

# 伏安法在人体经络走向分析中的应用

张建国,周 玲

(南通大学 理学院,江苏 南通 226007)

**摘要:**利用低电阻点与人体经络的关系,提出一种改进的伏安法用于研究人体经络走向。其结果与传统中医提出的人体经络走向很吻合。这对中医理疗准确把握人体经络走向具有重要的参考价值。

**关键词:**伏安法;电阻;人体经络;电极;细胞

**中图分类号:**N33 **文献标识码:**A **文章编号:**1671-5322(2013)01-0021-05

传统中医理论对人体经络的循行路线、起止点以及所属脏腑都作了详细的描述,但是由于受当时社会条件和科学技术水平的限制,未能对经络的实质进行深入的探讨。20 世纪以来,国内外学者对人体经络的实质做了大量的研究<sup>[1-3]</sup>。临床观察和实验研究发现针刺一定穴位,能产生酸、麻、胀、重的感觉,称为得气,这种感觉的传导途径基本上与经络的循行路线相符合,而与现代解剖生理学中的任何系统都不相符合。在对经络敏感者的实验中发现,在 12 经的井穴,给予低频脉冲电或针刺刺激后,有明显的“刺激感”传导,循行路线与神经的走向和范围很不一致,而与古代医籍记载经络的循行路线则大体相同,且基本上能循行完经络全程<sup>[3,4]</sup>,所以有人认为经络是由特殊的结构组成<sup>[3]</sup>。1930 年日本清水芳太郎开始测定皮肤电阻。1950 年后中谷义雄提出良导络理论。这个理论认为,穴位的皮肤电阻最小,导电机能最佳,称为良导点。而穴位处即经络所经的皮肤,其导电量亦略高于穴位周围的皮肤,将导电量较大的皮肤的连续部位称为“良导络”<sup>[5,6]</sup>。但是在实验过程中他们运用的是两个点电极,而且测量的是人体的直流电阻,点电极信号干扰很难消除,两个电极与人体皮肤的接触电阻亦无法消除。虽然与人体经络的路线大致上是一致的,但随机性和波动性很大,测量结果的重复性不佳。

前苏联帕齐博雅基提出以电位变化确定皮肤活动点,然而众多研究者认为测定皮肤表面低电阻影响因素太多难以实现<sup>[3]</sup>。所以至今支持这一论点的有说服力的科学事实还不多,包括实验研究方法以及路径。为了便于了解人体经络通路,本文利用低电阻点与人体经络现象的关系,提出一种改进的伏安法用于研究人体经络走向。这种方法的优点在于简单易行,所得结果与传统中医提出的人体经络走向符合得很好。

## 1 设计原理和方法

伏安法是物理学中测量电阻的一种常用方法。为了消除电极与人体皮肤的接触电阻,我们采用双电桥的处理方法,同时根据欧姆定律微分形式和高斯定理对电极进行改进,因此可以精确地测量交流电阻。其基本原理如图 1 所示,图 2 给出与图 1 相对应的等效电路。

图 1 电路中两个矩形之间的区域为人体皮肤,内部矩形包围的区域为体内组织,黑色长方形为电极,虚线为等位面。测试电极  $P_V$  和  $P_V$  所在的等位面分别记作  $M$  和  $N$ 。图 2 中  $R_{MN}$  为人体介于等位面  $M$  和  $N$  之间的电阻,  $R_{MP}$  为人体介于等位面  $M$  和电极  $P_I$  之间的电阻,  $R_{NP}$  为人体介于等位面  $N$  和电极  $P_{II}$  之间的电阻,  $R_I$ 、 $R_{II}$ 、 $R_V$  和分别为  $P_I$ 、 $P_{II}$ 、 $P_V$  和  $P_V$  与人体接触处的电阻。由图

收稿日期:2013-02-04

基金项目:江苏省高校自然科学研究项目(11KJB140006);南通大学自然科学类科研基金前期预研项目(11ZY022, 10ZY001)。

作者简介:张建国(1957-),男,江苏南通人,工程师,主要研究方向为大学物理实验和生物物理。

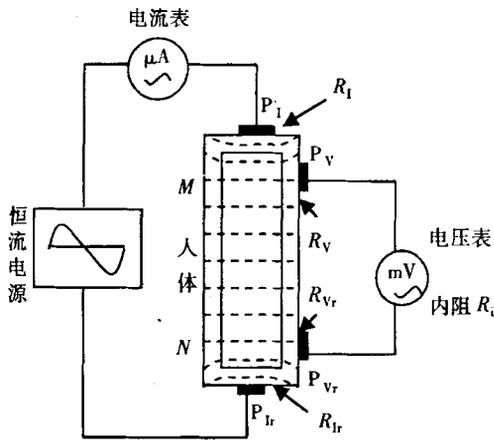


图 1 人体电阻测量的原理示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the human resistance measurement

