

## 针灸疗效、机制与转化研究专栏

DOI: 10.16305/j.1007-1334.2026.z20250710005

## 经皮电刺激的分类争议与发展展望

陈婷婷<sup>1,2</sup>, 陈艳焦<sup>1</sup>, 徐玉东<sup>1</sup>, 杨永清<sup>1,2</sup>, 王宇<sup>1,2</sup>

1. 上海市针灸经络研究所(上海 200030); 2. 上海中医药大学(上海 201203)

**【摘要】** 经皮电刺激技术因其非侵入性和可调节性,已成为疼痛管理、神经康复及功能调控领域的重要工具。然而,其子类经皮穴位电刺激与经皮神经电刺激的分类界限长期存在争议。这种分类的模糊不清不仅在临床实践中造成混淆,还阻碍了标准化治疗方案的制定,最终限制了经皮电刺激技术在临床上的广泛应用和深入发展。深入探讨经皮穴位电刺激与经皮神经电刺激在理论基础、技术参数、作用机制及临床应用中的异同,揭示当前分类体系的矛盾点,并提出整合框架,以期经皮电刺激技术的规范化与精准化发展提供依据。

**【关键词】** 经皮电刺激;经皮穴位电刺激;经皮神经电刺激;分类争议;整合路径;临床应用

**Classification controversies and development prospects for transcutaneous electrical stimulation**CHEN Tingting<sup>1,2</sup>, CHEN Yanjiao<sup>1</sup>, XU Yudong<sup>1</sup>, YANG Yongqing<sup>1,2</sup>, WANG Yu<sup>1,2</sup>

1. Shanghai Research Institute of Acupuncture and Meridian, Shanghai 200030, China; 2. Shanghai University of Traditional Chinese Medicine, Shanghai 201203, China

**Abstract:** Transcutaneous electrical stimulation (TES) technology has become a pivotal tool in pain management, neurological rehabilitation, and functional regulation, attributed to its non-invasiveness and tunability. However, a long-standing controversy persists regarding the classification boundary between its two major subtypes: transcutaneous electrical acupoint stimulation (TEAS) and transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS). This ambiguous classification not only causes confusion in clinical practice, but also hinders the formulation of standardized treatment protocols, ultimately restricting the extensive clinical application and in-depth advancement of TES technology. This paper thoroughly explores the similarities and differences between TEAS and TENS in terms of theoretical foundations, technical parameters, mechanisms of action, and clinical applications, identifies the contradictions in the current classification system, and proposes an integrated framework. The aim is to provide evidence for the standardized and precise development of TES technology.

**Keywords:** transcutaneous electrical stimulation; transcutaneous electrical acupoint stimulation; transcutaneous electrical nerve stimulation; classification controversy; integration approach; clinical application

随着现代医学技术的不断发展,经皮电刺激(transcutaneous electrical stimulation, TES)作为一种非侵入性的神经调节技术,因其独特的优势在疼痛管理、神经康复及功能调控等领域得到了广泛应

用。TES通过置于皮肤表面的电极传递电脉冲,刺激神经或肌肉组织,从而达到缓解疼痛、促进神经功能恢复及调节生理功能等目的。然而,在TES技术的众多子类中,经皮穴位电刺激(transcutaneous electrical acupoint stimulation, TEAS)与经皮神经电刺激(transcutaneous electrical nerve stimulation, TENS)的分类界限长期存在争议<sup>[1]</sup>。这种分类的模糊不清不仅在临床实践中造成了混淆,阻碍了标准化治疗方案的制定,更限制了TES技术在临床上的广泛应用和深入发展。因此,深入探讨TEAS与

[基金项目] 国家自然科学基金项目(82374583);国家中医药管理局河南邵氏针灸流派传承工作室项目(国中医药人教函[2019]62号)

[作者简介] 陈婷婷,女,硕士研究生,主要从事针灸机制研究工作

[通信作者] 王宇,副研究员;E-mail: wyshcn@shutcm.edu.cn

TENS在理论基础、技术参数、作用机制及临床应用中的异同,揭示当前分类体系的矛盾点,并提出有效的整合框架,对于推动TES技术的规范化与精准化发展具有极为重要的意义。本文将围绕这一主题展开详细探讨,以期在TES技术在未来的临床应用和研究中提供更为清晰的指导和方向。

