

文章编号:1004-7220(2011)01-0029-05

## 循经低流阻通道组织液压的初步观察

张维波, 田宇琰, 李宏  
(中国中医科学院 针灸研究所, 北京 100700)

**摘要:** 目的 测量循经低流阻通道与周围的组织液压, 观察其差异及变化情况。方法 在麻醉的小型猪上, 使用连续流阻测量仪测出低流阻点和非低流阻点, 然后采取针中芯方法测量组织液压。结果 统计结果表明, 小型猪胃经、肾经和任脉的低流阻通道平均压力均显著低于旁开的高流阻区域, 其压力差分别为 1.06、0.70、3.69 mmHg (1 mmHg = 0.133 kPa), 总压力差为 1.44 mmHg, 压力梯度为 1.44 ~ 2.88 mmHg/cm。在一些低流阻点上发现了与呼吸频率一致的压力波。结论 外周皮下组织中存在着指向经脉低流阻通道的压力差, 可能构成组织液向经脉流动的动力。

**关键词:** 经络; 组织液压; 低流阻通道; 压力梯度; 组织; 流体力学

中图分类号: R 318.01 文献标志码: A

## Preliminary observation on the interstitial fluid pressure of low hydraulic resistance channel along meridians

ZHANG Wei-bo, TIAN Yu-ying, Li Hong (*Institute of Acupuncture & Moxibustion, China Academy of Chinese Medical Science, Beijing 100700, China*)

**Abstract: Objective** To measure the interstitial fluid pressure (IFP) on low hydraulic resistance channel along meridians and observe the difference and fluctuation. **Method** Low hydraulic resistance points (LHRP) and non-LHRP were measured on anesthetized mini-pigs by a scanning hydraulic resistance measuring device. The IFP was then measured by wick-in-needle method on these two regions. **Results** The stomach meridian, kidney meridian and conceptual vessel meridian on mini-pigs were measured. The IFP were significantly lower than non-LHRP region on the above three meridians ( $P < 0.05$ ), the differences of which were 1.06, 0.70, 3.69 mmHg respectively with the total pressure difference of 1.44 mmHg and pressure gradient of 1.44 ~ 2.88 mmHg/cm (1 mmHg = 0.133 kPa). **Conclusions** Among the peripheral subcutaneous tissues, there exists a difference of IFP toward the meridian which may drive the flow of interstitial fluid toward the meridians.

**Key words:** Meridians; Interstitial fluid pressure; Low hydraulic resistance channel; Pressure gradient; Tissue; Fluid mechanics

经络理论是中医理论的核心思想之一。经络理论认为, 经络是气血运行的通道, 除了运行血的血脉外, 还有运行气的气道, 而对于气的实质有着很多的猜测。1997年, 张维波<sup>[1]</sup>提出气的主要实质为组织液, 经络是组织液运行通道的观点。组织液的流动属于多孔介质流动, 服从达西定律与连续性方程, 生

物组织中的多孔介质就是间质 (interstitium) 中在各种纤维和凝胶基质中形成的微孔, 组织液可在这些微孔中穿行。张维波提出了组织液在经络中流动的低流阻假设, 即经脉 (络) 是组织中流阻 (液体流动的阻力, hydraulic resistance<sup>[2]</sup>) 较低的连续多孔介质 (孔隙度高、渗透性高), 根据达西定律和连续性方

收稿日期: 2010-11-09; 修回日期: 2010-11-25

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (39470873), 国家重点基础研究发展计划 (973) 项目 (2010CB530507)。

通讯作者: 张维波, 研究员, 博士研究生导师, Tel: (010)64014411-2767; E-mail: prof@jingluo.com.cn。

程,将存在组织液的向经脉流动和沿经脉流动(见图1)。在随后的研究中,张维波等<sup>[3-4]</sup>使用流体力学方法验证了经脉的低流阻假设,结合组织液压波传播的测量<sup>[5]</sup>和同位素示踪技术,发现了循经低流阻通道(low hydraulic resistance channel along meridians, LHRCM)<sup>[6]</sup>。

