

耳迷走神经刺激对运动员赛前焦虑状态影响的研究

薛亮¹, 段华¹, 冯静¹, 陈世寅¹, 王鹤亭¹, 吴骁^{1,2}

1. 四川省医学科学院·四川省人民医院(电子科技大学附属医院)中医骨科, 四川 成都 610072;

2. 成都体育学院附属体育医院, 四川 成都 610072

【摘要】 目的 观察耳迷走神经刺激对赛前焦虑运动员心理状态与运动成绩的影响。方法 2022 年 3 月至 2023 年 1 月在成都体育学院达到二级跳远运动员标准的运动员 55 例, 随机数字法分为治疗组 29 例和对照组 26 例, 分别接受耳迷走神经刺激治疗和非迷走神经刺激治疗, 比较两组治疗前后汉密尔顿焦虑量表(HAMA)得分、焦虑自评量表(SAS)得分、赛时最差、平均和最差优跳远成绩。结果 耳迷走神经刺激治疗后, 治疗组有效率高于对照组($P<0.05$)。两组 HAMA 与 SAS 均较治疗前降低, 且治疗组低于对照组($P<0.05$), 治疗组运动员比赛中的最低成绩与平均成绩均较治疗前提升, 且治疗组优于对照组($P<0.05$), 两组最高成绩比较, 差异无统计学意义($P>0.05$)。结论 耳迷走神经刺激能显著改善赛前焦虑跳远运动员的心理状态, 改善其比赛中的竞技状态。

【关键词】 耳迷走神经刺激; 赛前焦虑状态; 竞技状态; 疗效; 运动员

【中图分类号】 R493

【文献标志码】 A

【文章编号】 1672-6170(2024)05-0075-05

Study on the effect of auricular vagus nerve stimulation on pre-competition anxiety state of athletes

XUE Liang¹, DUAN Hua¹, FENG Jing¹, CHEN Shi-yin¹, WANG He-ting¹, WU Xiao^{1,2} 1. Department of Orthopedics of Chinese Medicine, Sichuan Academy of Medical Sciences · Sichuan Provincial People's Hospital (Affiliated Hospital of University of Electronic Science and Technology of China), Chengdu 610072, China; 2. The Affiliated Sport Hospital of Chengdu Sport University, Chengdu 610072, China

【Corresponding author】 WU Xiao

【Abstract】 Objective To observing the effect of transcutaneous auricular vagus nerve stimulation (taVNS) on the pre-competition anxiety state and sport performance of athletes. Methods Fifty-five long jumpers who reached the criterion of Grade-2 athletes from Chengdu Sport University were selected. They were divided into a treatment group ($n=29$) and a control group ($n=26$) by using random number table method. The treatment group underwent taVNS treatment and the control group underwent sham-taVNS treatment. Then the score of Hamilton anxiety scale (HAMA) and Self-rating anxiety scale (SAS) were used to measure the anxiety level of the two groups before and after treatment. The worst, average and the most excellent results of long jump during competition were compared between the two groups. Results After taVNS treatment, the effective rate of the treatment group was higher than that of the control group ($P<0.05$). The HAMA and SAS in both groups were lower than before treatment, and the treatment group was lower than the control group ($P<0.05$). The lowest and average scores of the treatment group was higher than before treatment, and the treatment group was better than the control group ($P<0.05$). There was no significant difference of the most excellent long jump results between the two groups. Conclusions taVNS could significantly improve the pre-competition anxiety state of long jumpers who have pre-competition anxiety. Therefore, it can further improve their competitive state.

【Key words】 Transcutaneous auricular vagus nerve stimulation (taVNS); Pre-competition anxiety state; Competitive state; Efficacy; Athletes

赛前焦虑一直是影响运动员正常发挥竞技水平, 取得优秀比赛成绩的重要因素之一^[1]。随着现代体育竞争压力的增大, 赛前焦虑的发生率在精英运动员中一直保持快速增长^[2]。由于运动员职业的特殊性和对部分药物使用的禁忌, 当前治疗运动员赛前焦虑的方法, 主要依靠心理疏导与放松疗法为主^[3]。而心理疏导具有治疗周期长、急性发作期疗效差、焦虑状态易于反复以及患者退出率较高等