## 1 理论体系的异质性和同源性

TES是一种非侵入性的神经调节技术,通过皮肤表面的电极传递电脉冲,刺激神经或肌肉组织,以实现缓解疼痛、促进神经功能恢复及调节生理功能等目的<sup>[2-3]</sup>。TES技术涵盖多种子类,包括TENS(主要针对外周感觉神经缓解疼痛)、TEAS(基于中医穴位理论调节机体功能)、颅外电刺激(transcranial electrical stimulation, tES)、经皮脊髓电刺激(transcutaneous spinal cord stimulation, tSCS)以及神经肌肉电刺激(neuromuscular electrical stimulation, NMES)<sup>[4-7]</sup>。但其中TEAS与TENS的分类界限长期存在争议<sup>[1,8-9]</sup>。

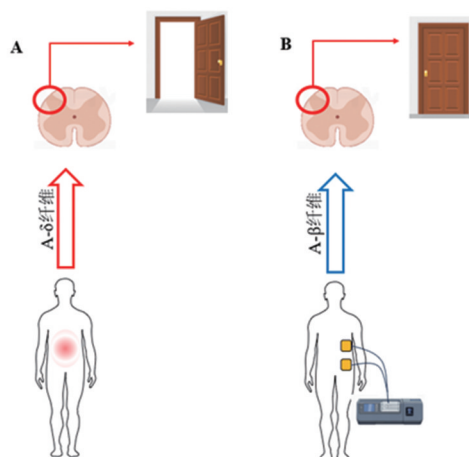
### 1.1 理论体系的异质性

1.1.1 TEAS 作为传统医学的现代延伸,TEAS的理论根基源于中医经络学说<sup>[10]</sup>,经络是人体内气运行的通道,连接着人体的各个部分,穴位则分布在这些经络上,是针灸刺激的关键点。气血是维持生命活动的基本物质,气代表人体的活力和功能,血则是营养物质的载体。在健康状态下,气血在经络中和谐流动;当气血失衡或受阻时,就会导致疾病。针灸通过刺激特定的穴位来调节气血的流动,从而达到治疗疾病的目的<sup>[11]</sup>。《黄帝内经》提出的“针刺得气”概念被拓展为电刺激的生物等效性及其治疗靶点。有研究<sup>[12-13]</sup>尝试用神经生物学解释TEAS效应,发现部分穴位与神经干或神经末梢密集区存在解剖学重叠(如足三里穴与迷走神经分布区);进一步研究<sup>[14-15]</sup>发现,TEAS可以改善脑部血液循环,影响大脑神经功能活动,促进神经修复,提高肌肉运动能力,调控全身性炎症反应,但传统理论仍主导其临床应用。

1.1.2 TENS 随着医学的不断进步,TENS以现代神经生理学为基础,其核心理论包括如下内容。

(1)门控理论。门控理论认为,脊髓背角内的胶质细胞(SG细胞)存在一种“闸门”机制,通过调节传入神经纤维的信号强度来影响疼痛感知。伤害性刺激激活小直径A- $\delta$ 纤维(见图1A),打开“闸门”,将疼痛信号传递至大脑<sup>[16]</sup>;而TENS产生的触

摸、压力和电流等非伤害性刺激,则激活大直径A- $\beta$ 纤维(见图1B),关闭“闸门”,阻断疼痛信号传递,从而产生镇痛效果<sup>[17]</sup>。有研究<sup>[18]</sup>进一步证实,高频TENS可激活A- $\beta$ 纤维,提高胶质细胞的抑制效果,阻止疼痛信息传导。见图1。



注:A为伤害性刺激打开“闸门”机制,B为非伤害性刺激关闭“闸门”机制。A- $\delta$ 纤维主要负责传递快速但较为粗糙的疼痛信号,例如刺痛感或烧灼感;A- $\beta$ 纤维主要负责传递触觉和本体感觉(对身体位置和运动的感知)。

图1 门控理论示意图

(2)神经可塑性调控。研究<sup>[19]</sup>发现,对周围血管施加电刺激能够通过上行传导通路激活皮质和脊髓神经的可塑性机制,促进神经网络的结构重塑和功能修复;这意味着TENS不仅能产生即时镇痛效果,还能通过神经可塑性调控,对神经系统功能进行长期的调节,为神经康复和治疗神经系统疾病提供潜在的治疗途径。例如,神经肌肉电刺激是一种通过电生理手段直接激活外周神经(而非直接刺激肌肉)的先进技术。外周神经系统包含运动轴突和感觉轴突,它们在脊髓与肌肉之间的信息交流中发挥着关键作用<sup>[20]</sup>。在临床上,许多外伤性脊髓损伤患者会出现上运动神经元损伤的情况。当发生完全性上运动神经元损伤时,大脑运动皮质向肌肉传递自主信号的通路会被阻断,导致患者无法通过自主意识控制肌肉运动;然而,下运动神经元及其相关轴突通常会保留下来,这使得脊髓与肌肉之间仍能保持一定的外周通信能力,为后续的康复治疗等措施提供了重要的生理基础<sup>[21]</sup>。