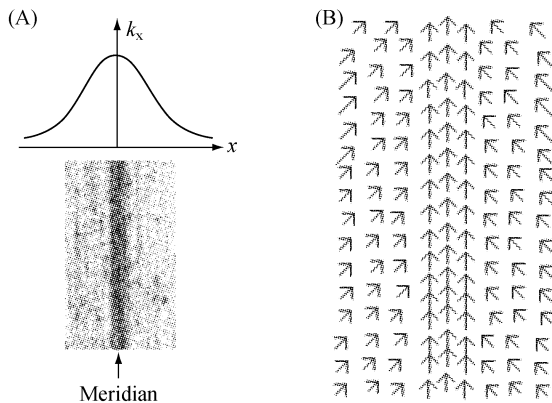


图1 沿经脉孔隙度分布示意图(A)及组织液向经脉和沿经脉的流场示意图(B)

Fig.1 Schematic map of the porous distribution around a meridian(A) and schematic map of flow pattern of interstitial fluid towards and along a meridian(B)

使用凝胶模型法模拟组织液通道,然后对其生物物理学特性进行研究的结果表明,LHRCM具有在人体经脉线上发现的低电阻和高导声特性<sup>[7]</sup>,说明LHRCM具备了人体经络的特征,但对于LHRCM中组织液流动的动力学条件尚需进一步的研究。一般来讲,液体总是从压力较高的地方流向较低的地方。因此,如果存在向经脉的组织液流动,则经脉中的组织液压应该比经脉外低。为了验证这一推测,本文进行了下面的实验。

## 1 材料与方法

实验动物来自北京农业大学实验动物中心的小型猪,体重为10~12 kg。使用2%的戊巴比妥钠腹腔注射(30 mg/kg),麻醉后以侧卧位或仰卧位固定在实验台上。先使用57-6F30经络定位仪(东华仪器厂,中国)测出猪的胃经、肾经和任脉(每次实验测试一条经)并标记,再使用如图2所示的单传感器连续流阻测定系统进行流阻和组织液压的测定。

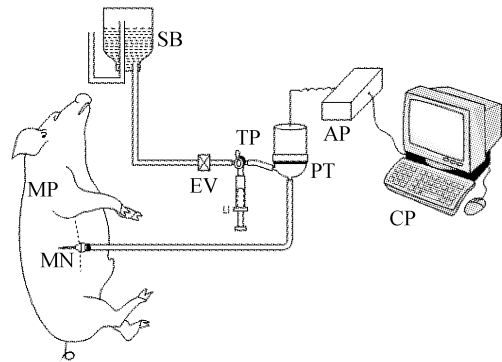


图2 单压力传感器连续流阻测量系统示意图(SB为盐水瓶, EV为电磁阀, TP为三通阀, PT为压力传感器, AP为放大器, CP为计算机, MP为小型猪, MN为测量针头)

Fig.2 The scanning device with single pressure transducer to measure the hydraulic resistance (SB is saline bottle, EV is electric magnetic valve, TP is triple valve, PT is pressure transducer, AP is amplifier, CP is computer, MP is mini-pig and MN is measuring needle)

### 1.1 测试大气压力

将测试程序调到压力测量,把针头置于与被测试部位的皮肤表面上,打开三通和电磁阀,从针头流出一滴生理盐水到皮肤表面,使针头的测量孔位于生理盐水中,然后关闭三通和电磁阀,采集一段时间的压力数值。

### 1.2 制造流阻校正波

将测试程序调到流阻测量,打开三通和电磁阀,吊瓶中的盐水流经压力传感器后从测试针头的侧孔流出,用手捏住侧孔一段时间后(通常2~3 s)再放开,在计算机屏幕上可形成一个方波,他代表针头处的流阻为无穷大和零时压力传感器上的压力数值,然后暂停流阻测量程序。