缺点^[3, 4]。因此运动医学领域对无创、副作用小、能长期使用的治疗运动员赛前焦虑的新方法一直有着较为急迫的需求^[4]。

研究表明赛前焦虑运动员常有自主神经系统活动的失衡^[5], 体内激素水平的异常^[6], 对各类刺激的过度敏感^[7], 这些均会影响运动员的竞技状态。而当前能够直接治疗上述体征的方法较少, 临床中也主要是根据患者的症状采取对症治疗, 或口服抗焦虑药物。兴起于 20 世纪 90 年代的迷走神经刺激疗法(vagus nerve stimulation, VNS)已被证明对焦虑、抑郁症患者具有治疗效果^[8], 目前已被美国食品药品监督管理局(food and drug administration, FDA)批准用于焦虑、抑郁症等慢性精神、情绪类疾病的治疗^[8]。研究表明, 迷走神经与运动员生理功

【基金项目】 国家自然科学基金资助项目(编号:82304984); 四川省人民医院基金-青年人才基金资助(编号:2022QN24); 四川省干部保健委员会普及应用项目资助(编号:川干研 2023-222); 四川省自然科学基金(编号:2023NSFSC1762)

【通讯作者】 吴 骁

能状态密切相关,VNS 可以直接调整人体植物神经的平衡,激活体内胆碱能神经元系统,降低大脑对各类压力和刺激的过度敏感,调整 HPA 轴及机体激素分泌水平的异常^[9]。神经影像研究也发现 VNS 能调节大脑情绪相关脑区,如杏仁核,脑岛,楔前叶,海马的活动^[10]。基于迷走神经刺激术(VNS)基础上发展而来的耳无创迷走神经刺激术(transcutaneous auricular vagus nerve stimulation, taVNS)不仅克服了 VNS 手术的缺点,还具有简单、安全、疗效好、无创、使用方便等优点^[8,9],临床中已被证明能取得与 VNS 相近的疗效,更易于被广大运动医学研究者与运动员所接受,有望成为治疗运动员赛前焦虑与抑郁的新方法^[11]。而当前也尚未有研究把 taVNS 应用于治疗运动员赛前焦虑。汉密尔顿焦虑量表(hamilton anxiety scale, HAMA)、焦虑自评量表(self-rating anxiety scale, SAS)是当前应用于评判个体焦虑程度最广泛的量表^[12],运动员比赛中的成绩可用于衡量运动员的竞技状态。本研究旨在对比观察 taVNS 对运动员赛前焦虑的和竞技状态的影响。

表 1 两组运动员一般资料比较

项目	n	吸烟史	喝酒史	咖啡史	饮茶史	年龄(岁)
治疗组	29	15(51.7)	18(62.1)	16(55.2)	6(20.7)	24.19±3.85
对照组	26	14(53.8)	15(57.7)	10(38.5)	8(30.8)	23.97±4.68
统计量		$\chi^2=0.025$	$\chi^2=0.109$	$\chi^2=1.536$	$\chi^2=0.734$	$t=-0.508$
P		0.875	0.741	0.215	0.392	0.612

1.2 方法 每名运动员均接受 4 周的 taVNS 或 sham-taVNS 治疗。根据 HAMA 与 SAS 评估患者治疗前后的焦虑状况,根据患者治疗前、后赛中的竞技成绩的最差值、均值与最优值评估患者 taVNS 治疗前后竞技水平的状态。所有治疗均由运动员在居所自行进行管理。所有临床量表均在未经 taVNS 治疗时和治疗 4 周后的赛后当天进行测量。患者的 HAMA 评分由经过专业培训的 2 位运动心理学老师共同进行评估,评估结果不一致时由一位副教授以上职称教育心理学专家决定。研究人员记录所有参与实验运动员在未接受 taVNS 治疗以及治疗后一次区县级比赛当天的 HAMA 与 SAS 评分,以及该场比赛完成跳远动作的最低与最优成绩,并计算该场比赛的平均成绩。要求患者每天完成患者日记小册子,以描述与治疗相对应或与治疗时间相关的任何副作用。研究人员每 3 天对参与运动员进行一次电话提醒和督促其进行治疗,并在 4 周治疗结束时检查了所有患者日记。治疗组与对照组研究中执行的所有程序相同。

