

深刺足三里穴联合提插与浅刺对心脏与外周血管自主神经活动的时相性协同调节:一项基于BPV与HRV同步分析的随机对照研究

阎亦舒¹, 侯俊虹¹, 刘洪运², 韩 奕², 汪子栋¹, 关 玲¹

¹解放军总医院中医医学部针灸科, 北京 100048; ²解放军总医院医学创新研究部, 北京 100853

摘要:背景 足三里穴为针灸临床常用要穴, 广泛应用于心血管及消化系统等多系统疾病的治疗, 疗效确切。但深刺足三里对自主神经的调控模式尚缺乏客观定量依据。目的 观察足三里穴深刺(接近血管旁)对健康受试者血压变异性(blood pressure variability, BPV)、心率变异性(heart rate variability, HRV)、心输出量(cardiac output, CO)及动脉压力反射敏感性(baroreflex sensitivity, BRS)的影响, 以阐明针刺对心血管自主神经的调节作用, 从而为针灸“调气血”功效提供客观依据。方法 本研究为单盲两组平行对照的随机对照试验, 于2025年10月至12月在解放军总医院招募健康青年受试者, 随机分为深刺组和浅刺组。两组均取足三里穴, 深刺组在超声引导下用毫针直刺约30 mm, 至胫前动脉分支处, 行提插手法150 s后出针; 浅刺组进针约10 mm, 未达血管且不行手法。在针刺前(T1)、针刺时(T2)、针刺后即刻(T3)、针刺后30 min(T4)及针刺后120 min(T5)同步采集心电图、连续血压信号各5 min, 比较分析两组BPV、HRV及CO的变化, 并利用传递函数分析BRS的变化。结果 共纳入68例受试者, 深刺组34例[男15例, 女19例, 年龄(26.2±3.2)岁], 浅刺组34例[男16例, 女18例, 年龄(25.5±3.3)岁], 两组基线资料差异无统计学意义($P>0.05$)。主要终点方面, 深刺组针刺时(T2)的收缩压变异系数(systolic blood pressure coefficient of variation, SBP-CV)和收缩压标准差(SBP-SD)均较针刺前(T1)升高($P<0.01$), 浅刺组各时间段与T1比较差异均无统计学意义($P>0.05$); 组间比较, 深刺组T2时点SBP-CV和SBP-SD均高于浅刺组[SBP-CV: 0.057 ± 0.021 vs 0.042 ± 0.011 ; SBP-SD: (6.5 ± 2.6) mmHg vs (4.9 ± 1.4) mmHg, P 均 <0.01]。次要终点方面, (1)HRV: 深刺组相邻RR间期差值均方根对数值(natural logarithm of root mean square of successive differences, lnRMSSD)在T2、T3、T4均较T1升高($P<0.01$), T5与T1差异无统计学意义($P>0.05$); 浅刺组各时间段指标与T1比较差异均无统计学意义($P>0.05$); 组间比较, 经T1基线校正后, 深刺组T2时点lnRMSSD高于浅刺组(调整均数差=0.22, 95% CI: 0.08~0.36, $P<0.01$)。 (2)BRS: 深刺组BRS增益在T3较T1升高($P<0.05$); 浅刺组各时间段与T1比较差异均无统计学意义($P>0.05$); 组间比较, 深刺组T3时点BRS增益高于浅刺组[$10.66(6.81, 17.76)$ ms/mmHg vs $8.37(7.03, 10.50)$ ms/mmHg, $P<0.05$]。 (3)CO: 交互效应不显著($P>0.05$), 时间效应显著($P<0.05$), 事后成对比较显示T2、T3、T4的CO均低于T1($P<0.05$)。结论 足三里穴深刺对心脏和血管的自主神经均具有调节作用。就血管而言, 主要呈现交感效应; 在心脏方面, 以副交感效应为主要表现。本研究可为进一步在患者群体中开展临床研究提供依据。

关键词:足三里; 自主神经; 心率变异性; 血压变异性; 心输出量; 针灸

中图分类号: R223

文献标志码: A

文章编号: 2095-5227(2026)05-0497-08

DOI: 10.12435/j.issn.2095-5227.26012601

引用本文: 阎亦舒, 侯俊虹, 刘洪运, 等. 深刺足三里穴对心脏与外周血管自主神经活动的时相性协同调节: 一项基于HRV与BPV同步分析的随机对照研究 [J]. 解放军医学院学报, 2026, 47 (5): 497-504.

Deep needling at combined with lifting-thrusting manipulation versus superficial needling exerts phase-dependent synergistic regulation of cardiac and peripheral vascular autonomic activity: A randomized controlled study based on simultaneous analysis of BPV and HRV

YAN Yishu¹, HOU Junhong¹, LIU Hongyun², HAN Yi², WANG Zidong¹, GUAN Ling¹

¹Department of Acupuncture, Division of Traditional Chinese Medicine, Chinese PLA General Hospital, Beijing 100048, China;

²Medical Innovation Research Department of PLA General Hospital, Beijing 100853, China

Corresponding author: GUAN Ling. Email: guanling301@sina.com

收稿日期: 2026-01-26

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(82174480)

