

文章编号:1004-7220(2020)02-0228-07

一种针刺补泻法对小型猪皮下组织液压的影响

李宏彦¹, 贾术永¹, 王广军¹, 宋晓晶¹, 叶丰瑶², 顾鑫², 熊枫¹, 王燕平², 张维波¹

(1.中国中医科学院 针灸研究所,北京 100700; 2.北京中医药大学 针灸推拿学院,北京 100029)

摘要:目的 研究《灵枢》卷首《九针十二原》针刺补泻法对小型猪皮下组织液压(interstitial fluid pressure, IFP)的作用,探讨其调节组织液的生物力学机制。**方法** 在9只健康实验用小型猪腹部随机取点行补法(提/按法)和泻法(摇大针孔),观察正常状态(normal state, NS)、抽取组织液的低组织液量(low volume, LV)状态和注入生理盐水的高组织液量(high volume, HV)状态下针刺前后IFP。**结果** NS下提/按法可极显著升高IFP;泻法可极显著降低IFP,针后5 min泻法组IFP降低较快。LV状态提/按法均能升高IFP,针后10 min二者IFP下降较慢。HV状态下泻法可极显著降低IFP,针后5 min与对照组变化趋势不同。**结论** 该补泻法可升高或降低IFP,证明其对IFP有相反方向的调节作用。研究结果为针灸临床使用补泻手法提供新的科学依据。

关键词:针刺;补泻手法;组织液;组织液压

中图分类号: R 318.01 文献标志码: A

DOI: 10.16156/j.1004-7220.2020.02.016

Effects of a Reinforcing and Reducing Method of Acupuncture on Interstitial Fluid Pressure in Subcutaneous Tissue of Minipig

LI Hongyan¹, JIA Shuyong¹, WANG Guangjun¹, SONG Xiaojing¹, YE Fengyao², GU Xin², XIONG Feng¹, WANG Yanping², ZHANG Weibo¹

(1. Institute of Acu-Moxibustion, China Academy of Chinese Medical Sciences, Beijing 100700, China;

2. School of Acupuncture-Moxibustion and Tuina, Beijing University of Chinese Medicine, Beijing 100029, China)

Abstract: **Objective** To study the effect of the reinforcing and reducing method of acupuncture reported in first Chapter the *Nine Needles and Twelve Yuan of the Miraculous Pivot* on interstitial fluid pressure (IFP) in subcutaneous tissue of minipig, and to investigate its biomechanical mechanism of regulating the interstitial fluid. **Methods** Nine healthy minipigs were randomly selected for reinforcing method (pull or press) and reducing method (wave a big pinhole), and tested on soft skin tissues of the abdomen. The IFP in the normal state (NS), the low volume (LV) state (by extracting interstitial fluid) and the high volume (HV) state (by injecting saline solution) was measured before and after acupuncture. **Results** In the normal state, pulling and pressing the needle could obviously increase IFP, while reducing method could significantly decrease IFP, leading to a rapid decrease in 5 min after acupuncture. In the LV state, pulling and pressing the needle could increase IFP. However, in 10 min after acupuncture, the descend rates of IFP were relatively slower. In the HV state, the reducing method could significantly decrease IFP, and the changing trend in 5 min after acupuncture was different from that of the control group. **Conclusions** The reinforcing and reducing method of acupuncture could increase or decrease IFP, which proved that the acupuncture method could regulate IFP in the opposite direction. The

收稿日期:2019-03-25; 修回日期:2019-05-13

基金项目:国家自然科学基金项目(81173206)

通信作者:张维波,教授,博士生导师,E-mail:1507307638@qq.com

research findings provide a new scientific basis for using reinforcing and reducing method of acupuncture in clinic.