1 资料与方法

1.1 一般资料 2022 年 3 月至 2023 年 1 月在成都体育学院 55 例达到跳远二级运动员标准的具有赛前焦虑的男运动员参与该研究,纳入标准:男性,18~45 岁,达到跳远二级运动员水平的业余或专业运动员;7 分 \leq 汉密尔顿焦虑评分 <29 分,50 分 \leq 焦虑自评量表表达得分 ≤ 69 分,近一个月无饮酒、咖啡、茶等对神经系统具有兴奋或抑制作用的药物;无神经系统疾病史;无神经系统手术史;无胆碱能神经系统药物禁忌症。排除标准:重度焦虑;最近 1 个月有使用或者兴奋神经系统药物使用病史;有神经系统疾病如癫痫、帕金森和颅脑部肿瘤等影响神经功能的历史;耳舟部迷走神经分布区域或耳甲部刺激部分皮肤有破损,不适宜进行耳迷走神经刺激的运动员;不能完成本研究者。通过单盲随机方法将运动员随机分为治疗组 29 例及对照组 26 例,两组一般资料比较见表 1。本研究通过成都体育学院附属体育医院伦理委员会的批准[伦理编号:成体附医伦审(2022)第 2 号]。

1.2.1 治疗组(真刺激)干预方式 刺激点^[13,14]: taVNS 的点位于耳廓耳夹区域,其中存在丰富的迷走神经分支分布(图 1)。使用方法与刺激参数:患者采取坐姿或仰卧位。在根据标准实践对刺激点进行消毒之后,将耳夹附接到耳夹刺激部位。刺激参数包括^[13]:①波形:疏密波;②波宽:200 ms;③频率:20 Hz,④刺激强度:患者根据自身的耐受性进行调整,一般要求 VAS 评分达到 3 分(10~15 mA)。每次治疗持续 30 分钟,每天中午与晚上睡前各进行 1 次,每周至少 5 天,持续时间持续 4 周。

1.2.2 对照组(假刺激)干预方式 刺激点:stVNS 的刺激点位于耳廓外耳舟部,该部位无迷走神经分布^[12](图 1)。使用方法与刺激参数同治疗组。

1.3 疗效评定标准 使用治疗前后的减分率进行疗效评估^[13,15]。减分率=(治疗前 HAMA-治疗后 HAMA)/治疗前 HAMA $\times 100\%$,HAMA 减分率 $>75\%$ 为临床痊愈,50% $<$ 减分率 $<75\%$ 为显效,25% \leq 减分率 $<50\%$ 为有效,减分率低于 25%为无效。

1.4 统计学方法 使用 SPSS 18.0 进行数据录入

及统计分析。正态分布连续型变量使用均数±标准差表示,组间比较采用 t 检验;使用构成比与率表示分类变量,组间比较采用卡方检验。 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

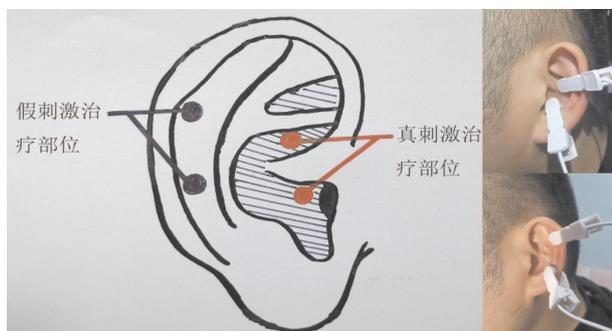


图1 VNS 治疗部位示意图 横线区域为耳迷走神经分布区域;红色为治疗组刺激部位,蓝色为对照组刺激部位

2 结果

2.1 两组疗效比较 经过 taVNS 治疗后,治疗组的有效率明显高于对照组,差异有统计学意义($\chi^2 = 10.451, P<0.05$)。见表 2。

2.2 两组治疗前后焦虑评分比较 经过 taVNS 治疗后,两组患者的 HAMA 量表评分, SAS 评分较治疗前降低($P<0.05$),对照组 HAMA 与 SAS 评分虽有一定程度改善($P<0.05$),但改善程度低于治疗组($P<0.05$)。见表 3、表 4。

表 2 两组疗效对比 [n(%)]

组别	例数	显效	有效	无效	总有效
治疗组	29	4(13.8)	22(75.9)	3(10.3)	26(89.7)
对照组	26	0(0)	13(50.0)	13(50.0)	13(50.0)

表 3 两组运动员治疗前后 HAMA 评分比较 (分)

组别	n	治疗前	治疗后	t	P
治疗组	29	17.59±3.31	10.76±2.42	15.094	<0.000
对照组	26	17.58±3.43	13.46±2.25	8.177	<0.000
t		0.010	-4.280		
P		0.992	0.000		

表 4 两组运动员治疗前后 SAS 评分比较 (分)