第一作者: 阎亦舒, 博士. Email: yan.yishu@hotmail.com

通信作者: 关玲, 教授, 博士生导师. Email: guanling301@sina.com

Abstract: Background Zusanli (ST36) is one of the most commonly used acupoints in acupuncture and has shown good therapeutic effects on cardiovascular and other systemic diseases. However, the autonomic nervous system modulation pattern of deep needling at ST36 still lacks objective quantitative evidence. **Objective** To observe the effects of deep needling (near the blood vessel) at Zusanli on heart rate variability (HRV), blood pressure variability (BPV), cardiac output (CO), and baroreflex sensitivity (BRS) in healthy subjects, thereby elucidating the regulatory effect of acupuncture on cardiovascular autonomic nerves and providing objective evidence for the acupuncture theory of "regulating Qi and blood". **Methods** This study was a single-blind, two-arm, parallel-group randomized controlled trial. Healthy volunteers were recruited at Chinese PLA General Hospital from October to December 2025 and randomly divided into a deep needling group and a superficial needling group. ST36 was used in both groups. In the deep needling group, a filiform needle was inserted perpendicularly about 30 mm under ultrasound guidance to reach the branches of the anterior tibial artery, followed by lifting-thrusting manipulation for 150 seconds before withdrawal. In the superficial needling group, the needle was inserted about 10 mm without reaching the blood vessel and without any manipulation. Electrocardiogram and continuous blood pressure signals were simultaneously collected for 5 minutes at five time points: before needling (T1), during needling (T2), immediately after needling (T3), 30 min (T4) and 120 min (T5) after needling. HRV, BPV, and CO were analyzed, and BRS was analyzed using transfer function analysis. **Results** A total of 68 subjects were enrolled, including 34 in the deep needling group (15 males, 19 females, mean age $[26.2 \pm 3.2]$ years) and 34 in the superficial needling group (16 males, 18 females, mean age $[25.5 \pm 3.3]$ years). There were no statistically significant differences in baseline characteristics between the two groups ($P > 0.05$). For the primary endpoint, the deep needling group demonstrated significantly increased systolic blood pressure coefficient of variation (SBP-CV) and systolic blood pressure standard deviation (SBP-SD) at T2 compared with T1 (both $P < 0.01$), while the superficial needling group showed no significant changes at any time points relative to T1 (all $P > 0.05$); between-group comparison indicated that SBP-CV and SBP-SD at T2 were significantly higher in the deep needling group than in the superficial needling group (SBP-CV: 0.057 ± 0.021 vs 0.042 ± 0.011 ; SBP-SD: $[6.5 \pm 2.6]$ mmHg vs $[4.9 \pm 1.4]$ mmHg, both $P < 0.01$). For secondary endpoints, (1) HRV: the deep needling group showed significantly higher natural logarithm of the root mean square of successive RR interval differences (lnRMSSD) at T2, T3, and T4 compared with T1 (all $P < 0.01$), while no significant difference was found between T5 and T1 ($P > 0.05$); the superficial needling group exhibited no significant differences in lnRMSSD at any time points relative to T1 (all $P > 0.05$), and between-group comparison revealed that, after adjusting for baseline T1, lnRMSSD at T2 was significantly higher in the deep needling group than in the superficial needling group (adjusted mean difference = 0.22, 95% CI: 0.08 to 0.36, $P < 0.01$). (2) BRS: the deep needling group had significantly elevated BRS gain at T3 compared with T1 ($P < 0.05$), whereas the superficial needling group exhibited no significant differences across any time points relative to T1 (all $P > 0.05$); between-group comparison demonstrated that BRS gain at T3 was significantly higher in the deep needling group than in the superficial needling group ($10.66 [6.81, 17.76]$ ms/mmHg vs $8.37 [7.03, 10.50]$ ms/mmHg, $P < 0.05$). (3) CO: no significant interaction effect was observed ($P > 0.05$), although a significant time effect was present ($P < 0.05$), with post hoc pairwise comparisons showing that CO at T2, T3, and T4 was significantly lower than at T1 ($P < 0.05$). **Conclusion** Deep needling at Zusanli regulates autonomic nerves for both the heart and blood vessels. For blood vessels, it mainly manifests a sympathetic effect; for the heart, it mainly manifests a parasympathetic effect. This study may provide a preliminary clinical reference for the treatment of cardiovascular diseases such as sinus tachycardia, cardiac neurosis, and orthostatic hypotension.

Keywords: Zusanli; autonomic nervous system; heart rate variability; blood pressure variability; cardiac output; acupuncture

Cited as: Yan YSH, Hou JH, Liu HY, et al. TDeep needling at combined with lifting-thrusting manipulation versus superficial needling exerts phase-dependent synergistic regulation of cardiac and peripheral vascular autonomic activity: A randomized controlled study based on simultaneous analysis of BPV and HRV[J]. Acad J Chin PLA Med Sch, 2026, 47(5): 497-504.

足三里穴作为针灸领域最为常用的穴位之一，具备广泛的临床应用价值，对消化系统、循环系统诸多疾病均有良好疗效^[1]。以往研究大多认为，足三里穴的作用主要体现为副交感神经激活(主要基于动物实验)^[2]。然而，本研究团队在临床实践中观察发现，对足三里穴深刺至胫前动脉旁并实施提插操作，对过敏性疾病^[3]、心律失常、糖尿病足^[4]、自汗及盗汗等多种病症常可实现即时症状改善。这种调节作用可能与交感神经密切相关。

解剖学研究显示，足三里穴深部存在胫前动脉的分支——胫前返动脉^[5]。针刺提插操作可能对该动脉产生机械刺激。鉴于动脉分支处交感神经纤维分布丰富，深刺操作可能激活交感神经。但