Key words: acupuncture; reinforcing and reducing method of acupuncture; interstitial fluid; interstitial fluid pressure (IFP)

《灵枢》又称“针经”,是对汉代以前经络理论和针刺技术的全面总结。文中多处提及针刺的补泻手法,其卷首《九针十二原》(以下简称《九针篇》)提出了“虚则实之,满则泄之”的针刺治疗原则。随后详述了补泻手法的操作规范,即“补曰随之……”与“泻曰必持内之……”。因为该补泻手法记载于《灵枢》篇首,故本文简称为《灵枢》第一针刺补泻法。因描述该法的词句简洁,特别是补法,语意晦涩,较难理解,渐渐被后世弃用,仅保留其出针急按针孔的操作。然而该法的操作记述详实,甚至有“如蚊虻止”的比喻,这是否真如后人理解,将冗杂部分略去,仅取其“令左属右”和“排阳得针”的开阖补泻之说?当然不是。那么此补泻的原意究竟是什么?其调气的差异如何体现?

1 《灵枢》第一针刺补泻法的语义解析

文中关于泻法的描述如下:“泻曰必持内之,放而出之,排阳得针,邪气得泄。”强调医者应通过针刺泻法将邪气放出,河北医学院校释的《灵枢经》将“放而出之”释为退针时摇大针孔^[1],与“以排邪气”共同构成开阖补泻中开法的原型。然后排出邪气出针,使“邪气得泄”。文中的补法描述如下:“补曰随之,随之意,若妄之,若行若按,如蚊虻止,如留如还,去如弦绝,令左属右,其气故止,外门已闭,中气乃实。”其中,“妄”字,“乱”也(《说文解字》)^[2],是指漫不经心,随意而为,其本意在于所持之针不与机体组织相抵抗,既要向深刺入又非真刺入,似是以针尖轻抵机体组织,好像蚊喙刺入皮肤,并保留力度停留其中,保持停而未深入的状态,虽有出针的趋势但未出针,恰如悬而未出的犹豫状态,随后快速出针,果断得犹如箭离弓弦;同时,用左手急按针孔,将气关闭于针孔内,以达到增加气的补虚效果。《灵枢》首篇的补泻手法描述得如此具体,足以说明其重要性。但正如经言“小针之要,易陈而难入”,针刺的妙法易于描述却难以深入,绝非仅仅摇大针孔和急按针孔之“易入”的开阖补泻。

《九针篇》中“欲以微针通其经脉,调其血气”,

明确指出针刺的对象是经脉和其中的血气。目前,有学者认为神经、体液和能量传输系统等构成了现代经络实质研究的框架^[3]。其中,属于体液论的组织液通道学说指出,人体存在循经低流阻组织液通道,是经脉的核心结构^[4-5],该通道位于人体组织间隙中,即《内经》所说的“分肉之间”^[6],经络中的气与间隙的组织间液(组织液)高度相关^[7]。针刺调节经脉中的气可能与经脉中的组织液有密切关系,那么针刺的补泻手法对组织液又有何影响?

组织液压(interstitial fluid pressure, IFP)是组织液量变化的生理学指标,可进行实时测量,组织液增多时 IFP 升高,反之则减小。研究表明,经脉与经外区域之间存在 1.44 ~ 2.88 mmHg/cm (1 mmHg = 0.133 kPa) 压力梯度,为组织液的向经脉流动提供了动力学条件^[8]。本文以“放而出之”(即摇大针孔出针作)为泻法,以补法中“若行若按”(即刺入皮下使针尖抵于皮下组织)为按法,“如留如还”(即欲出而未出针)为提法,通过测量皮下 IFP,观察不同手法对组织液产生的影响,从生物力学角度探讨《灵枢》第一针刺补泻法调节组织液的机制。

2 材料

2.1 实验动物及饲养

选用实验用小型猪(北京市琉璃河科兴实验动物养殖中心)9只,健康雌性,体质量(9±2)kg,毛色黑,实验动物使用许可证号 SCXK(京)2017-0003。每日提供浓缩饲料(希望饲料有限公司):8:00 给料 150 g,20:00 给料 100 g,饮水不限量,单笼饲养。动物房温度(20±2)℃,相对湿度(50±10)%。