组别	n	治疗前	治疗后	t	P
治疗组	29	58.00±5.33	41.38±7.99	8.734	<0.000
对照组	26	58.08±4.45	50.73±7.00	-3.456	<0.001
t		-0.508	-0.237		
P		0.612	0.813		

2.3 两组治疗前后比赛成绩比较 治疗后,治疗组 taVNS 比赛中最低成绩与平均成绩较治疗前提高,对照组最低成绩高于治疗前($P<0.05$),但两组最高成绩比较,差异无统计学意义($P>0.05$)。见表 5。

表 5 两组治疗前后比赛最低、最高与平均成绩比较 (m)

组别	n	最低成绩		最高成绩		平均成绩	
		治疗前	治疗后	治疗前	治疗后	治疗前	治疗后
治疗组	29	6.53±0.12	6.65±0.08 [#]	7.00±0.08	7.00±0.08	6.84±0.12	6.91±0.07 [#]
对照组	26	6.48±0.18	6.53±0.18 [#]	7.00±0.08	7.01±0.07	6.83±0.11	6.82±0.07
t		1.249	-3.156	0.318	4.788	-0.063	-0.412
P		0.217	0.002	0.752	0.000	0.950	0.682

[#]与治疗前比较, $P<0.05$

3 讨论

本研究中,我们探讨了 taVNS 对男跳远运动员赛前焦虑的疗效,及其对比赛竞技水平发挥的影

响。我们的研究发现,与对照组和自身治疗状态相比,taVNS 治疗后患有赛前焦虑跳远运动员的 HAMA 与 SAS 得分较治疗前显著下降,这表明

taVNS 能显著改善有赛前焦虑运动员的焦虑症状与睡眠状况。同时 taVNS 能显著改善赛前焦虑运动员的比赛发挥水平,使跳远运动员比赛中的最低成绩、平均成绩较治疗前提升,表明 taVNS 可能成为治疗运动员赛前焦虑的方法之一。

既往研究已经发现迷走神经刺激对焦虑症状的疗效^[16],如:Noble 等发现迷走神经刺激能够促进大鼠恐惧与焦虑情绪的消退,可作为辅助方法增强大鼠对焦虑与恐惧刺激的适应能力^[17]。我们的研究也发现 taVNS 治疗 4 周后,赛前焦虑运动员的焦虑症状明显缓解,睡眠状况也得到显著改善。运动员赛前焦虑发生的病理生理机制较为复杂,研究表明:赛前焦虑运动员常有自主神经系统的紊乱、HPA 轴的过度兴奋^[2, 5]、大脑单胺能神经递质的分泌异常^[18]、情绪调节脑区杏仁核、脑岛及外侧前额叶皮层区域脑区的异常活动^[19]等症状。当前,已有部分学者对 taVNS 治疗焦虑症的机制进行了探索。在生理方面,Laborde 等发现 taVNS 能够调节自主神经系统与 HPA 轴的紊乱^[19, 20]。夏芷萱等发现迷走神经刺激能够调节大鼠焦虑症模型大脑情绪调节中枢杏仁核中 BLA 与 CeA 区域的活动,改善大鼠的焦虑症状^[21]。在生化方面 Manta 等发现长期迷走神经刺激可以改变大鼠单胺能神经元脑区神经递质的分布,使大鼠的焦虑抑郁症状改善,而单胺能神经元脑区已被证明与大脑神经元脑区的活动密切相关^[22]。在神经影像学方面,Fang 等也发现 taVNS 可能是通过影响大脑情绪中枢杏仁核的活动,进而影响大脑其他情绪相关脑区活动,进而对抑郁、焦虑症状发挥治疗作用^[23]。Badran 等发现 taVNS 能改变大脑情绪调节脑区杏仁核、脑岛、颞叶以及楔前叶等脑区的活动,而刺激耳舟部非迷走神经分布区域则无相关脑区活动的改变^[24]。在中国传统医学中,也常把耳朵比喻为一个倒置的婴儿,耳廓各部位与人体的脏腑投影相匹配^[25]。因心主神明,肝主调畅情志,精神、情绪类疾病主要归属于心、肝两脏的异常,而耳迷走神经分布的耳甲区域也主要对应耳穴中“心与肝”两穴,这与中医外治法治疗精神、情志类疾病的选穴相同^[25]。这些均从不同角度证明了 taVNS 对运动员赛前焦虑可能的治疗机制。