(3)神经肌肉再教育。神经肌肉再教育通过放置在皮肤上的电极向肌肉纤维提供间歇性电脉冲,这些冲动诱发动作电位,刺激运动神经,从而产生收缩,达到促进神经肌肉功能恢复的目的<sup>[22]</sup>。该方

式对特定肌肉或神经进行重复的电刺激,旨在改善神经肌肉的控制、力量和协调性,最终实现功能重建。与传统穴位体系不同,神经肌肉再教育的电极放置策略严格遵循神经解剖学路径,以疼痛区域或神经支配区为依据,通过精准地激活目标肌肉或神经,促进神经肌肉系统的重新学习和适应。例如,在髌骨关节疼痛时采用模式化电刺激(PENS)、双相不对称方波模式,脉冲频率为 50 Hz,通过两个通道交替递送模式,模拟健康人功能活动时的肌肉收缩模式,通过这一方式,电刺激组在侧向降压期间膝关节屈曲和髌关节外展得到改善<sup>[23]</sup>。

## 1.2 理论体系的同源性:经络-神经通路同源

### 1.2.1 解剖重合

张锡钧提出了著名的“经络-皮质-内脏”相关假说,强调大脑皮质的参与是经络活动的基础,这一假说认为在大脑皮质的调控下,条件反射构成了经络活动的核心机制<sup>[24]</sup>。解剖学研究<sup>[24]</sup>进一步证实了经络与神经通路的解剖学重合:手太阴肺经、手厥阴心包经等主要经络的循行线与正中神经、尺神经及伴行的交感神经干的走向有着超过 70% 的重叠率;此外,十二经脉的循行路径与同位置外周神经的走向几乎一致,例如胸腹部的任脉、肾经与肋间神经、腰神经节段相对应,膀胱经的侧线则与交感神经在体表的投影相吻合;特定穴位位于膝下,通过神经节段的联系实现对全身的调控,这表明经络现象的本质可能与神经节段性传导密切相关。通过对世界卫生组织(WHO)标准化规定的 361 个经穴进行解剖统计分析后显示,有 56.8% 的穴位紧邻神经主干,而近 100% 的穴位位于神经干 0.5 cm 的范围内<sup>[25]</sup>,这些发现进一步支持了经络与神经系统在解剖和功能上的紧密联系。

### 1.2.2 功能互补

针刺光明穴可诱发双侧枕叶视皮质兴奋,而针刺足三里、伏兔穴能激活下丘脑、海马回、额回等脑区,这与中医典籍中关于光明穴用于治疗视觉障碍、足三里可调节胃肠功能的记载相一致,提示穴位、经络与大脑皮质之间可能存在特定联系<sup>[26]</sup>。TENS 主要通过皮肤电极将特定的脉冲电流输入人体,作用于神经末梢,激活或抑制相应神经纤维,从而产生治疗效果<sup>[27]</sup>。此外,通过对循经血流图及脑血流图的观察,有研究<sup>[27]</sup>提出经络现象可能是由外周神经与中枢神经共同作用的结果,这一观点进一步证实经络与神经系统在功能上的联系。相关研究<sup>[28]</sup>还发现,穴位通常位于神经末梢密集区域,这表明经络可能与神经系统功能存在关

联。这种生物电学特性上的相似性,为 TENS 与 TEAS 的功能互补性提供了科学依据。同时,有研究<sup>[29]</sup>显示 TEAS 治疗效果优于 TENS,这提示联合应用针灸治疗可以提高电刺激疗效。

## 2 作用机制的争议与趋同

### 2.1 特异性通路 与 共享通路

TEAS 的独特性假说:研究<sup>[30]</sup>显示,TEAS 可激活穴位特异性脑区,包括丘脑-感觉运动皮质回路、扣带皮质回路和突显网络,这些网络共同承担镇痛、舒缓情绪和转移疼痛注意力的任务。TEAS 通过调节  $\beta$ -内啡肽、5-羟色胺等神经递质的释放发挥作用,其效果可能取决于穴位选择的准确性<sup>[31]</sup>。