2.2 主要仪器

生物流阻/组织液压测定仪(中国中医科学院针灸研究所);经络罐通仪(JLG-2,北京海奥思凯科技发展有限公司);兰格注射泵(TJ-4 A,兰格恒流泵有限公司);戊巴比妥钠(德国分装,含量>99%),速眠新II(吉林省华牧动物保健品有限公司),毫针(0.25 mm×0.4 mm,北京中研太和医疗器械有限公司)。

3 方法

使用浓度为3%戊巴比妥钠溶液(0.5 mL/kg)和速眠新Ⅱ(0.1 mL/kg)分别肌注小型猪两侧臀部进行麻醉,每次实验结束2 d后进行下一次实验。备皮后在小型猪腹部柔软区域随机取点进行测试(见图1),已测试的点不再参与其他任何手法测试,每次实验左右各选1点,每只单侧取6~7点。局部消毒后,标定测试点,将连续流阻测定仪的单侧孔测试针头刺入标定点皮下后,注入少量生理盐水,静置5 min,观察IFP压力曲线是否稳定;若不稳定则继续等待,直至压力稳定(一般为2 min)。在针灸针体距针尖6 mm处标记宽约1 mm的记号,侧孔旁开5 mm处刺入针灸针,深约5 mm,使皮肤与针体记号相接触。



图1 小型猪腹部测试区域

Fig.1 Test area on the abdomen of minipig

3.1 正常状态下补法操作

提/按毫针,保持针体记号与皮肤相接,勿使毫针与皮肤之间有相对位移,记录针刺过程中IFP,记为提法/按法(见图2)。随机选取20点,每点完成2次,每次间隔2 min,分别为提法组(补提组)和按法组(补按组)。正常状态(normal state, NS)补法对照组(补对组)保持毫针刺入状态,不做任何手法,余法同补提组。

3.2 正常状态下泻法操作

持针勿使毫针与皮肤之间有相对位移,顺时针缓慢摇大针孔1 min,出针后测量出针即刻和针后5 min的IFP,记为泻法组。随机选取10点进行测试。泻法对照组(泻对组)保持毫针刺入状态,1 min后拔针,余法同泻法组。

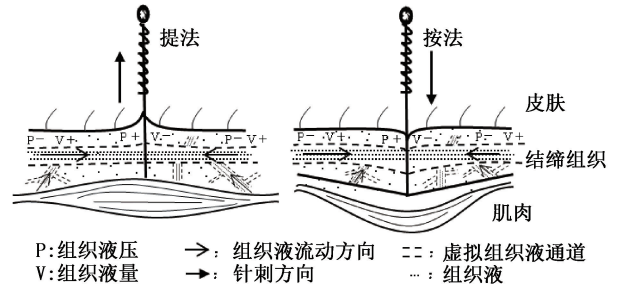


图2 皮下间隙行《灵枢》第一补泻法示意图

Fig.2 The first reinforcing and reducing method in the *Miraculous Pivot* manipulated in subcutaneous tissue

3.3 低组织液量状态下补法操作

将经络罐通仪并联2个双侧孔抽气针头(侧孔间距1 cm),平行刺入IFP测试针头与针灸针两侧(见图3)。打开仪器,压力恒定在50 kPa,抽取组织液20 min,随后静待20 min,每5 min测试1次。之后行补法操作,保持提/按法持续5 min(见图2),停止手法后测量10 min内IFP,余法同补提(按)组。提法和按法分别记为低组织液量(low volume, LV)提法组(低提组)和低组织液量按法组(低按组)。各组随机选取腹部10点进行测试。低组织液量对照组(低对组)保持毫针刺入状态,不做任何手法,余法同低提组。