目前，深刺至血管旁是否会引发与常规浅刺不同甚至相反的自主神经效应模式，尚不明晰。

心率变异性(heart rate variability, HRV)与血压变异性(blood pressure variability, BPV)是定量评估心脏与血管自主神经调控平衡的无创性指标。心输出量(cardiac output, CO)是反映心脏泵血功能的核心血流动力学参数。动脉压力反射敏感性(baroreflex sensitivity, BRS)则直接量化了压力反射环路对心血管系统稳定性的调节能力。综合运用这些多维度指标，能够更为全面地揭示针刺干预下心血管系统的即时及后续反应。因此，我们开展了一项随机对照试验，在超声引导下精准控制针刺深度，观察并比较深刺(接近血管旁)与浅刺

足三里穴对健康受试者HRV、BPV、CO及BRS的即时与延迟影响,探讨深刺足三里穴是否产生更为强烈的局部刺激,促使心血管系统出现特征性甚至方向不同的自主神经反应,从而为针灸的现代生理学机制提供客观依据。

1 对象与方法

1.1 试验设计

本研究为单盲(评估者盲)、两组平行对照的随机对照试验,于2025年10—12月在解放军总医院第六医学中心完成。试验方案经解放军总医院第六医学中心医学伦理委员会批准(批号:伦审第S2025-020-01号),并在中国临床试验注册中心注册(注册号:ITMCTR2025001888)。所有受试者均签署书面知情同意书。研究未设置假针刺/安慰剂对照,而以浅刺组作为主动对照,旨在比较不同针刺深度(深刺至血管旁 vs 浅表刺激)对心血管自主神经功能的差异效应。

1.2 研究对象

2025年10—12月在解放军总医院第六医学中心招募健康青年受试者。纳入标准:(1)年龄18~30周岁;(2)经体格检查确认健康状况良好;(3)心肺功能未见异常,且无慢性疾病或重大系统性疾病史;(4)近1个月内无规律性饮酒、吸烟及咖啡因或茶类摄入史;(5)作息规律,睡眠正常;(6)无晕针或晕血史,能够配合完成全部试验流程。排除标准:(1)试验前24 h曾摄入含咖啡因的饮料或乙醇制品;(2)处于月经期、妊娠期或哺乳期的女性;(3)存在失眠、心悸、盗汗等自主神经功能紊乱的临床症状;(4)有过敏性疾病史,或既往患有神经系统疾病;(5)合并严重心血管、呼吸、消化、肝、肾或内分泌系统功能障碍。

1.3 结局指标

主要终点指标:针刺时(T2)收缩压(systolic blood pressure, SBP)变异系数(SBP-CV)相较于基线(T1)的变化值($\Delta T2$)。

次要终点指标:包括心率变异性(heart rate variability, HRV)指标,如相邻RR间期差值均方根对数值(natural logarithm of root mean square of successive differences, lnRMSSD)、平均RR间期(mean RR interval, Mean RR)、高频功率对数值(natural logarithm of high frequency power, lnHF)、低频功率对数值(natural logarithm of low frequency power, lnLF)、总功率对数值(natural logarithm of

total power, lnTP)及低频与高频功率比值(low frequency/high frequency ratio, LF/HF);血压变异性(blood pressure variability, BPV)其他指标,如收缩压标准差(systolic blood pressure standard deviation, SBP-SD)、收缩压连续变异性(systolic blood pressure successive variation, SBP-SV)、收缩压平均真实变异性(systolic blood pressure average real variability, SBP-ARV)、收缩压高频功率(systolic blood pressure high frequency power, SBP-HF)、收缩压低频频谱功率(systolic blood pressure low frequency power, SBP-LF)及舒张压(diastolic blood pressure, DBP)各变异指标;心输出量(cardiac output, CO)及动脉压力反射敏感性(baroreflex sensitivity, BRS)增益在不同时点的变化。

1.4 样本量估算

样本量估算基于主要终点。依据预试验结果,深刺组与浅刺组在T2时点的SBP-CV均值分别为0.052、0.041,合并标准差估计值分别为0.016、0.011。采用PASS 15.0.5软件,按两独立样本均值比较的双侧检验,设检验水准 $\alpha=0.05$,检验效能($1-\beta$)=0.80,计算得每组所需样本量为26例。考虑20%的脱落率,每组调整为34例,计划总样本量68例。

1.5 随机化与盲法

采用区组随机法(区组大小为4,1:1分配),由独立于本研究的统计师使用SAS 9.4软件生成随机序列。随机分配方案按顺序装入不透光、密封的信封,由专人保管。受试者入组后,按信封顺序依次拆封确定分组。因针刺深度差异,针刺操作者无法对分组设盲;生理信号采集人员、数据分析师、统计师及论文撰写者对分组设盲。揭盲前由盲态统计师锁定分析计划。

1.6 干预方案

两组均由同一名高年资针灸医师操作。受试者取仰卧位,局部皮肤常规消毒,统一针刺右侧足三里穴(定位按国家标准GB/T 12346-2021执行),并在超声引导下确认针尖与局部血管结构的空間关系。

深刺组:施行“深刺至脉”手法:直刺进针约30 mm,超声下可见针尖抵达胫前动脉分支处,针体紧贴血管壁但不刺入管腔;行上下提插,频率约60/min,幅度约10 mm,持续150 s后出针。

