	0.509 5	1.025 9	1.502 1	1.957 9	2.550 9	3.096 9	3.492 2	4.015 2	4.507 9
x_7	0.099 9	0.509 5	1.025 9	1.501 4	1.957 9	2.550 6	3.096 5	3.493 1	4.014 7	4.507 2
x_8	0.099 9	0.509 5	1.026 8	1.502 8	1.957 4	2.551 5	3.097 1	3.493 3	4.015 4	4.506 8
x_9	0.100 0	0.509 5	1.026 8	1.502 1	1.957 4	2.550 9	3.096 9	3.493 6	4.015 2	4.507 7
\bar{x}	0.099 9	0.509 6	1.026 2	1.502 0	1.957 5	2.550 8	3.096 7	3.493 0	4.015 0	4.507 3
σ	0.000 07	0.000 32	0.000 59	0.000 55	0.000 50	0.000 41	0.000 29	0.000 64	0.000 36	0.000 46
δ	0.000 67	0.000 62	0.000 57	0.000 37	0.000 26	0.000 16	0.000 09	0.000 18	0.000 09	0.000 10

通过对比表 1 中的仪器测量值与标称值,得知系统重复性的标准偏差 $\sigma = 7 \times 10^{-5} \sim 6.7 \times 10^{-4}$, 相对误差 $\delta < 0.067\%$,而同类产品的该项性能指标基本维持在相对误差 $\delta < 0.1\%$ 左右的水平.因而可知:本实验检测仪的重复性是满足测量要求的.

2.2 仪器准确度测试

测量准确度是仪器的一个非常重要的技术指标.准确度是指在一定实验条件下多次测定的平均值与真值相符合的程度,以误差来表示.系统测量

误差的绝对值越小,准确度越高,亦即测量数据的平均值偏离真值较少.

同重复性一样,在实际应用中,仍须用标准物或标准方法来对仪器的准确性进行对比验证.表 2 为仪器准确度的测量结果.表 2 中标称值为市售标准电阻值;实际值为采用 RIGOL(北京普源精电)产的 DM3061 型六位半数字万用表实测数值;测量值为本实验秒级微动人体经穴阻抗计量检测仪的测量结果;绝对误差为测量值与实际值之差;相对误差为绝

对误差与实际值的比.

表2 仪器准确性测试结果一览表					MΩ				
标称	实际	测量	绝对误差	相对误差	标称	实际	测量	绝对误差	相对误差
0.2	0.200	0.199	-0.001	0.50%	2.6	2.594	2.607	+0.013	0.50%
0.4	0.399	0.402	+0.003	0.75%	2.8	2.801	2.808	+0.007	0.23%
0.6	0.597	0.601	+0.004	0.67%	3.0	2.999	3.018	+0.019	0.63%
0.8	0.801	0.798	-0.003	0.37%	3.2	3.197	3.208	+0.011	0.34%
1.0	0.999	1.006	+0.007	0.70%	3.4	3.403	3.413	+0.010	0.29%
1.2	1.201	1.192	-0.009	0.74%	3.6	3.604	3.596	-0.008	0.22%
1.4	1.395	1.403	+0.008	0.57%	3.8	3.807	3.822	+0.015	0.39%
1.6	1.593	1.604	+0.011	0.69%	4.0	4.010	3.998	-0.012	0.30%
1.8	1.802	1.795	-0.007	0.39%	4.2	4.205	4.191	-0.014	0.33%
2.0	2.001	1.992	-0.009	0.45%	4.4	4.398	4.387	-0.011	0.25%
2.2	2.190	2.197	+0.007	0.32%	4.6	4.595	4.608	+0.013	0.28%
2.4	2.403	2.409	+0.006	0.25%	4.8	4.793	4.815	+0.022	0.46%

从表2中可以看出,系统的相对误差水平为0.22%~0.75%.目前,同类仪器产品的水平基本维持在1%左右.可见,本系统的准确性是能够满足人体经穴阻抗检测要求的.

2.3 仪器分辨能力测试

分辨率是检测仪器系统的又一重要指标,如果系统的分辨率不够高,便无法检测出人体穴位阻抗的一些变化.在此,我们采取等电阻间隔(ΔR)插值测量法对仪器分辨率进行测定,具体测试方法:在0~8 MΩ电阻之间,分别取间隔为100、50、10、1 KΩ,500、100、50、10 Ω的一系列标称电阻对仪器的分辨能力进行检验测量.测量结果表明:系统的最高分辨能力可以达到50 Ω.此前,笔者曾用RIGOL(北京普源精电)产的DM3061型6位半数字万用表对人体多个穴位阻抗进行连续一周的跟踪观察测量,结果显示:人体穴位电阻最小变化量级为10³ Ω,因此,50 Ω的分辨率是足够的.之所以没有选择更低的10 Ω或1 Ω,主要是依据一般人体穴位阻抗10³ Ω的实际变动量级,同时出于简化系统设计,降低仪器成本考虑.