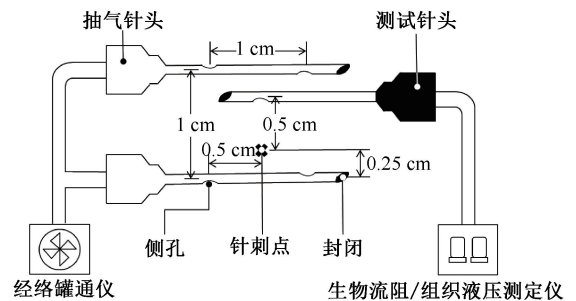


图3 抽取组织液方法示意图

Fig.3 Schematic diagram of extraction method of interstitial fluid

3.4 高组织液量状态下泻法操作

将兰格注射泵连接IFP测试针头,缓慢注入0.9%氯化钠溶液2 mL(速度:5 μ L/min,内径1 mm)。随后静待20 min,每5 min测试1次。持针行摇大针孔手法,法同泻法组,出针后测量出针即刻和针后5 min的IFP,记为高组织液量(high volume, HV)泻法组(高泻组)。各组随机选取腹

部 10 点进行测试。高组织液量对照组(高对组)保持毫针刺入状态,不做任何手法,余法同高泻组。

3.5 统计学方法

所有数值用均值±标准差表示,用 SPSS 23.0 统计学软件进行分析,计量资料单位均已换算成 mmHg,数据采用配对 *t* 检验或非参数检验进行分析,以 $P < 0.05$ 表示差异有统计学意义。因手法操作结束后,IFP 处于动态逐步升高或降低中,故对针刺后的 IFP 连续数据进行回归分析,用独立样本 *t* 检验比较回归系数(斜率)。

4 结果

4.1 NS 补法和泻法后局部 IFP 变化

表 1 显示,NS 补提组和补按组在操作过程中局部 IFP 分别上升 1.06 mmHg(1 mmHg=0.133 kPa)

表 1 补法和泻法对正常状态下 IFP 的影响

Tab.1 Effect of IFP by reinforcing and reducing acupuncture method under normal state

分组	N	针前 IFP/mmHg	针后 IFP/mmHg	与对照组比较 P 值	与补提组比较 P 值	针后回归系数, B
补对组	20	0.06±0.74	-0.00±0.74	—	—	—
补提组	20	-0.07±1.76	1.00±2.26**	0.000	—	—
补按组	20	-0.11±2.43	0.51±2.82**	0.001	0.018 [△]	—
泻对组	10	2.73±1.12	2.71±1.11	—	—	-0.04
泻法组	10	3.02±1.08	1.41±2.20 ^{##}	0.004	—	-0.18

注:与补对组比较,** $P < 0.01$;与泻对组比较,^{##} $P < 0.01$;与补提组比较,[△] $P < 0.05$;1 mmHg=0.133 kPa

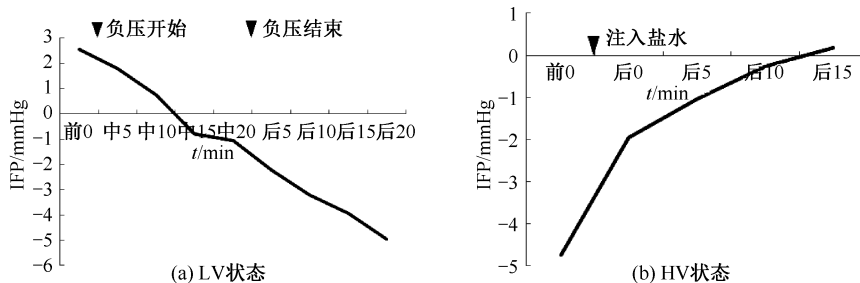


图 4 不同液量状态下抽取组织液/注入生理盐水对 IFP 的影响

Fig.4 Effect of extracting interstitial fluid or injection saline under different volumes of interstitial fluid on IFP (a) In the LV state, (b) In the HV state

表 2 显示,LV 状态行补法后,低提组和低按组局部 IFP 均有所升高,低提组手法后即刻 IFP 升高 4.14 mmHg,低按组手法后即刻 IFP 升高 0.76 mmHg,但二者与低对组比较均无统计学差异 ($P > 0.05$)。出针后 5~10 min,低提组和低按组 IFP 的回归系数与低对组比较均有统计学差异,说明该