TEAS 的普遍性机制:TENS 的镇痛效应被认为主要依赖阿片通路(低频)或脊髓抑制(高频),与刺激部位关联较弱。研究<sup>[32]</sup>表明,在低频和高频干预时,TENS 能够分别诱导来自不同阿片肽系统的肽类物质释放,即低频 TENS 可能通过内源性阿片系统起作用,而高频 TENS 可能通过非阿片系统或与  $\mu$ -阿片受体相关的机制产生效果。

趋同证据:TEAS 与 TENS 均可通过激活内源性镇痛系统及调节自主神经功能(如心率变异性)发挥作用,提示部分机制重叠。

### 2.2 神经可塑性的共同靶点

研究<sup>[33]</sup>提示,TEAS 与 TENS 均通过上调脑源性神经营养因子及突触可塑性蛋白促进神经功能恢复。同时,两者均以低频( $<10$  Hz)与高频( $>50$  Hz)模式发挥镇痛及神经保护作用。机制上,两者均可抑制 Toll 样受体 4(TLR4)/髓样细胞分化蛋白 88(MyD88)/核因子  $\kappa$ B(NF- $\kappa$ B) 级联,降低促炎性细胞因子水平,从而保护缺血半影区神经元并增强轴突可塑性<sup>[34-35]</sup>。此外,神经电生理研究<sup>[36]</sup>进一步表明,2.5 Hz TEAS 显著增强海马旁回  $\theta$  振荡,而 10 Hz TEAS 则下调顶下小叶  $\alpha$  功率;同等频率的 TENS 亦可诱发  $\theta$  或  $\alpha$  节律的同步化/去同步化,提示 TEAS 与 TENS 可能通过调控相同神经网络振荡模式介导突触可塑性及记忆整合。

## 3 技术参数与干预模式的交叉与分化

### 3.1 刺激参数的共同区间

除了关注疼痛缓解效果外,TEAS 技术参数的选择还需考虑穴位特性。研究<sup>[33,37]</sup>表明,不同穴位对不同频率的电刺激可能具有不同反应。此外,TEAS 常采用疏密波、断续波等特殊波形,以模拟针刺的“得气感”<sup>[38]</sup>。研究<sup>[39-42]</sup>发现,2 Hz 的低频穴位电刺激可以上调  $\beta$ -内啡肽、

脑啡肽及伤害感受蛋白的表达水平,这些物质分别与 $\mu$ -阿片受体、 $\delta$ -阿片受体和氧化低密度脂蛋白受体-1(OLR-1)相互影响而发挥作用;而 100 Hz 的高

频穴位电刺激主要促使强啡肽 A 表达增加,而强啡肽 A 主要与 $\kappa$ -阿片受体相互作用。见表 1。

表 1 TEAS 与 TENS 刺激参数共同区间

参数	TEAS	TENS	重叠区间
刺激频率	2 ~ 100 Hz <sup>[41]</sup>	1 ~ 150 Hz <sup>[40]</sup>	50 ~ 100 Hz
波形选择	疏密波、断续波 <sup>[41]</sup>	方波、双相波 <sup>[40]</sup>	—
电极位置	穴位点(解剖学+经络定位) <sup>[42]</sup>	神经干或疼痛区域 <sup>[43-44]</sup>	某些穴位与神经分布重叠区域

注:“—”表示无。TEAS 为经皮穴位电刺激, TENS 为经皮神经电刺激。争议点: 尽管参数范围部分重叠, 但 TEAS 更倾向于低频(2 Hz)与高频(100 Hz)交替的疏密波模式, 以模拟针刺手法; 而 TENS 常固定频率(如 50 Hz 或 100 Hz), 以持续抑制疼痛。

3.2 电极放置策略 TEAS 的电极放置主要遵循中医经络理论的选穴原则, 选择特定穴位并常采用对置或邻近穴位组合, 通过调节经络气血实现整体调节。例如, 研究<sup>[47]</sup>表明使用 TEAS 治疗腰痛时, 可以遵循“穴位所在, 主治所及”的局部选穴原则, 选取腰痛主要发生部位附近的肾俞、大肠俞等穴位, 结果发现研究组患者治疗的总有效率显著高于对照组; 头痛时选取合谷、太冲等远离病变部位的穴位,