浅刺组:直刺进针约10 mm,针尖未抵达血管附近,不施行提插手手法,留针150 s后起针。

1.7 数据采集

为降低或消除昼夜节律的影响,干预操作于

上午8:30—11:30进行。操作环境温度22~25℃,相对湿度为20%~70%,受试者取仰卧位,保持放松状态。采用BIOPAC MP160系统(BIOPAC Systems Inc., USA)采集心电图(electrocardiogram, ECG),采样频率设定为2 000 Hz;采用CNAP Monitor 500系统(CNSystems Medizintechnik, Graz, Austria)采集连续逐搏血压及心输出量,连续逐搏血压传感器置于受试者左手食指和中指,校准袖带固定在同侧上臂肘窝上方2~3 cm处。

在5 min静息期过后,开始采集信号,采集时间点分别为:针刺前(T1)、针刺时(T2)、针刺结束后即刻(T3)、针刺结束后30 min(T4)和针刺结束后120 min(T5),每个时间点采集5 min稳态生理信号。

离线数据分析在MATLAB环境(MathWorks, USA)下完成,包括滤波、去伪影及去基线漂移等预处理。HRV分析基于ECG信号提取RR间期序列,计算Mean RR、lnRMSSD等时域指标;经过4 Hz重采样后行频域分析,计算lnLF(0.04~0.15 Hz)、lnHF(0.15~0.40 Hz)、lnTP及LF/HF比值。BPV分析基于连续逐搏血压波形,提取SBP与DBP,计算其均值、SD、CV、SV、ARV及频域指标(LF、HF)。CO由CNAP系统基于脉搏轮廓法自动估计。BRS分析采用传递函数法计算低频段(0.04~0.15 Hz)增益,仅纳入相干系数(Coherence)>0.5的频段。

1.8 统计学分析

采用SPSS 27.0软件进行分析。计量资料经Shapiro-Wilk正态性检验,符合正态分布者以 $\bar{x} \pm s$ 表示,不符合正态分布者以 $M(IQR)$ 表示;计数资料以例数(百分比)表示。

主要终点分析采用重复测量方差分析评估SBP-CV的组间×时间交互效应。若交互效应显著,进一步行简单效应分析:组内比较采用Bonferroni校正;组间比较采用协方差分析,以基线值为协变量,比较T2时点两组差异,并报告效应量(Cohen's d)及其95%置信区间(CI)。次要终点分析包括HRV、BPV、CO及BRS指标按资料类型分别采用重复测量方差分析或广义估计方程进行分析。为避免I类错误膨胀,次要终点多重比较采用Bonferroni法校正,校正后的显著性水平以 $P<0.05$ 比较次数为准。所有统计检验均为双侧。

2 结果

2.1 两组一般资料比较

68例受试者均完成试验。两组受试者的性别、

年龄、身高、体质量及体质量指数(body mass index, BMI)比较,差异均无统计学意义($P>0.05$),具有可比性,见表1。

表1 两组受试者一般资料比较 (n=34)

Tab. 1 Comparison of demographic data between the two groups (n=34)

指标	深刺组	浅刺组	χ^2/t 值	P 值
性别/(例,男/女)	15/19	16/18	0.059	0.808
年龄/(岁, $\bar{x} \pm s$)	26.2 $\pm$ 3.2	25.5 $\pm$ 3.3	0.888	0.378
体质量/(kg, $\bar{x} \pm s$)	66.4 $\pm$ 10.8	65.4 $\pm$ 13.1	0.343	0.732
身高/(cm, $\bar{x} \pm s$)	169.4 $\pm$ 7.0	169.0 $\pm$ 7.6	0.226	0.822
BMI/(kg/m ² , $\bar{x} \pm s$)	23.0 $\pm$ 2.6	22.7 $\pm$ 3.1	0.432	0.667

BMI:体质量指数。

2.2 主要终点收缩压变异性指标的比较

2.2.1 两组SBP变异性指标的比较 T1时段两组各指标差异均无统计学意义($P>0.05$),具有可比性。SBP-SD和SBP-CV的交互效应显著($P<0.05$)。简单效应分析显示:深刺组T2时点SBP-SD和SBP-CV均高于T1($P<0.01$),其余时间段与T1比较差异均无统计学意义($P>0.05$);浅刺组各时间段与T1比较差异均无统计学意义($P>0.05$)。组间比较显示,深刺组T2时点SBP-SD和SBP-CV均高于浅刺组($P<0.01$)。SBP-SV、SBP-ARV和SBP-HF的交互效应显著($P<0.05$),但经简单效应分析及多重校正后,组间和组内差异均无统计学意义($P>0.05$)。SBP-mean和SBP-LF的交互效应、时间主效应及组别主效应均不显著($P>0.05$),见表2。

2.2.2 两组DBP变异性指标的比较 T1时段两组各指标差异均无统计学意义($P>0.05$),具有可比性。DBP-SV、DBP-ARV、DBP-HF、DBP-LF的交互效应显著($P<0.05$),但简单效应分析显示,组间和组内差异均无统计学意义($P>0.05$)。DBP-SD、DBP-CV的时间效应显著($P<0.05$),但各时间点与T1比较差异均无统计学意义($P>0.05$)。DBP-mean的交互效应、时间效应及组别效应均不显著($P>0.05$)。见表3。

2.3 次要终点心率变异性指标的比较

T1时段两组各指标差异均无统计学意义($P>0.05$),具有可比性。lnRMSSD的交互效应显著($P<0.05$)。简单效应分析显示:深刺组T2、T3、T4时点均较T1升高($P<0.01$),T5与T1的差异无统计学意义($P>0.05$);浅刺组各时间段与T1相比,差异均无统计学意义($P>0.05$)。组间比较,经协方差校正T1基线后,深刺组T2时点lnRMSSD高于浅刺组(调