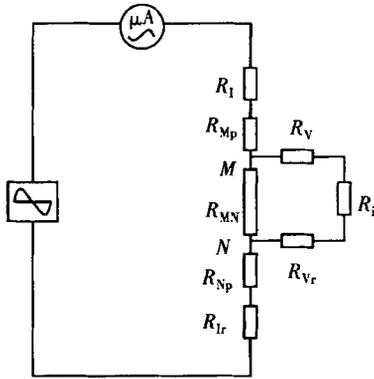


图 2 等效电路

Fig. 2 Equivalent electric circuit

2 可以看到,只要电压表内阻足够大,而且  $R_i \gg R_v + R_{vr}$ , 电压表的读数  $V$  就表示  $R_{MN}$  上的电压;只要  $R_i \gg R_{MN}$  成立,  $R_{MN}$  上的电流  $I$  就可以直接从电流表读出,从而求出电阻  $R_{MN} = V/I$ 。因此  $R_{MN}$  与  $R_1, R_{lr}, R_v$  和  $R_{vr}$  无关。

$R_{MN}$  是人体介于等位面  $M$  和  $N$  之间的那部分电阻,由皮肤电阻和体内组织电阻两部分组成,皮肤电阻和体内组织电阻并联在一起。由于皮肤电阻率很大且截面积小(薄),导致皮肤表皮的直流电阻率远比体内组织高,因此并联后的等效电阻仍等于体内组织的电阻,所以  $R_{MN}$  就是人体介于  $M$  和  $N$  等位面间的那一段体内组织的电阻。由于在探测电极下电流密度很大,所以测量值由皮肤的电学性质决定。而皮肤的电学性质在很大程度上又由表皮状况决定,所以测量值与皮肤的清洁和干湿程度等有极大的关系。但用欧姆定律微分形式和高斯定理可以解决此问题,如果电极本

身基本是高斯体,电极体内的电位对称分布,并且与距离成反比,那么电位梯度与距离成反比,并且要保证电极与皮肤接触后有良好的导电性。为此需要对电极加以改进,首先不用点电极,其中 3 个电极  $P_1, P_v$  和  $P_{vr}$  改进为薄壁金属圆管以符合高斯体。由欧姆定律微分形式可知,内部需充填 5% 盐水浸湿的脱脂棉形成均匀介质,电极  $P_{lr}$  改进为金属薄片,外包用 5% 盐水浸湿的脱脂棉薄层形成均匀介质。本设计使用的是 5 000 Hz 的正弦交流电,3 个电极  $P_1, P_v$  和  $P_{vr}$  的电阻分别小于 5 000  $\Omega$ , 电极的电阻更小,电位主要落在  $P_1, P_{vr}$  和  $P_v$  附近。电压表的内阻不小于 4 k $\Omega$ , 数字表很容易符合这一标准。 $R_{MN}$  在几十  $\Omega$ 。5 kHz 交流电虽然不是很好的稳恒电流,但类似于稳恒电流,即能作为稳恒电流看待而不至于引起很大的误差。

为了能使电极测得皮下一个小区域的电阻值,并且使测量值能反映该区域组织的电阻值的大小,将电极作如图 3 所示的安置。如果在一个表面是平面的半无限大的均匀导体上安置 4 个电极,如图 4 所示,同样由高斯定理可知,导体内的电位对  $P_1$  呈对称分布,而且与到  $P_1$  距离成反比,因此电位梯度与距离成反比,即电位主要落在  $P_1$  附近,如果导体不是很均匀,则  $P_1$  附近区域的电阻率的大小对电阻测量值影响很大,但只要距离  $d_1$  和  $d_2$  足够小,高斯定理同样适用。

人体在如下条件下可以看成是具有平表面的半无穷大均匀导体:

(1) 人体内的细胞内液和外液属于导体,细胞膜几乎绝缘。在膜表面有电荷,并以电容的形式出现。当有电流通过时,电容会随时间变化。但是由于细胞膜是封闭的,膜电容上的电场只存在于膜所占据的空间,因此对外始终是中性的。因为细胞膜很薄,只有 75  $\text{\AA}$  左右的厚度,所以从细胞尺度看完全可以忽略其存在,我们可以认为它是均匀的。

(2) 如果使用几到几十 Hz 的低频率电流,那么细胞膜的绝缘性将导致整个细胞几乎不导电。因此,从细胞的角度看人体不是均匀导体。本实验采用的是 5 000 Hz 的正弦交流电,则这时细胞膜的容抗可以忽略,而细胞内液参与导电。由于细胞内液和细胞外液的成分不同会导致电阻率不同,所以从细胞尺度来看,人体也不是均匀导体。为了能够将人体看成均匀导体,必须将图 4

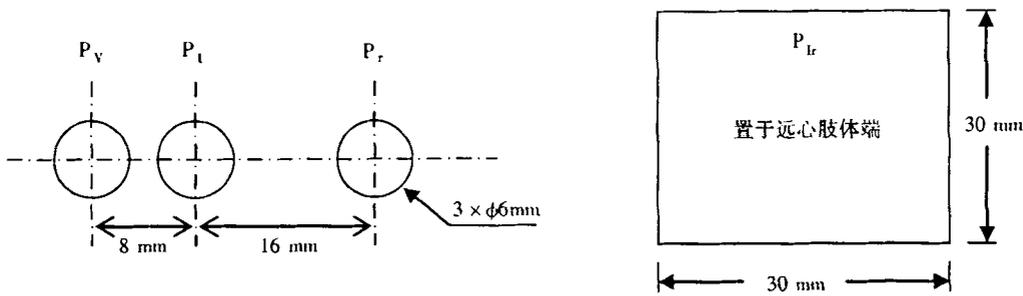


图3 电极几何尺寸及安置

Fig.3 Electrode geometry and position

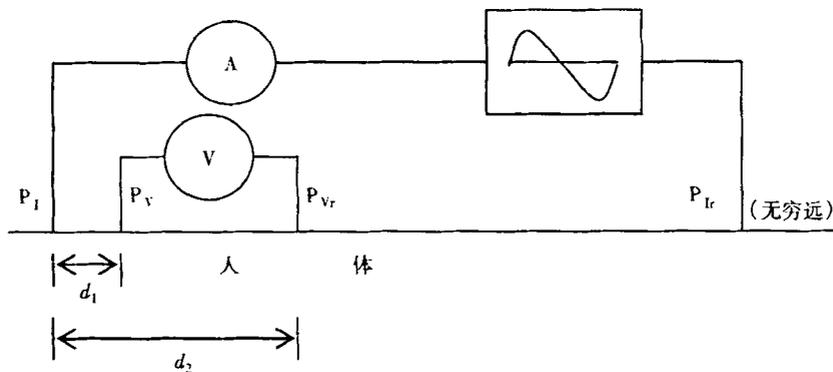


图4 电极安置电路

Fig.4 The circuit of electrode placement

中的电极间距  $d_1$  和  $d_2$  设计在远大于细胞尺度的量级(毫米数量级以上)。因为细胞尺度很小,电极间距  $d_1$  和  $d_2$  又必须足够小,所以这时半无限大的边界条件十分容易满足。换句话说, $d_1$  和  $d_2$  再小仍会远大于细胞尺度,人体看成是具有平表面的半无限大的均匀导体毫无问题。使用点电极,虽然可以减小  $d_1$  和  $d_2$  距离,但电极电阻会很大,很难满足条件: $R_i \gg R_v + R_{v_r}$ ,同时干扰信号很难消除。所以本实验采用直径为 6 mm 的电极,虽然  $d_1$  和  $d_2$  的减小受到限制,半无限边界条件得不到保证。如果将电极重新安置,电极  $P_v$  不放在  $P_i$  与  $P_{v_r}$  之间,而放在图 4 中  $P_i$  的左侧位置。它与原  $P_v$  在同一等位面上,这样  $P_v$  离  $P_{v_r}$  距离更大,如图 3 所示,因此用相同大小的电极可测得更小区域的电阻。