则是根据远端取穴原则。而 TENS 则依据神经解剖学和疼痛机制, 主要将电极放置于疼痛区域、神经根或周围神经走行区<sup>[48]</sup>。例如, 在治疗脊髓损伤后下肢痉挛时使用 TENS 放置在下肢进行刺激<sup>[49]</sup>, 以实现疼痛的局部干预<sup>[50]</sup>; 有时也可能将电极置于穴位, 但目的是刺激该区域丰富的神经而非遵循中医理论。简而言之, TEAS 以穴位为中心, TENS 以神经为中心。见表 2。

表 2 TEAS 与 TENS 电极放置策略

特征	TEAS	TENS
电极放置区域	特定穴位, 常用穴位组合	疼痛区域, 神经根, 周围神经走行区(有时可能位于穴位)
电极放置依据	中医经络理论, 辨证论治	神经解剖学, 疼痛机制
主要目的	调节经络气血, 整体调节	缓解疼痛, 局部干预

注: TEAS 为经皮穴位电刺激, TENS 为经皮神经电刺激。

TEAS 严格遵循穴位定位, 多采用双电极对置或邻近穴位组合, 其足以激发 A- $\beta$  纤维的强电流可以诱导镇痛作用。TEAS 信号主要通过脊髓腹外侧索上升至大脑, 许多组成复杂网络的脑核参与 TEAS 镇痛的处理, 包括中缝核(NRM)、导水管周围灰质(PAG)、蓝斑、弓状核(Arc)、视前区、中部核、半脑核、伏隔核、尾状核、间隔区、杏仁核等<sup>[48]</sup>。研究<sup>[51]</sup>表明, TEAS 能够改善脑代谢, 增加脑血流量, 具有修复海马受损结构及保护神经的作用, 从而减少神经元细胞的凋亡和神经元损伤。

TENS 覆盖疼痛区域、神经根或周围神经走行区, 电极排布更灵活。研究<sup>[52]</sup>表明, 将 TENS 应用于对侧肢体可减少发炎肢体的痛觉过敏; 此外, 当单侧损伤后双侧出现痛觉过敏时, 对发炎侧或对侧应用高频或低频 TENS 可减轻双侧痛觉过敏。TENS 可在分娩活跃期使用, 选取两种不同的参数(100 Hz 频率、100  $\mu$ s 脉宽的恒定频率, 以及 80 ~ 100 Hz 频率、350  $\mu$ s 脉宽的变频), 均能够显著缓解分娩疼痛<sup>[53]</sup>。

#### 4 临床应用的交叉与困境

4.1 临床应用的区别与交叉 TEAS 作为一种结合了传统中医穴位理论和现代电刺激技术的疗法, 在治疗肠易激综合征、术后恶心呕吐、中风等功能性紊乱疾病中展现出显著的疗效<sup>[54-56]</sup>。这些疾病通常涉及内脏感觉异常、胃肠动力紊乱、自主神经功能失调等复杂病理生理机制, 而 TEAS 恰好可以通过调节经络气血、平衡阴阳、调和脏腑功能等途径, 对这些机制产生积极影响。尤其值得强调的是, TEAS 的应用需要遵循中医辨证选穴原则, 根据患者的具体症状、体征和体质特点, 选择合适的穴位进行刺激, 以达到最佳的治疗效果。TENS 为一种临床应用广泛的非药物镇痛方法, 在治疗肌肉骨骼疼痛(如腰痛、关节炎)和神经病理性疼痛(如糖尿病周围神经病变、带状疱疹后神经痛)等多种慢性疼痛疾病中具有显著的疗效。TENS 通过激活外周神经、调节脊髓背角“闸门”、促进内源性镇痛物质释放等途径, 缓解疼痛症状。与 TEAS 强调辨证选穴

不同, TENS 的应用更注重疼痛部位的定位和神经走行, 通过将电极放置在疼痛区域、神经根或周围神经走行区, 直接刺激相关神经结构, 发挥镇痛作用<sup>[57]</sup>。

然而, 临床中存在“混合模式”, 如将 TENS 电极置于穴位区[即“穴位经皮神经电刺激”(Acu-TENS)这一混合模式], 或以 TEAS 结合神经节段定位, 进一步模糊两者的分类边界。然而, 混合模式电极放置的目的并非基于中医经络理论进行整体调节, 而是将穴位视为神经密集的解剖位点, 以提高对特定神经通路的刺激效率, 从而实现更精准的局部或节段性干预<sup>[58]</sup>。