表2 两组收缩压变异性指标比较

Tab. 2 Comparison of SBP variability between the two groups (n=34)

指标	时间	深刺组	浅刺组	组间(<i>F</i> /Wald χ^2 值, <i>P</i> 值)	时间(<i>F</i> /Wald χ^2 值, <i>P</i> 值)	交互(<i>F</i> /Wald χ^2 值, <i>P</i> 值)
SBP-mean/ (mmHg, $\bar{x}\pm s$)	T1	117.5±15.3	119.5±14.4	0.815, 0.370	2.313, 0.08	0.190, 0.898
	T2	113.8±13.8	116.9±15.1			
	T3	116.0±15.4	120.4±16.3			
	T4	117.0±14.5	118.4±15.4			
	T5	120.5±18.3	122.3±17.7			
SBP-SD/ (mmHg, $\bar{x}\pm s$)	T1	4.6±0.9	4.8±1.9	1.267, 0.056	2.813, <0.001	1.401, 0.015
	T2	6.5±2.6	4.9±1.4			
	T3	5.0±1.7	5.2±1.7			
	T4	5.5±2.0	4.8±2.1			
	T5	4.6±1.8	4.4±1.2			
SBP-CV/($\bar{x}\pm s$)	T1	0.039±0.008	0.041±0.022	2.208, 0.023	3.716, <0.001	1.176, 0.022
	T2	0.057±0.021	0.042±0.011			
	T3	0.044±0.017	0.043±0.015			
	T4	0.047±0.018	0.041±0.019			
	T5	0.038±0.015	0.036±0.009			
SBP-SV/[mmHg, <i>M</i> (<i>Q</i> ₁ , <i>Q</i> ₃)]	T1	3.57 (2.45, 4.52)	3.23 (2.72, 4.04)	0.979, 0.322	5.347, 0.253	9.908, 0.042
	T2	3.77 (3.11, 5.08)	3.08 (2.08, 4.37)			
	T3	3.13 (2.66, 4.72)	3.34 (2.66, 4.02)			
	T4	3.26 (2.64, 4.13)	3.24 (2.58, 3.85)			
	T5	3.04 (2.36, 3.71)	3.20 (2.43, 3.59)			
SBP-ARV/[mmHg, <i>M</i> (<i>Q</i> ₁ , <i>Q</i> ₃)]	T1	2.39 (1.80, 3.21)	2.41 (1.94, 2.81)	0.472, 0.492	4.428, 0.351	9.908, 0.042
	T2	2.62 (2.04, 3.58)	2.28 (1.58, 3.06)			
	T3	2.25 (1.93, 3.12)	2.44 (1.93, 2.93)			
	T4	2.30 (1.96, 2.83)	2.29 (1.92, 2.88)			
	T5	2.12 (1.77, 2.68)	2.39 (1.82, 2.69)			
SBP-HF/[mmHg ² , <i>M</i> (<i>Q</i> ₁ , <i>Q</i> ₃)]	T1	3.00 (1.58, 4.63)	2.54 (1.83, 3.31)	2.984, 0.084	5.103, 0.277	14.186, 0.007
	T2	3.20 (1.89, 5.46)	1.96 (1.40, 4.19)			
	T3	2.34 (1.53, 4.99)	2.67 (1.51, 4.30)			
	T4	2.64 (1.76, 6.15)	2.51 (1.50, 4.07)			
	T5	2.21 (1.44, 3.76)	2.59 (1.57, 4.19)			
SBP-LF/[mmHg ² , <i>M</i> (<i>Q</i> ₁ , <i>Q</i> ₃)]	T1	3.63 (2.13, 5.65)	3.49 (2.20, 7.11)	1.266, 0.261	6.325, 0.176	8.318, 0.081
	T2	6.03 (3.31, 10.44)	4.43 (2.28, 5.43)			
	T3	3.67 (2.23, 7.45)	4.88 (2.09, 7.73)			
	T4	6.67 (2.98, 8.99)	2.90 (1.43, 6.43)			
	T5	3.49 (1.96, 6.80)	4.35 (2.05, 7.05)			

SBP-SD为收缩压标准差,SBP-CV为收缩压变异系数,SBP-SV为收缩压连续变异性,SBP-ARV为收缩压平均真实变异性,SBP-HF为收缩压高频功率,SBP-LF为收缩压低频频谱功率。1 mmHg=0.133 kPa。

整均数差=0.22, 95% *CI*: 0.08 ~ 0.36, *P*<0.01)。

Mean RR、lnHF、lnLF及lnTP的交互效应虽不显著(*P*>0.05),但时间效应显著(*P*<0.01)。事后比较显示,与T1相比,T2、T3时上述指标均显著升高(*P*<0.05);T4时仅Mean RR仍显著高于T1(*P*<0.01);T5时各指标与T1的差异均无统计学意义(*P*>0.05)。LF/HF的交互效应、时间效应和组别效应均不显著(*P*>0.05),见表4。

2.4 次要终点 CO 比较

两组受试者各时点CO:深刺组T1~T5分别为(6.7±1.2) L/min、(6.1±1.1) L/min、(6.2±1.2) L/min、(6.0±0.9) L/min、(6.4±1.1) L/min;浅刺组分别为(6.4±0.9) L/min、(6.0±0.9) L/min、(6.0±1.0) L/min、(6.0±0.7) L/min、(6.2±0.8) L/min。T1时点两组CO差异无统计学意义(*P*>0.05),具有可比性。重复测量方差分析显示,交互效应不显著(*F*=0.785,