我们的研究发现:对照组患者经过假刺激治疗后焦虑症状也有一定程度的缓解。有研究表明对照组的外耳舟区域只为耳廓感觉神经分布区域,不会引起相应脑区活动与神经递质分泌的改变^[11],Bérdis 等研究也表明安慰剂效应也会在一定程度上改善运动员的心理状态,影响运动员竞技水平的正常发挥^[26]。因此可以推断,对照组运动员焦虑症状

的改善、比赛中竞技状态的改变可能与假刺激的安慰剂作用密切相关。

本研究中,taVNS 治疗后,赛前焦虑运动员比赛的最低成绩与平均成绩均有提高,这表明 taVNS 可能通过上述机制,使运动员竞技状态得到提升。因为有研究表明,迷走神经活动与运动员的心理状态密切相关,改变迷走神经活动有助于改变运动员的心理状态^[3]。Beidler 等也认为改变运动员的心理状态能够对运动员竞技水平的发挥产生中等程度的影响,且该影响对女性运动员最为明显^[3]。Guo 等也发现心理培训治疗能够显著增强运动员的功能力运动状态^[3]。这些研究均是 taVNS 通过调节改变迷走神经活动、缓解运动员焦虑情绪,进而改善运动员竞技状态的有力证据。

在刺激部位选择的研究方面,近年有部分研究者对 taVNS 最佳治疗区域进行了探索,如 Butt 等发现外耳道前方和上方受耳颞神经支配,下方受耳大神经支配,外耳道后方及耳甲部为迷走神经的固定分布区域,个体差异较小^[27]。Yakunina 等使用 fMRI 对比观察刺激内耳屏、耳道后壁、外耳甲、耳垂的激活脑区发现刺激外耳甲部更能激活迷走神经中枢蓝斑和孤束核。且该处皮肤薄,对外界刺激敏感,是体表迷走神经无创刺激的最佳区域^[11]。因此我们选择耳甲部为 taVNS 治疗组刺激部位,外耳舟部为对照组刺激部位。

本研究中,我们对比观察 taVNS 治疗前后,赛前焦虑状态跳远运动员的焦虑评分与运动成绩,证明了 taVNS 能改善该部分运动员的焦虑症状与竞技状态,同时我们设置对照组,排除了 taVNS 仅存在安慰剂效应的可能性。该研究也表明 taVNS 可能是作为治疗运动员赛前焦虑的新物理治疗方法。

本研究存在以下局限性:①由于实验时间的限制,样本量相对较小,且没有对参与者进行长期随访研究;②没有进行 taVNS 治疗运动员心理状态的具体生化、神经脑功能机制进行深入研究,这些均需要在以后的研究中进一步完善;③由于学校女运动员的参与度不高,而且考虑到女性运动员情绪可能受到月经周期(体内激素水平变化)的影响,因此本研究仅选择了男运动员参加。

【参考文献】

- [1] Guo L. Analysis and prediction of athlete's anxiety state based on artificial intelligence[J]. PeerJ Comput Sci, 2023,9:e1322.
- [2] Trpkovici M, Pálvölgyi Á, Makai A, et al. Athlete anxiety questionnaire: the development and validation of a new questionnaire for assessing the anxiety, concentration and self-confidence of athletes[J]. Front Psychol, 2023,14:1306188.