### 1.3 寻找低流阻点

将针头沿与低电阻点连线垂直的方向距其1~2 cm的地方插入猪的皮下,然后缓慢均匀地向前推进,同时运行流阻程序,观察计算机屏幕上压力传感器曲线的变化,当针头前进到一定的位置时,压力会出现一个突然下降(流阻降低),这时停止推进针头,如果降低的曲线继续保持低的水平,则确定此点为一低流阻点(假低流阻点的压力此时会升高)。

### 1.4 测量低流阻点的组织液压

关闭测量系统的电磁阀和三通,将程序调回到压力测量,观察压力曲线,等待压力恢复到稳定状

态,由程序自动判断压力曲线基本变成水平时开始采集一段时间(一屏 76.8 s)的压力数值,再进行平均。

### 1.5 寻找高流阻点

将程序调到流阻测量,打开三通和电磁阀,将针头推进到一距原低流阻点 0.5 ~ 1 cm 的高流阻点(曲线接近无穷大流阻水平),停止推进,关闭三通和电磁阀。

### 1.6 测量高流阻点的组织液压

方法同 1.4。

## 2 结果

共对 4 只小型猪的 50 个测量水平即一次连续

扫描测量中的低流阻点和高流阻点的压力进行了测定,其中任脉测量了 10 个水平,胃经和肾经各测量了 20 个水平,将大气压力、低流阻点处的压力和非低流阻点处的压力进行平均相减,以大气压力为 0,计算出各经脉的平均压力和差值见表 1。

由表 1 可知,组织液压一般在大气压上下,其中肾经低于大气压,为负压,胃经和任脉略高于大气压。3 条经在低流阻点处的组织液压均显著低于旁开的高流阻点,其中任脉低流阻点与高流阻点之间的压力差最大。以低流阻点压力低于非低流阻点的水平数百分比统计,胃经和肾经分别有 14 个水平,各占 70%,任脉有 9 个水平,占 90%。

表 1 低流阻点与高流阻点的组织液压及差值 (Means ± SD, mmHg, 1 mmHg = 0.133 kPa)

Tab.1 Interstitial fluid pressure on LHRP and non-LHRP and the pressure differences

	胃经	肾经	任脉	总平均
低流阻点	0.41 ± 1.83	-0.18 ± 1.39	0.57 ± 1.97	0.20 ± 1.88
高流阻点	1.47 ± 1.61	0.51 ± 1.93	4.26 ± 3.84	1.64 ± 2.66
N	20	20	10	50
差值	-1.06 ± 2.74 *	-0.70 ± 1.36 *	-3.69 ± 4.62 *	-1.44 ± 3.03 **

注: \* P < 0.05, \*\* P < 0.005

除了绝对值存在差异外,还观察到两个明显的现象,一是低流阻点处压力在关闭三通和电磁阀后趋向于稳定的时间较短,其起始时刻(刚刚关闭三通)时的压力也较低,而高流阻点压力趋向于稳定的时间较长,起始时刻的压力也较高。压力恢复到基本水平所需的时间,低流阻点和高流阻点分别为 (9.83 ± 6.96) s 和 (12.66 ± 9.41) s,两者有显著性差异 (P < 0.05)。二是在低流阻点处有时可以测量到压力的波动,其频率与动物呼吸的频率相同(见图 3),而同水平的高流阻点处却没有发现。

## 3 讨论

组织液压的测量是国际公认的难题。早期美国的 AC Guyton 使用微胶囊法测出的组织液压过低,平均压力为 -6.4 mmHg<sup>[8]</sup> (1 mmHg = 0.133 kPa)。在随后测量中,又有棉芯法(wick)、针中芯法(wick in needle, WIN)、微刺法(micropuncture)等,所测到的组织液压越来越高。本实验采用挪威 Fadnes 等<sup>[9]</sup>发明的针中芯法测量组织液压,它具有空间分