和 0.62 mmHg,与补对组比较差异有统计学意义 ($P < 0.01$)。泻法组在行摇大针孔后局部 IFP 下降 1.61 mmHg,与泻对组比较差异有统计学意义 ($P < 0.01$)。NS 泻法能降低局部 IFP,与泻对组比较幅度差异较大。对手法后 1~5 min 数据进行回归分析,发现泻法组回归系数 ($B_{\text{泻法}} = -0.18$) 的绝对值大于泻对组 ($B_{\text{泻对}} = -0.04$),表明随着时间的推移,泻法组 IFP 下降速率大于泻对组,摇大针孔的泻法能够加速局部 IFP 的降低。

4.2 LV 和 HV 状态分别行补泻手法后局部 IFP 变化

在抽取和停抽期间,IFP 呈持续下降状态,说明所抽区域的组织液量在持续减少。局部注入 0.9% 氯化钠溶液后,IFP 迅速升高,在注后 15 min 内,IFP 增加速率有所减缓,直至平稳,但未回到注水前状态,说明局部有液体聚积(见图 4)。

补法能够减缓局部 IFP 的下降速率。HV 状态下,与高对组相比,泻法能够降低局部 IFP,差异具有统计学意义 ($P < 0.05$)。针刺后 5 min 内局部 IFP 的变化回归系数结果显示,高对组 IFP 继续下降 ($B_{\text{高对}} = -0.08$),而高泻组局部 IFP 呈上升趋势 ($B_{\text{高泻}} = 0.02$)。

表2 补法和泻法分别对不同组织液量状态下 IFP 的影响

Tab.2 Effects of reinforcing and reducing method on IFP in different volumes of interstitial fluid

组别	N	IFP/mmHg				回归系数	
		针前	针后	针后 5 min	针后 10 min	针后 5 min	针后 5~10 min
低对组	10	0.51±2.63	0.39±2.21	-0.11±2.61	-1.41±3.36	-0.17	-0.26
低提组	10	-8.75±14.30	-4.61±13.24 (<i>P</i> =0.131)	-6.88±11.12	-6.95±11.08	-0.12 (<i>P</i> =0.85)	-0.02** (<i>P</i> =0.009)
低按组	10	-8.03±8.52	-7.27±7.78 (<i>P</i> =0.123)	-7.51±7.79	-7.84±8.67	-0.05 (<i>P</i> =0.63)	-0.07* (<i>P</i> =0.028)
高对组	10	-0.19±2.68	-0.30±2.73	-0.87±2.62	—	-0.08	—
高泻组	10	0.98±1.36	-0.25±1.34## (<i>P</i> =0.002)	0.40±0.69	—	0.02# (<i>P</i> =0.019)	—

注:与低对组比较,***P*<0.01;与高对组比较,##*P*<0.01;与高对组比较,#*P*<0.05;1 mmHg=0.133 kPa

4.3 不同状态 IFP 比较

图5显示,不同组织液量状态下行补法、泻法对局部 IFP 的影响趋势基本一致,差异无统计学意义

义(*P*>0.05)。NS 泻法所降低的 IFP 高于 HV 状态,但差异无统计学意义(*P*>0.05)。

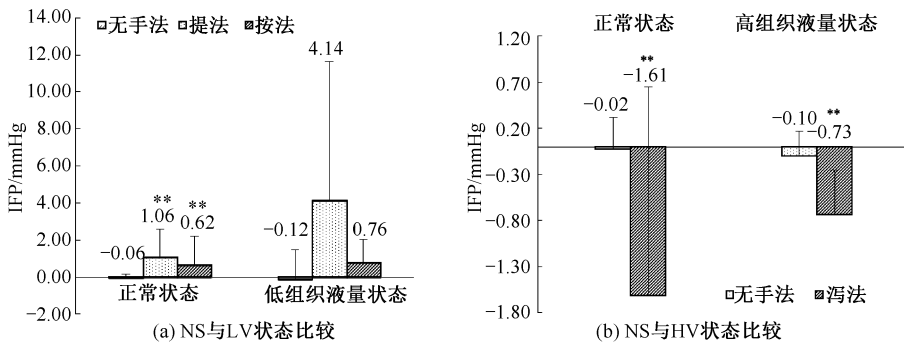
图5 不同组织液量状态下补/泻法对 IFP 的影响 (***P*<0.01)