表3 两组受试者舒张压变异性指标比较

Tab. 3 Comparison of DBP variability between the two groups (n=34)

指标	时间	深刺组	浅刺组	组间($F/Wald\chi^2$ 值, P 值)	时间($F/Wald\chi^2$ 值, P 值)	交互($F/Wald\chi^2$ 值, P 值)
DBP-mean/ (mmHg, $\bar{x}\pm s$)	T1	70.5±14.5	72.6±11.4	0.726, 0.397	2.059, 0.108	0.267, 0.846
	T2	69.2±12.3	71.9±11.8			
	T3	71.0±14.5	74.0±13.6			
	T4	73.6±13.9	73.4±11.6			
	T5	74.0±11.3	76.0±12.2			
DBP-SD/ (mmHg, $\bar{x}\pm s$)	T1	3.9±1.1	3.8±1.2	0.732, 0.395	3.176, 0.021	1.703, 0.162
	T2	4.5±1.8	3.9±1.3			
	T3	3.9±1.3	4.1±1.4			
	T4	4.6±1.9	4.0±1.7			
	T5	3.5±1.3	3.7±1.2			
DBP-CV/ $(\bar{x}\pm s)$	T1	0.058±0.021	0.054±0.019	1.904, 0.172	4.101, 0.008	1.053, 0.370
	T2	0.070±0.034	0.055±0.022			
	T3	0.058±0.024	0.058±0.023			
	T4	0.064±0.028	0.056±0.027			
	T5	0.048±0.021	0.048±0.015			
DBP-SV/[mmHg, $M(Q_1, Q_3)$]	T1	3.05 (1.71, 3.70)	2.33 (1.92, 3.26)	0.612, 0.434	7.670, 0.104	11.473, 0.022
	T2	2.52 (2.26, 3.24)	1.98 (1.59, 3.01)			
	T3	2.29 (1.82, 2.92)	2.14 (1.57, 3.17)			
	T4	2.30 (1.83, 3.28)	2.04 (1.58, 2.54)			
	T5	1.77 (1.58, 2.27)	2.24 (1.73, 3.08)			
DBP-ARV/[mmHg, $M(Q_1, Q_3)$]	T1	1.98 (1.26, 2.78)	1.78 (1.23, 2.40)	0.365, 0.546	7.986, 0.092	12.801, 0.012
	T2	1.92 (1.53, 2.51)	1.46 (1.27, 2.30)			
	T3	1.69 (1.24, 2.30)	1.70 (1.20, 2.45)			
	T4	1.75 (1.36, 2.13)	1.62 (1.18, 2.01)			
	T5	1.37 (1.18, 1.67)	1.65 (1.33, 2.27)			
DBP-HF/[mmHg ² , $M(Q_1, Q_3)$]	T1	1.31 (0.79, 3.22)	1.44 (0.71, 2.30)	3.681, 0.055	4.093, 0.394	15.238, 0.004
	T2	1.70 (0.85, 2.48)	1.04 (0.54, 1.73)			
	T3	1.34 (0.79, 1.98)	1.09 (0.54, 1.95)			
	T4	1.37 (0.63, 2.88)	1.09 (0.73, 1.62)			
	T5	0.86 (0.59, 1.66)	1.11 (0.70, 2.72)			
DBP-LF/[mmHg ² , $M(Q_1, Q_3)$]	T1	2.82 (1.61, 5.39)	3.01 (2.15, 6.27)	0.959, 0.327	1.672, 0.796	15.821, 0.003
	T2	4.38 (3.19, 6.71)	2.96 (1.70, 4.83)			
	T3	3.59 (1.93, 5.79)	2.84 (1.92, 5.04)			
	T4	3.66 (1.90, 5.48)	2.10 (1.54, 3.48)			
	T5	2.96 (1.46, 4.38)	3.13 (1.79, 4.62)			

DBP-SD为舒张压标准差,DBP-CV为舒张压变异系数,DBP-SV为舒张压连续变异性,DBP-ARV为舒张压平均真实变异性,DBP-HF为舒张压高频功率,DBP-LF为舒张压低频功率。1 mmHg=0.133 kPa。

$P=0.504$), 时间效应显著($F=8.428, P<0.001$)。事后成对比较显示, T2、T3、T4时点的CO均低于T1($P<0.05$ 或 $P<0.01$)。

2.5 次要终点BRS的比较

T1时段两组各指标差异均无统计学意义($P>0.05$), 具有可比性。BRS增益的交互效应显著($P<0.05$); 简单效应分析显示, 深刺组T3时点BRS增益较T1升高($P<0.05$); 浅刺组各时点与T1比较差异均无统计学意义($P>0.05$); 组间比较显

示, 深刺组T3时点BRS增益高于浅刺组($P<0.05$)。相干性的交互效应、时间主效应及组别主效应均不显著($P>0.05$), 见表5。

3 讨论

足三里穴不仅可对神经^[6]、内分泌^[7]、循环^[8]及免疫^[9]等多个系统产生良性调节效应, 还对心血管自主神经具有调节作用, 具体体现在对心率^[10]和血压^[11]的调节上。本研究结果表明, 在超声引

表 4 两组受试者心率变异性指标比较

Tab. 4 Comparison of heart rate variability parameters between the two groups (n=34)