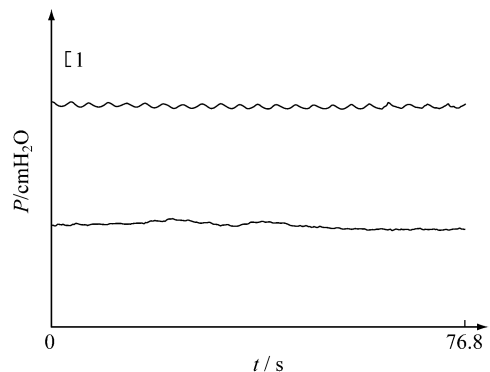


图 3 在低流阻点出现的与呼吸频率一致的组织液压力波 (上曲线为低流阻点处;下曲线为低流阻点旁开 0.5 cm)

Fig.3 The wave of interstitial fluid pressure which have same frequency with respiration (The upper curve is on the LHRP and the low curve is 0.5 cm outside the LHRP)

辨率较高、测量迅速等特点。本实验使用测量流阻的针头同时测压力,将低流阻点定位与压力测量结合起来,是一个方法学创新。

对针头部位的形态学标记结果表明,本实验所

测之低流阻点均位于皮下疏松结缔组织(浅筋膜),即皮下脂肪组织以下、肌肉组织以上的地方,距皮肤表面约2~4 mm<sup>[4]</sup>。该区域的组织疏松,神经末梢较少,易于针头的移动,对机体的刺激相对较弱。曾在人身上对应的部位进行同样的测量,基本没有疼痛及针刺的酸、麻、胀等感觉。一般情况下,在垂直于经脉线的2.6 cm扫描测量范围内,只有一个较窄的区域出现低流阻,平均宽度只有几毫米,类似于一个点,其他的区域均为流阻基本相等并接近于无穷大的高流阻区(参见文献[6]中的流阻曲线图)。因此,选择高流阻区域中距低流阻点0.5~1.0 cm的任意一个高流阻部位为代表,测量其组织液压。

在刚刚测量完流阻时,有少量的液体流入组织,造成组织液压的增高,需要等待一段时间,使增多的液体扩散开来,这个时间在不同的测量点是不同的。使压力完全恢复初始状态,通常需要等待很长的时间,而且容易引起针孔的堵塞,故选择了等待压力下降的斜率达到一个较小的数值后,采集此刻的压力值。由于使用计算机按同样的标准进行压力的采集,所获得的相对压力差数值具有可比性,但绝对的压力数值比用类似方法在大白鼠、猫和狗上测出的0~-2 mmHg的组织液压<sup>[10]</sup>稍高一些,可能是液体没有被完全吸收的缘故。让一小部分液体流入组织的方法在最早的皮下针方法中就曾使用过<sup>[11]</sup>,以保持针头的通畅和与组织液形成良好的耦合,但不可避免地引起一定程度的压力升高。因此,本文主要考虑压力的差值。

实验结果表明,低流阻通道中的压力比周围的高流阻区域低,证实存在组织液向经脉低流阻通道流动的流体力学条件。其平均压力差达到1.44 mmHg,压力梯度为1.44~2.88 mmHg/cm。很少有人研究间质中的压力梯度,Hogan等<sup>[12]</sup>在蝙蝠的翅膀上发现初级淋巴管与116~224 μm远的相邻区域之间有0.8 cmH<sub>2</sub>O(~0.62 mmHg)的压力差,约合27.5~53.0 mmHg/cm的压力梯度。有证据表明,肺中的肺小泡间质与位于肺泡间隙或血管前空间的初级淋巴管之间存在稳定的压力梯度。Staub等<sup>[13]</sup>认为,间接地估计,压力差会在0~7 mmHg变化,这些数据与本实验的结果比较接近。