## 2 结果讨论

### 2.1 不同受测试者皮下电阻的测定和比较

从 1 组 26 名受测试者中随机抽测 8 人右小

腿外踝尖到腓骨小头直线距离上 1/3 处一圈的电阻数值,来比较不同个体皮下电阻分布的共同性和个体差异的程度。每个测点测量 3 次,取平均值。数值如表 1 所示。

从表中可以看出虽然测量数值均有很大差别,但每个人电阻值( $\Omega$ )都有 6 个低值点(用加粗的数字表示),尽管分布位置不完全相同,但低谷总是存在。纵观其余 18 例中的 14 例,与表 1 比较在相对位置 35% 附近和 50% 附近是一样的,或缺少在相对位置 35% 附近、50% 附近和 75% 中的 1 个或 2 个低电阻点,其余均相同。由此可以估计,80% 左右人群表现有一定形式的低电阻点。

### 2.2 受测试者两条小腿电阻值的比较

按上述方法进一步将受测试者两条小腿的电阻值进行比较,如表 2 所示。从表中可以看出,两条小腿的低电阻值虽不完全对称,但有相似之处。

### 2.3 低电阻点的纵向阻值显示

表 1 全部是沿人体表面水平方向以 1 cm 间隔测量一周电阻值,然后再以垂直方向下移 1 cm

表 1 8 名受测试者小腿外踝尖到腓骨小头直线距离上 1/3 处 1 圈的电阻值

Table 1 The resistance values of 8 subjects in a circle at the 1/3 distance in a straight line from tip of the lateral malleolus to caput fibulae

	相对位置的电阻值/ $\Omega$				
	0%	25%	50%	75%	100%
第 1 人	35 39 43 45 43 39 29 25	23 25 35 41 43 35 37 47 43 41 43 45 47 39 33	33 35 35 35 31 31 35 33 33 33 31 33	35 35 35 31 31 35 33 33 33 31 33	33 33 33 33 31 33
第 2 人	36 42 46 48 48 38 36 36	36 46 46 48 52 58 64 68 64 66 64 60 54 48	46 50 50 44 40 48 48 36 42 36 34 34 36	46 50 50 44 40 48 48 36 42 36 34 34 36	46 50 50 44 40 48 48 36 42 36 34 34 36
第 3 人	37 35 33 31 32 25 21 27 30 27 23 27 25 27 31 32 29 29 31 29 33 31 33 33 31 31 39 45 43 41 33 27 29 31 27				
第 4 人	27 29 33 35 35 37 35 33 35 43 49 47 45 49 53 51 51 51 45 44 43 37 37 37 43 42 41 41 45 41 39 38 37 27 27				
第 5 人	52 66 74 76 74 66 56 50 48 48 64 66 72 76 80 77 74 70 70 70 66 64 68 66 62 62 64 66 63 56 54 50 48 47 50				
第 6 人	24 30 36 30 36 28 22 18 18 22 23 26 28 24 26 30 31 26 26 26 24 24 24 22 21 18 25 32 34 34 31 26 24 22				
第 7 人	33 39 40 39 39 39 34 31 33 35 39 38 37 37 37 38 39 41 35 37 37 35 35 35 35 33 33 39 41 42 39 37 33 31 31				
第 8 人	50 56 56 62 68 69 70 64 60 50 50 62 62 62 62 64 70 74 76 74 75 76 77 72 58 53 64 72 74 72 68 52 50 51 50				

表 2 两条小腿电阻值的比较

Table 2 Comparison of the resistance values on two legs

	相对位置的电阻值 $\Omega$				
	0%	25%	50%	75%	100%
左小腿	33 38 41 42 40 40 38 36 34 41 45 45 40 35 34 44 42 40 36 37 35 33 35 33 32 32 35 36 34 31 33 31				
右小腿	31 35 38 39 41 40 38 33 32 34 37 42 41 38 36 37 37 35 33 33 34 36 38 36 35 34 36 35 34 32 33 31				

测量 1 周值,将阻值点展开显示的。因此可以设想,每个低阻点都是一条大致沿纵向行走的低电阻带上的一个横截面。如果在以上显示的基础上,将相近的低电阻点纵向连接,并且还原为人体实测 1 周的长度标出,则可以得到人体纵向的低电阻线。用同样的方法就可以得到人体各个部位的低电阻线。图 5 以人体下肢为例,选择小腿前肌的范围给出了一条下肢低电阻线。测点纵向位置以外踝尖为起点,每隔 2 cm 向上量度,每一曲线的各测点在同一高度的测量圈上,即它们的纵向位置相同,电阻值标于各曲线右侧。测点横向位置以外踝尖到腓骨小头连线与各测圈之交点作为各圈零点,间隔 1 cm 向前方量度,作为横坐标。纵坐标为电阻测量值,与每一曲线相联系的水平线为 40 欧姆线。虚线为各低谷的连线,就是一条低电阻线。图 6 中大腿部分的低电阻线也是按照同样方法测定的。为了表明低电阻线具有实际的功能意义,不妨将它与该区域的传统经络线进行比较。如图 6 给出了左腿实测值与传统经络的比较,结果发现客观实测连线(粗黑实线)与传统胃经(虚线)走向符合程度得很好,由此可以将此方法扩展到对人体进行更普遍检测。