- [3] Beidler E, Eagle S, Wallace J, et al. Anxiety-related concussion perceptions of collegiate athletes [J]. *J Sci Med Sport*, 2021, 24(12):1224-1229.
- [4] Reardon CL, Factor RM. Sport psychiatry: a systematic review of diagnosis and medical treatment of mental illness in athletes [J]. *Sports Med*, 2010, 40(11):961-980.
- [5] Oliveira-Silva I, Silva VA, Cunha RM, et al. Autonomic changes induced by pre-competitive stress in cyclists in relation to physical fitness and anxiety [J]. *PLoS One*, 2018, 13(12):e209834.
- [6] Houison RJ, Lamont-Mills A, Kotiw M, et al. Feeling the stress: salivary cortisol responses of softball umpires during national championships [J]. *Sports (Basel)*, 2024, 12(5):128.
- [7] Vera J, Jiménez R, Redondo B, et al. Intraocular Pressure as an Indicator of the Level of Induced Anxiety in Basketball [J]. *Optom Vis Sci*, 2019, 96(3):164-171.
- [8] Wang L, Wang Y, Wang Y, et al. Transcutaneous auricular vagus nerve stimulators: a review of past, present, and future devices [J]. *Expert Rev Med Devices*, 2022, 19(1):43-61.
- [9] Wang Y, Li SY, Wang D, et al. Transcutaneous auricular vagus nerve stimulation: from concept to application [J]. *Neurosci Bull*, 2021, 37(6):853-862.
- [10] Austelle CW, O'Leary GH, Thompson S, et al. A comprehensive review of vagus nerve stimulation for depression [J]. *Neuromodulation*, 2022, 25(3):309-315.
- [11] Yakunina N, Kim SS, Nam EC. Optimization of Transcutaneous Vagus Nerve Stimulation Using Functional MRI [J]. *Neuromodulation*, 2017, 20(3):290-300.
- [12] 吴骁. 耳迷走神经刺激对原发性失眠症的疗效及脑功能调控机制研究 [D]. 广州中医药大学, 2020.
- [13] Wu X, Zhang Y, Luo WT, et al. Brain Functional Mechanisms Determining the Efficacy of Transcutaneous Auricular Vagus Nerve Stimulation in Primary Insomnia [J]. *Front Neurosci*, 2021, 15:609640.
- [14] 张帅, 何家恺, 赵斌, 等. 耳穴刺激迷走神经对失眠患者尾状核驱动的皮层过度觉醒的抑制作用 [J]. *中华中医药杂志*, 2022, 37(9):5451-5455.
- [15] Kwon CY, Lee B, Chung SY, et al. Oriental herbal medicine for insomnia in the elderly with hypertension: A systematic review protocol [J]. *Medicine (Baltimore)*, 2018, 97(36):e12200.
- [16] Srinivasan V, Abathasayam K, Suganthirababu P, et al. Effect of vagus nerve stimulation (taVNS) on anxiety and sleep disturbances among elderly health care workers in the post COVID-19 pandemic [J]. *Work*, 2024, 78(4):1149-1156.
- [17] Noble LJ, Meruva VB, Hays SA, et al. Vagus nerve stimulation promotes generalization of conditioned fear extinction and reduces anxiety in rats [J]. *Brain Stimul*, 2019, 12(1):9-18.
- [18] Liu Y, Zhao J, Guo W. Emotional Roles of Mono-Aminergic Neurotransmitters in Major Depressive Disorder and Anxiety Disorders [J]. *Front Psychol*, 2018, 9:2201.
- [19] Li S, Wang Y, Gao G, et al. Transcutaneous auricular vagus nerve stimulation at 20 hz improves depression-like behaviors and down-regulates the hyperactivity of HPA axis in chronic unpredictable mild stress model rats [J]. *Front Neurosci*, 2020, 14:680.
- [20] Laborde S, Hosang T, Mosley E, et al. Influence of a 30-day slow-paced breathing intervention compared to social media use on subjective sleep quality and cardiac vagal activity [J]. *J Clin Med*, 2019, 8(2):193.
- [21] 夏芷萱. 迷走神经刺激对大鼠焦虑样行为的作用及机制 [D]. 华中科技大学, 2018.
- [22] Manta S, El MM, Debonnel G, et al. Electrophysiological and neurochemical effects of long-term vagus nerve stimulation on the rat monoaminergic systems [J]. *Int J Neuropsychopharmacol*, 2013, 16(2):459-470.
- [23] Fang J, Rong P, Hong Y, et al. Transcutaneous Vagus Nerve Stimulation Modulates Default Mode Network in Major Depressive Disorder [J]. *Biol Psychiatry*, 2016, 79(4):266-273.
- [24] Badran BW, Dowdle LT, Mithoefer OJ, et al. Neurophysiologic effects of transcutaneous auricular vagus nerve stimulation (taVNS) via electrical stimulation of the tragus: A concurrent taVNS/fMRI study and review [J]. *Brain Stimul*, 2018, 11(3):492-500.
- [25] 石学敏. 针灸学 [M]. 北京: 中国中医药出版社, 2006.
- [26] Bérdis M, Köteles F, Hevesi K, et al. Elite athletes' attitudes towards the use of placebo-induced performance enhancement in sports [J]. *Eur J Sport Sci*, 2015, 15(4):315-321.
- [27] Butt MF, Albusoda A, Farmer AD, et al. The anatomical basis for transcutaneous auricular vagus nerve stimulation [J]. *J Anat*, 2020, 236(4):588-611.

(收稿日期:2024-03-11;修回日期:2024-05-16)

(本文编辑:侯晓林)