指标	时间	深刺组	浅刺组	组间($F/Wald \chi^2$ 值, P 值)	时间($F/Wald \chi^2$ 值, P 值)	交互($F/Wald \chi^2$ 值, P 值)
Mean RR/(ms, $\bar{x} \pm s$)	T1	884.8±102.6	911.7±99.9	1.308, 0.257	14.566, <0.001	0.180, 0.673
	T2	957.5±109.8	948.4±97.7			
	T3	922.1±100.3	933.2±95.5			
	T4	934.9±118.0	938.8±89.7			
	T5	899.1±122.2	914.2±85.7			
LnRMSSD/($\bar{x} \pm s$)	T1	3.53±0.51	3.61±0.48	0.001, 0.998	9.656, <0.001	2.941, 0.039
	T2	3.88±0.47	3.75±0.46			
	T3	3.75±0.47	3.72±0.45			
	T4	3.73±0.56	3.69±0.50			
	T5	3.56±0.55	3.69±0.46			
lnHF/($\bar{x} \pm s$)	T1	6.0±1.1	6.3±1.0	0.088, 0.768	5.582, 0.001	1.316, 0.266
	T2	6.6±0.9	6.5±0.9			
	T3	6.4±1.0	6.5±0.8			
	T4	6.4±1.2	6.4±1.0			
	T5	6.1±1.1	6.3±0.9			
lnLF/($\bar{x} \pm s$)	T1	5.6±1.0	5.7±0.9	0.214, 0.645	7.416, 0.001	2.143, 0.076
	T2	6.4±0.9	5.9±1.0			
	T3	6.0±1.0	5.9±0.9			
	T4	5.7±1.2	5.7±1.0			
	T5	5.5±0.9	5.7±1.0			
lnTP/($\bar{x} \pm s$)	T1	6.71±0.91	6.83±0.90	0.002, 0.969	8.080, 0.001	1.683, 0.154
	T2	7.33±0.76	7.06±0.83			
	T3	7.09±0.89	7.06±0.74			
	T4	6.93±1.05	6.92±0.87			
	T5	6.71±0.92	6.87±0.81			
LF/HF/[$M(Q_1, Q_3)$]	T1	0.59(0.28, 1.04)	0.56(0.29, 1.03)	2.150, 0.708	1.340, 0.247	2.567, 0.633
	T2	0.89(0.34, 1.63)	0.51(0.28, 1.20)			
	T3	0.86(0.39, 1.36)	0.60(0.28, 1.05)			
	T4	0.52(0.28, 0.81)	0.53(0.28, 1.02)			
	T5	0.51(0.32, 1.22)	0.58(0.24, 1.33)			

Mean RR 为平均RR间期,lnRMSSD为相邻RR间期差值的均方根的对数值,lnHF为高频功率对数值,lnLF为低频功率对数值,LF/HF为低频与高频功率比值,lnTP为总功率对数值。LF/HF的统计描述采用[$M(Q_1, Q_3)$],分析采用广义估计方程;其余指标的统计描述采用($\bar{x} \pm s$),分析采用重复测量方差分析。T1为针刺前,T2为针刺时,T3为针刺后即刻,T4为针刺后30 min,T5为针刺后120 min。

表 5 两组压力反射敏感性指标比较

Tab. 5 Comparison of baroreflex sensitivity between the two groups (n=34, $M [Q_1, Q_3]$)

指标	时间	深刺组	浅刺组	组间($F/Wald \chi^2$ 值, P 值)	时间($F/Wald \chi^2$ 值, P 值)	交互($F/Wald \chi^2$ 值, P 值)
增益(ms/mmHg)	T1	7.49 (4.36, 10.57)	8.71 (5.80, 11.73)	0.352, 0.553	3.255, 0.516	12.189, 0.016
	T2	8.27 (5.80, 14.16)	6.70 (5.43, 11.83)			
	T3	10.66 (6.81, 17.76)	8.37 (7.03, 10.50)			
	T4	7.60 (4.55, 11.20)	8.52 (5.91, 13.86)			
	T5	7.92 (4.96, 11.17)	8.77 (5.89, 13.48)			
相干性	T1	0.80 (0.73, 0.83)	0.79 (0.75, 0.85)	0.159, 0.690	3.282, 0.512	0.870, 0.99
	T2	0.77 (0.72, 0.84)	0.77 (0.73, 0.84)			
	T3	0.80 (0.72, 0.87)	0.78 (0.75, 0.81)			
	T4	0.79 (0.74, 0.83)	0.78 (0.74, 0.82)			
	T5	0.78 (0.72, 0.84)	0.80 (0.70, 0.84)			

采用广义估计方程进行统计分析。T1为针刺前,T2为针刺时,T3为针刺后即刻,T4为针刺后30 min,T5为针刺后120 min。1 mmHg=0.133 kPa。

导下对健康受试者足三里穴进行深刺(接近血管旁)并施以手法,能够显著调节心血管自主神经功能,且其效应模式与浅刺存在明显差异。

在心脏自主神经调节方面,深刺组表现出明确的副交感激活效应。深刺组针刺时、针刺后即刻及针刺后 30 min 的 lnRMSSD 升高提示迷走神经张力增强^[12-15],表明心脏处于更灵活的调节状态。这一结果与多数关于足三里穴调节心脏功能的研究相一致。这提示深刺至血管旁并结合手法刺激,可能通过激活更为丰富的深部感受器(如血管壁压力感受器或神经血管束内的感受器),产生更强的向心性传入信号,从而更有效地激发心迷走中枢。