本实验还发现,任脉低流阻通道的压力差最大,说明它具有最强的汇聚性流动,这与中医经络理论

所说的任脉为诸阴经之汇的观点相吻合,与笔者在流阻实验中发现的任脉流阻最低的结果<sup>[1]</sup>亦相对应。低流阻通道中的起始压力较低和压力恢复时间较短的原因可能是通道对测量流阻时流入组织的测量液体吸收较快的结果。由于高流阻点处的组织间隙较小,连通性较差,接受同样多的液体时,压力升高得更多,对液体的吸收也较慢,这个结果从另一个角度说明了循经低流阻通道具有液体流通的特性。

组织液压与组织液的流动密切相关,是组织液流动的动力学条件,液体总是从压力较高的地方流向较低的地方。因此,如果存在向经脉的组织液流动,则经脉中的组织液压应该比脉外低。从流体力学的常识考虑,组织液压与组织的流阻之间应该没有直接的关系,有时低流阻的地方也可能出现高的压力,比如毛细血管动脉端集中地区域。但如果存在向经脉(低流阻)的流动,经脉处的压力应该较低,压力差与流动方向直接相关。

对于在低流阻点处测出的类似呼吸波频率的组织液压波,可以排除是身体起伏造成的,因为同水平的高流阻点没有这种波动,说明他来自身体内部。笔者认为有可能是肺间质在呼吸时产生的周期性挤压在体内的经脉中形成的一种行进的组织液压波,这种波应从肺脏开始向肺经的离心方向传播,然后通过肺经与大肠经的络脉进入大肠经,继续在诸经脉中依次运行,形成《灵枢·营气》中所描述的营气循环流注;而组织液本身的流动则是《灵枢·本输》中所描述的向心性流动,由此可解决两种流注方向不一致的矛盾。

肺间质的运动是往返性的,假设肺经与肺脏相通,当肺扩张产生正压时,组织液从肺脏进入肺经,形成沿肺经离心方向行进的组织液压波。由于这时的组织液压超过毛细淋巴管内的压力,组织液同时被挤入淋巴管中,增强了组织液代谢。当肺脏收缩时,肺经中的组织液压变低,但由于淋巴管有单向阀,组织液不会从淋巴管中倒流出来。这时,其他地方如毛细血管中的液体会更多地补充到肺经和肺脏中,形成类似于气筒打气的单向液体推进效应。肺脏有全身最大的间质空间和最大的舒缩幅度,故组织液压波主要从肺脏开始,沿肺经向十二经脉慢慢地推进,类似于由潮汐力引起的向海岸方向传播的一股股潮波。由此可理解为什么营气的流注是从肺

开始的循环流注,并与肺的呼吸密切相关,即:

“故人一呼,脉再动,气行三寸,一吸,脉亦再动,气行三寸,呼吸定息,气行六寸”《灵枢·五十营》。这里“脉再动”的意思是脉搏跳动两次,是对呼吸速度的一种厘定。本文用图4来描述这种超长距离的循环运动,可称为“超循环”,意指他超出了经典的血液循环并比该循环的距离更长。组织液压波峰所到之处,气血会更加活跃,代谢增加。Eory等<sup>[14]</sup>曾测出皮肤二氧化碳呼出量沿肺经的离心推进,可能反映了这一波的行进效应。

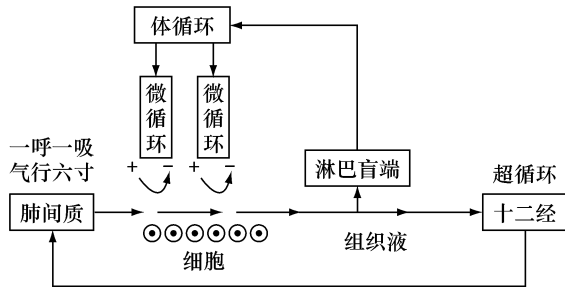


图4 由肺呼吸引起的组织液压波沿十二经的超循环运动示意图  
Fig.4 Super circulation of interstitial fluid pressure wave along twelve meridians produced by lung respiration