2.4 实测数据分析与思考

为实际验证仪器的综合测试性能,选择一名健康的志愿者,男性,26周岁.选取其右足上的16处穴位点与8处非穴位点,利用秒级微动人体经穴阻抗计量检测仪进行实测.图3为受试经穴及非穴部位阻抗值及其变动情况,系列1~3分别表示连续两次采样1、2的各穴阻抗值及其变动情况.图3中虚线标明穴位与非穴部位测量结果的分界处15~17.

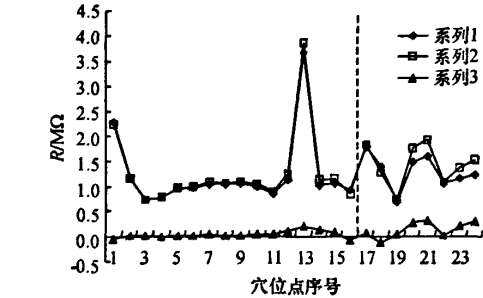


图3 受试经穴及非穴部位阻抗及其变动情况

测试前,室内温湿度应力求一致,受试者需安静休息10 min以上,然后用酒精棉球擦拭足部皮肤以脱脂或清除污垢.为保持电极与皮肤接触良好,于电极下放置浸有生理盐水的医用纱布,测试过程中受试者应保持心神安定,肌肉放松,并控制好电极压力和时间.

研究中医领域的国标或非国标穴位阻抗的变动情况都很重要,但作为检验仪器综合性能好坏的参照,无疑要选一些国标穴位.表3列出了该志愿者右足10处国标穴位的阻抗数据及其变动情况.

表3 志愿者右足国标穴位阻抗测试结果					MΩ				
穴位	样1	样2	变动	穴位	样1	样2	变动		
1.涌泉	2.287	2.228	-0.059	6.昆仑	0.973	0.988	+0.015		
2.申脉	1.161	1.167	+0.008	7.太白	1.047	1.091	+0.044		
3.大敦	0.732	0.737	+0.005	8.临泣	1.033	1.056	+0.023		
4.丘墟	0.779	0.774	-0.005	9.太溪	1.072	1.078	+0.006		
5.太冲	0.967	0.972	+0.005	10.行间	0.989	1.035	+0.046		

从上述图3和表3中可以看出,秒级微动人体经穴阻抗计量检测仪具有可靠性好、采集效率高的特点,目前,已经实现了24通道数据的同步检出.国内外有类似检测机理的产品并不多,笔者曾用美国产的Pointer-II型穴位阻抗探测仪来测量表3中的相应穴位,通过分析比较,发现:其测量结果偏差较大,而且其衡量标准也不固定,每次也仅能测试单个穴位,综合性能显然不及前者.

3 结论

人体经穴阻抗的个体波动状况有其独特的内在规律,使得人体生物阻抗研究“有章可循”,这正是在建BID-CDS系统最关心的生物信息基础.在研究人体生物阻抗的过程,本文提出了多穴点低惯性关联状态研究与微动计量分析的目标,成功研制了秒级微动人体经穴阻抗计量检测仪.该仪器测量结果准确度高,重复性相对误差小于0.067%,跟踪阻抗变动的检出时限从以往的1~2s降低到了0.24s,循环测试间隙最小可设定为0.01s,从而较好地解决了各点因检测时间差过大而引起的误差问题,并通过对人体足部个别穴位及非穴位点阻抗的微动计量捕获,证实了该仪器的实用价值.

[参考文献]

[1] 王文艇,钟季康,马骏.生物阻抗技术概述[J].上

海生物医学工程,2005,26(2):119.

- [2] 周钰,王捷生,沈雪勇,等.经穴伏安特性研究及其临床应用前景[J].上海针灸杂志,2005,24(3):30-32.
- [3] 刘豫淑,陈友梅,刘又香,等.五腧穴电阻值在十二时辰中变化的研究[J].中国针灸,1997,7:401-402.
- [4] CHIOU S Y, CHAO C K, YANG Y W. Topography of low skin resistance points (LSRP) in rats [J]. Am J Chin Med, 1998, 26(1): 19.
- [5] COLBERT A P, HAMMERSCHLAG R, AICKIN M, et al. Reliability of the Prognos electro dermal device for measurements of electrical skin resistance at acupuncture points [J]. J Altern Complement Med, 2004, 10(4): 610.
- [6] KWOK G, COHEN M, COSIC I. Mapping acupuncture points using multi channel device [J]. Australas Phys Eng Sci Med, 1998, 21(2): 68.
- [7] 吴润泽,高小榕,欧阳靖.多路独立人体阻抗测量和信号分析[J].航天医学与医学工程,2001,14(6):429-433.
- [8] 李自双,宋关斌,蔡绍哲.智能化穴位电阻检测仪的研制及实验研究[J].北京生物医学工程,1996;5(1):27.
- [9] CHO S H, CHUN S I. The basal electrical skin resistance of acupuncture points in normal subjects [J]. Yonsei Med J, 1994, 35(4): 465.

[责任编辑:刘蔚绥]