Fig.5 Effects of reinforcing or reducing method on IFP under different fluid volume states

(a) NS versus LV state, (b) NS versus HV state

5 讨论

《内经·灵枢》是针灸的纲领性著作,其“排阳得针”泻法和“若行若按”补法作为篇首的补泻法,具有重要意义。从一般的神经和化学角度,很难理解为什么要进行这样的操作,补法的“若行若按”和“如留如还”仅涉及一种力的细微差别,而摇大针孔和急按针孔似在释放或保留什么,对于补泻法的理解是揭示气本质的重要线索。从组织液角度理解经络和气的本质已取得一些成果^[4-5,7,9]。最新研究使用生物阻抗谱方法,证明了经脉上的细胞外液更为丰富^[10],再次验证了经络与组织液的密切关系。王凌等^[11]对两种针刺手法对机体应力的作用及能量传播进行过研究,但针刺手法与组织液的相关研

究鲜有报道。小型猪是常用的实验动物之一,体型较大,皮肤结构与人体十分相似,能够较真实地还原毫针与人体的比例情况,是针灸经络研究的理想模式生物^[12]。本研究在经络组织液通道学说的理论和实验基础上,利用生物流阻/组织液压测定仪对小型猪皮下 IFP 进行监测,探索《灵枢》第一补泻法对组织液的影响与调节机制。

IFP 与组织液量有密切关系,组织液聚积时,IFP 增加,反之则减小。实验结果显示,NS 行补法能升高局部 IFP 达 1.06 mmHg (提法)和 0.62 mmHg (按法),说明“如留如还”和“若行若按”均能使局部的 IFP 升高,组织液量增多,实现补气(组织液)的作用。上述手法的生物力学机制如图6所示。肌筋膜层与皮肤之间构成皮下筋膜间隙,是

组织液富集的主要空间。当行“如留如还”的手法时,设操作者向上的提拉力为 F_1 ,此时针体与皮肤之间通过摩擦产生向上的切应力 f_1 和应变 Δh_1 ,由于针尖并未深入肌筋膜层,针体向上的力对肌筋膜层基本无影响,不产生形变, $\Delta L_1 \approx 0$,此时 $f_1 \approx F_1$,皮下间隙因皮肤上边界向上的应变 Δh_1 而向上方扩大。当针体抵压(按法)肌筋膜,行“若行若按”手法时,皮下筋膜受到由针体传导的施术者的按压力 F_2 ,此时针尖完全抵住肌筋膜层,筋膜与针尖无相对位移,故 F_2 以法向应力 T_2 作用于皮下间隙的下边界,产生向下的应变 ΔL_2 ;而针体的力通过与皮肤之间的摩擦力传导到皮肤,形成切应力 f_2 及皮肤层向下的应变 Δh_2 , $F_2 = T_2 + f_2$ 。通常 T_2 会大大高于 f_2 ,且皮肤与针体之间可以有微小的相对位移,故肌筋膜层向下 ΔL_2 将大于皮肤向下 Δh_2 ,使皮下间隙向下方扩大。由于提法是将针体的力全部作用于皮肤,使皮肤产生较大的向上位移,而肌筋膜层几乎无形变,造成皮下间隙的扩充较为明显,组织液的流入更多,故 IFP 的升高幅度也较大;按法在肌筋膜向下位移的同时,皮肤也有一定的向下形变,其皮下间隙的扩大不如提法明显,故 IFP 的升高也小于提法。但要反复进行上述补法操作,按法与提法的交替施加是必须的,最后的“去如弦绝”手法,可快速封闭针孔,将组织液全部保留在皮下间隙中,实现“补气”的效果。总之,这两种针灸针的力学作用都可导致筋膜间隙空间的扩大,使周围的组织液更多地向针尖所在的皮下筋膜间隙汇聚,出现上述实验结果。