在血管调节方面,深刺组表现出交感兴奋性增强的特征。收缩压变异性指标(SD、CV)的即时升高通常反映交感神经对血管张力的调控增强^[16-19]。这一看似矛盾的现象——血管交感活动增加的同时心脏迷走张力增强,恰是心血管系统自我稳定机制的表现:血管活性增强后反射性地使心输出量减少,从而表现出心脏副交感效应。结合 BPV 与 HRV 的变化,一种合理的解释是:深刺引发的血管交感张力增高导致外周血管阻力增加;作为代偿,通过压力反射机制,心脏副交感活性被反射性增强,同时可能伴随心率减慢及每搏输出量变化,最终表现为 CO 降低。

动脉压力反射是机体调节血压短期波动、维持循环稳态最核心的负反馈机制,其敏感性反映了血管压力感受器将血压波动信号转化为神经冲动,并经由自主神经中枢调控心脏和血管的效率。本研究结果显示,深刺足三里穴后即刻,受试者的 BRS 增益显著升高,且各时间点的相干性始终维持在较高水平。这一发现与既往动物研究结果基本一致^[20-21]。这提示深刺足三里穴并非单纯兴奋或抑制某一支,而是通过优化压力反射这一“稳态控制器”的增益,协调心-血管之间的动态平衡,这可能是其“调气血”“平阴阳”的关键现代生理学机制之一。

本研究受试者均为健康青年,结果向心血管疾病患者的外推尚需验证;未设置假针刺对照组,安慰剂效应未能排除。后续研究可纳入患者群体并增设假针刺组,以进一步验证本研究结论。

本研究发现,足三里深刺可诱发“心-血管耦联”调节模式:血管层面呈短时交感神经主导效应,心脏层面呈副交感优势反应,后者或为血管

交感反应的内稳态代偿平衡机制,与动脉压力反射相关。该双向分化调节特性体现了针灸干预的整体性与复杂性,既为中医“针刺深浅补泻”理论提供了客观神经生理学依据,也为自主神经功能紊乱相关心血管疾病的精准针刺干预指明了新方向,值得在患者群体中进一步验证。

作者贡献 阎亦舒:实施针刺操作,论文撰写;侯俊虹:受试者招募;刘洪运:生理信号处理与分析;韩奕:数据采集;汪子栋:统计分析;关玲:实验设计,执行把控及论文修订。

利益冲突 所有作者声明无利益冲突。

数据共享声明 本论文相关数据可依据合理理由从通信作者处获取,Email: guanling301@sina.com。

参考文献

- 1 Fan XJ, Liu YL, Li SS, et al. Comprehensive landscape-style investigation of the molecular mechanism of acupuncture at ST36 single acupoint on different systemic diseases [J]. *Heliyon*, 2024, 10 (4): e26270.
- 2 Liu SB, Wang ZF, Su YS, et al. A neuroanatomical basis for electroacupuncture to drive the vagal - adrenal axis [J]. *Nature*, 2021, 598 (7882): 641-645.
- 3 黄宗跃,王昊,肖新新,等.关玲教授结构针灸“刺脉术”治疗过敏性疾病探析 [J]. *针灸临床杂志*, 2023, 39 (10): 88-91.
- 4 黄宗跃,李英,姜岳波,等.足三里刺脉术治疗 Wagner 0 级糖尿病足疗效观察 [J]. *中国针灸*, 2024, 44 (9): 995-1000.
- 5 STANDRING S, 丁自海,刘树伟,主译.格氏解剖学:临床实践的解剖学基础 [M]. 济南: 山东科学技术出版社, 2017: 1407-1408.
- 6 Huang HM, Yue XM, Huang X, et al. Brain activities responding to acupuncture at ST36 (Zusanli) in healthy subjects: a systematic review and meta-analysis of task-based fMRI studies [J]. *Front Neurol*, 2022, 13: 930753.
- 7 Liu CY, Zheng SY, Wu WZ, et al. Effects of acupuncture on the hypothalamus-pituitary-adrenal axis in chronic insomnia patients: a study protocol for a randomized controlled trial [J]. *Trials*, 2019, 20 (1): 810.
- 8 王莉莉,万红叶,邢敏,等.电针“足三里”改善慢性心衰小鼠心功能效应机制研究 [C] //中国针灸学会. 2024 中国针灸学会年会论文集. 北京: 中国中医科学院针灸研究所, 2024: 2.
- 9 Oh JE, Kim SN. Anti-inflammatory effects of acupuncture at ST36 point: a literature review in animal studies [J]. *Front Immunol*, 2022, 12: 813748.
- 10 Li L, Liang S, Bai JF, et al. Regulation of autonomic nervous system by acupuncture: a heart rate variability study on physical stress [J]. *Front Hum Neurosci*, 2025, 19: 1676863.
- 11 Liu JP, Li YY, Yang KZ, et al. Electroacupuncture and manual acupuncture at LR3 and ST36 have attenuating effects on hypertension and subsequent cognitive dysfunction in spontaneously hypertensive rats: A preliminary resting-state functional magnetic resonance imaging study [J]. *Front Neurosci*, 2023, 17: 1129688.
- 12 Sammito S, Thielmann B, Böckelmann I. Update: factors influencing heart rate variability - a narrative review [J]. *Front Physiol*, 2024, 15: 1430458.

(下转第 549 页)