大动脉的搏动也能产生与肺脏类似的挤压作用,但幅度要小得多,他可推动血管周围间隙中的组织液运动。理论上讲,身体中任何周期性的器官运动都有可能对组织液的运动产生影响,如心脏跳动对心包腔内的心包液的挤压,肠胃蠕动对腹腔液的挤压等。按照西方经典生物学的观点,组织器官之间是互相隔离的,这种挤压产生的组织液压波是很难传播的,但中医经络理论与此正相反。经络理论认为,人体各部分之间是密切联系的,相互之间有影响的,其联系的途径就是经络,其主体结构为低流阻的组织液通道。从解剖学的角度看,胸腔与腹腔之间虽然有横隔膜阻挡,但有孔隙的存在,各种管道如食管、血管、神经等都从这些孔中穿过,这些管道的外周间隙可构成器官之间的低流阻通道。脑组织也是如此,坚硬的颅骨上有一些骨孔,其中有神经血管穿过,同时也形成了穿越颅骨的低流阻通道。有趣的是,头部的不少穴位都位于这些孔的部位,如四白穴位于颧骨上的眶下孔,其中有眶下神经穿越。笔者猜测,针刺可调节这些孔的开合,加强组织液的穿越,从而沟通表里阴阳,使组织中的各种物质趋向平

衡。西方解剖学研究死的生命,无法了解到这些孔的作用,因为当人死后,这些孔都闭上了,其功能很难表现出来,这可能是西方人发现不了经络,也难以理解针灸效果的原因之一。由脏器体积变化驱动组织液的运动,其过程十分复杂,有待生物流体力学专家的深入研究。

#### 参考文献:

- [1] 张维波. 经络是什么[M]. 北京:中国科学技术出版社, 1997.
- [2] Levick JR. Flow through interstitium and other fibrous matrices [J]. Quarterly Journal of Experimental Physiology, 1987, 72(1):409-438.
- [3] 张维波, 庄逢源, 李宏, 等. 一种改进的 Guyton 流导测定法及对动物经脉流导的测量[J]. 北京生物医学工程[J], 1997, 16(4): 199-204.
- [4] 张维波, 田宇瑛, 李宏. 一种连续的流阻测定法及皮下低流阻点的研究[J]. 生物物理学报, 1998, 14(2): 373-379.
- [5] 张维波, 景向红, 李翠红. 组织液压波在大白鼠胃经皮下组织传送规律的研究[J]. 北京生物医学工程, 1995, 14(1): 40-43.
- [6] Zhang WB, Tian YY, Li H, et al. A discovery of low hydraulic resistance channel along meridians [J]. J Acup Merid Res, 2008, 1(1):20-28.
- [7] 张维波, 庄逢源, 田宇瑛, 等. 使用凝胶模型法对经络生物物理特性的模拟研究[J]. 生物医学工程学杂志, 2001, 18(3): 357-361.
- [8] Guyton AC. A concept of negative interstitial pressure based on pressures in implanted perforated capsules [J]. Circ Res, 1963, 12: 399-414.
- [9] Fadnes HO, Reed RK, Aukland K. Interstitial fluid pressure in rats measured with a modified wick technique [J]. Microvasc Res, 1977, 14(1): 27-36.
- [10] Aukland K. Interstitial-lymphatic mechanisms in the control of extracellular fluid volume [J]. Physiol Rev, 1993, 73(1): 1-78.
- [11] Guyton AC, Granger HJ, Taylor AE. Interstitial fluid pressure [J]. Physiol Rev, 1971, 51:527-563.
- [12] Hogan RD. Lymph formation in the bat wing. In: Progress in microcirculation research. first Australasian symposium on microcirculation sidney 1980, edited by Garlick D [M]. Kensington: Univ. of New South Wales, 1981: 261-282.
- [13] Staub NC. Pathophysiology of pulmonary edema. In: Edema, edited by Staub NC and Taylor AE [M]. New York: Raven, 1984:719-746.
- [14] Eory A, Tamar K. Skin respiration changes along the LP-SC line [J]. Agopuntura, 1986, 4(1): 15-18.