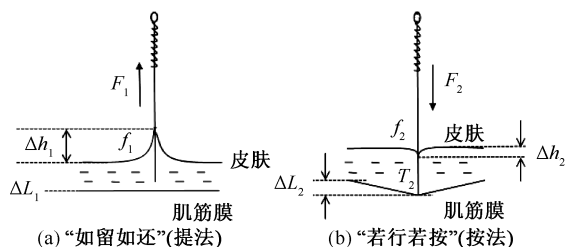


图6 《灵枢》第一针刺补法的生物力学机制

Fig.6 Biomechanical mechanism for reinforcing and reducing method of acupuncture (a) Pulling method, (b) Pressing method

生理学指出,淋巴液的流动与组织间隙内液体的压力有密切关系。在正常生理状态下,组织

液压处于比大气压略低的负压状态,为 $-2 \sim 0$ mmHg,不同组织的压力有所差异^[13]。当局部组织液增多,IFP 超过正常水平时,会加速组织液进入淋巴管,并使淋巴液流速加快。当 IFP 超过 0 mmHg 时,淋巴液的流速可以加快到正常情况的 10~50 倍^[14]。本研究发现,针刺补法能极显著升高局部 IFP 达 1 mmHg 左右,能使淋巴液流量增加数倍,可改善局部微循环,补充营养物质,加快清除代谢废物,加强体液免疫的作用,这可能是针刺发挥补虚作用的机理之一。

NS 行泻法操作可使局部 IFP 下降 1.61 mmHg,说明此时的组织液量减少。其机制可能是摇大针孔的针体旋转,使针孔变大,针道变粗,组织间隙中的组织液可由针孔部分渗出,导致局部组织液量减少,组织液压降低。HV 的泻法操作,IFP 也有显著降低,却比 NS 降低幅度小,且在针刺后的 5 min 内,IFP 有所回升,与泻对组的变化趋势相反。这可能是由于本实验所用的针灸针较细,摇大针孔后所出的组织液量较少,针刺手法前注入的生理盐水可流向针孔处,补充被泻掉的组织液,使针尖所在局部的 IFP 有一定程度的恢复,但周围的总组织液量已经减少。《黄帝内经》时代的针灸针较粗,进行“摇大针孔”的排组织液手法效果可能更好。

与中国哲学中的虚无概念“气”相比,针灸理论中的气更偏于实在^[15]。有学者指出,古人最初将针刺补泻的对象“正气”和“邪气”视为一种有形物质^[16-17],并且可随针具补泻的不同操作,达到引入正气和放出邪气的目的^[18]。针刺能够调气,又对组织液有一定的影响,为了更真实地还原临床中针刺补虚泻实的情况,本研究使用抽取组织液和注入生理盐水的方法模拟制造了类似气虚证的 LV 状态和类似气瘀证的 HV 状态。经络气血不足时,脉道空虚,其中的组织液含量减少,组织液压必然下降,这与本实验在抽取组织液的过程中,IFP 呈现持续下降的结果相吻合,为气虚模型的建立提供了参考。如组织损伤初期,主要表现为出血凝固,炎症反应明显,故疼痛剧烈^[19],若用摇大针孔的泻法,将组织液(包括血液)泄出,则可加快组织修复。

根据《灵枢》第一补泻法,使用毫针刺入皮下结缔组织,补法能够促进局部 IFP 升高,减缓 IFP 下降的速度,LV 状态下更能体现按法提高 IFP 的优势,

使局部组织液增加,达到补虚的作用;泻法能够降低局部IFP,表明摇大针孔有助于组织液溢出针孔,初步证明了《灵枢》第一补泻法对组织液的调整作用,为理解该经典手法提供了现代科学思路。