### 3 结论

由于采用了双电桥的处理方法和符合人体体

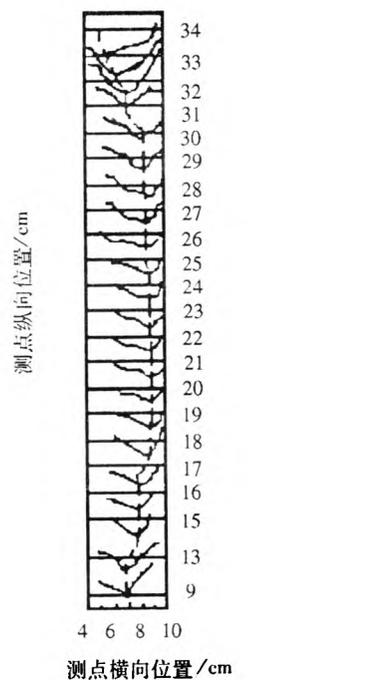


图 5 小腿前肌电阻测值

Fig. 5 The measured values of resistance on the front of the lower leg muscle

表结构的圆管柱形电极,因此可以测得稳定可靠的人体皮肤下电阻。这极大地改变了 2 点电极测量皮肤表面电阻的不确定性,为准确地研究人体经络现象提供了可靠的方法。在研究过程中采用



图6 左腿测值

Fig.6 Comparison of the resistance values and traditional meridian

绘制人体常态电阻方案,按照1 cm 距离的间隔先横向、再纵向,逐一测定皮肤下电阻。根据每1 圈横向连接线上的低谷,纵向连接低电阻线,完全排除了主观因素,它可绘出每一个受测试人的低电阻线。通过受测试人群低电阻值的共性、差异性和经络敏感性等具有生物学意义的对照,表明人体表皮下客观存在低电阻点,经过比较我们发现低电阻线与传统经络之间存在惊人的一致性。因此,可以将人体低电阻线以科学定义为低阻经络,用生物统计学观点看它的偶然性概率为25%。以上设计与实测结果表明:本实验采用了双电桥的处理方法及圆管柱形电极测定皮下一小区域的电阻,具有无刺激、与皮肤状况、电极湿润程度、压强大小和接触时间长短无关、快速简便、测量值重复性好等优点。由于制作简单成本低,此法可以用于经络研究工作,对中医理疗准确地把握人体经络走向有较高的参考价值。

#### 参考文献:

- [1] 张人骥. 经络 - 皮层内脏相关假说的初步验证[J]. 生理通讯,1999,18(8):53 - 56.
- [2] 郝雪梅. Novikoff 单个细胞间隙连接半通道电流的生理学特性[D]. 北京:北京大学,2003.
- [3] 王本显. 国外对经络学问题的研究[M]. 北京:人民卫生出版社,1984:53.
- [4] 谢益宽,李惠清,萧文华. 经络和循经感传的神经生物学性质研究[J]. 中国科学,1995,25(7):721 - 731.
- [5] 刘澄中. 临床经络现象学[M]. 大连:大连出版社,1994:401 - 403.
- [6] 侯宗濂. A study on the historic structure of acupuncture points and types of fibers conveying needling sensation[J]. Chinese Medical Journal,1979,92:223 - 232.

## The Application of Voltammetry in Analyzing the Trend of the Meridian in Human Bodies

ZHANG Jian-guo, ZHOU Ling

(School of Science, Nantong University, Nantong Jiangsu 226007, China)

**Abstract:** By using the relations between low resistance points and the meridian in human bodies, an improved voltammetry is proposed to investigate the trend of the meridian. The results agree well with those proposed by the traditional Chinese medicine, which has an important reference value for Chinese medicine physical therapy to accurately find the meridian lines.

**Keywords:** voltammetry; resistance; the trend of the Meridian in Human Bodies; electrode; cell

(责任编辑:张振华)