参考文献:

- [1] 河北医学院. 灵枢经校释[M]. 北京:人民卫生出版社, 2013:10.
- [2] 李恩江, 贾玉民. 说文解字译述[M]. 郑州:中原农民出版社, 2000: 1171.
- [3] 张维波. 现代经络研究中的三个主要思路——兼论循经感传现象的机理[J]. 中国中医基础医学杂志, 2001, 7(6): 46-48.
- [4] ZHANG WB, TIAN YY, LI H, *et al.* A discovery of low hydraulic resistance channel along meridians [J]. J Acupunct Meridian Stud, 2008, 1(1): 20-28.
- [5] ZHANG WB, WANG GJ, FUXE K. Classic and modern meridian studies: A review of low hydraulic resistance channels along meridians and their relevance for therapeutic effects in Traditional Chinese Medicine [J]. Evid Based Complement Alternat Med, 2015, doi: 10.1155/2015/410979.
- [6] 张维波.《黄帝内经》气血经络概念解析[J]. 中国针灸, 2013, 33(8): 708-716.
- [7] ZHANG WB, JIA DX, LI HY, *et al.* Understanding qi running in the meridians as interstitial fluid flowing via interstitial space of low hydraulic resistance [J]. Chin J Integr Med, 2018, 24(4): 304-307.
- [8] 张维波, 田宇瑛, 李宏. 循经低流阻通道组织液压的初步观察[J]. 医用生物力学, 2011, 26(1): 29-33.
 ZHANG WB, TIAN YY, LI H. Preliminary observation on the interstitial fluid pressure of low hydraulic resistance channel along meridians [J]. J Med Biomech, 2011, 26(1): 29-33.
- [9] 李宏彦, 王燕平, 余锐萍, 等. 小型猪胃经与肾经经脉不通病理模型的比较观察[J]. 中国中医基础医学杂志, 2018, 24(2): 176-179.
- [10] 古菲菲, 王燕平, 王广军, 等. 小腿段胃经和胆经与经外细胞内外液分布的比较[J]. 针刺研究, 2018, 43(11): 718-721.
- [11] 王凌, 陶明德, 丁光宏. 中医针刺两种不同手法对机体应力作用及其能量传播[J]. 医用生物力学, 2003, 18(4): 195-201.
 WANG L, TAO MD, DING GH. The calculation of energy distribution based on two respective techniques of acupuncture therapy [J]. J Med Biomech, 2003, 18(4): 195-201.
- [12] 张维波, 王广军, 田宇瑛, 等. 论针灸经络研究的模式生物——“疾病动物模型学术及战略研讨会”会后[J]. 针刺研究, 2014, 39(6): 512-514.
- [13] AUKLAND K, REED RK. Interstitial-lymphatic mechanisms in the control of extracellular fluid volume [J]. Physiol Rev, 1993, 73(1): 1-78.
- [14] GUYTON C. Textbook of medical physiology company [M]. 6th ed. USA: W. B. Saunders Company, 1981: 371-372.
- [15] 姜姗, 赵京生. 从模型理论视角看针灸之气[J]. 南京中医药大学学报(社会科学版), 2016, 17(1): 1-5.
- [16] 赵京生. 论《内经》补泻针法的立意及其演变[J]. 南京中医药大学学报, 1994, 10(6): 35-36.
- [17] 李素云, 赵京生. 传统补泻刺法蕴含的思想观念探讨[J]. 中国针灸, 2017, 37(11): 1141-1145.
- [18] 李素云, 赵京生. 《内经》针刺补泻两种候气进出针方法探讨[J]. 中国针灸, 2017, 37(4): 448-452.
- [19] 李宗明, 王慧聪, 胡流源. 韧带和肌腱的生物力学和力学生物学研究(英文)[J]. 医用生物力学, 2016, 31(4): 301-307.
 LI ZM, WANG HC, HU LY. Biomechanics and mechanobiology of ligaments and tendons [J]. J Med Biomech, 2016, 31(4): 301-307.