**4.2 术语混乱及其标准化需求** 尽管 TEAS 和 Acu-TENS 都涉及电刺激穴位, 旨在缓解疼痛或其他症状, 但在概念和应用上, 两者存在一些差别。研究者<sup>[57]</sup>认为, Acu-TENS 更倾向于将穴位作为电刺激的靶点, 侧重于基于现代神经生理学机制的局部效应, 例如激活特定的神经通路来缓解疼痛; 而 TEAS 则更强调基于中医经络理论的整体调节作用, 旨在通过刺激穴位来平衡全身的气血和阴阳。然而, 在实际应用中, 由于缺乏明确的区分标准, 研究者常将这两个术语混用, 导致概念模糊。更进一步, 许多研究在描述使用低频率(通常低于 10 Hz)电刺激穴位以达到镇痛效果时, 即使采用的是典型的 TENS 设备和参数, 也倾向于使用 TEAS 这一术语<sup>[59]</sup>。这种做法进一步模糊了 TEAS 和 TENS 之间的界限, 因为 TENS 本身也可以通过调整频率和电极位置来影响不同的神经生理机制, 而不仅仅局限于高频刺激<sup>[60]</sup>。

尽管 TES 在临床和科研中应用广泛, 但关于非侵入性神经调节技术的术语标准化工作仍然不足。即使在一些相关的指南和综述中, 也未能对 TEAS 和 Acu-TENS 给出清晰且具有区分度的定义<sup>[61]</sup>。这种术语的模糊性不仅影响了研究结果的解读和比较, 也阻碍了临床实践的规范化, 不利于该领域的进一步发展。

## 5 未来研究方向

当前 TEAS 与 TENS 在理论基础、临床应用和神经生理机制等方面仍存在诸多争议。为了更好地理解和应用这两种技术, 未来的研究方向应着重于以下几个方面。

**5.1 对精确控制的 TEAS 与 TENS 进行直接比较研究** 当前研究中, TEAS 与 TENS 的参数设置缺乏统

一标准, 导致研究结果难以比较。临床应当开展严格控制参数一致性的直接比较研究<sup>[62]</sup>, 尤其是在电极放置位置、刺激频率、脉宽、强度和治疗时间等方面, 确保两组研究的唯一变量是穴位刺激与非穴位刺激; 可以进行双盲、随机对照试验的设计, 比较 TEAS 和 TENS 在治疗慢性疼痛(如骨关节炎、神经病理性疼痛)中的疗效, 并采用标准化的疼痛评估工具评价疗效; 探索不同穴位组合对 TEAS 疗效的影响, 并与非穴位 TENS 进行比较。

**5.2 建立跨学科 TEAS/TENS 术语标准和分类阈值** 当前 TEAS 和 TENS 的术语定义和分类标准不明确, 导致研究结果难以比较和转化, 建议可联合针灸学家、神经科学家、生物医学工程师、临床医生等, 建立跨学科的 TEAS/TENS 术语标准和分类阈值; 进一步明确 TEAS 和 TENS 的定义, 并区分 Acu-TENS、电针等相关概念; 制定 TEAS 和 TENS 的参数设置规范, 包括电极放置位置、刺激频率、脉宽等, 从而推动国际电刺激术语库的建立和完善。

**5.3 探索 TEAS/TENS 的个体化治疗方案** 不同个体对 TEAS/TENS 的反应存在差异, 目前的治疗方案缺乏个体化考虑。建议基于基因组学、神经生理学、心理学等多维度数据优化临床个体化治疗方案。

## 6 小结

TEAS 与 TENS 的分类争议本质是传统中医学与现代生物学范式的碰撞。两者在理论框架与干预策略上存在显著差异, 但在作用机制与临床效应中呈现深度交叉。推动其分类体系的标准化研究, 需要在科学普适性的基础上, 考虑文化特异性, 以促进精准医疗与跨学科融合。

## 参考文献:

- [ 1 ] SZMIT M, KRAJEWSKI R, RUDNICKI J, et al. Application and efficacy of transcutaneous electrical acupoint stimulation (TEAS) in clinical practice: A systematic review[J]. *Adv Clin Exp Med*, 2023, 32(9): 1063-1074.
- [ 2 ] YANG J D, LIAO C D, HUANG S W, et al. Effectiveness of electrical stimulation therapy in improving arm function after stroke: a systematic review and a meta-analysis of randomized controlled trials[J]. *Clin Rehabil*, 2019, 33(8): 1286-1297.
- [ 3 ] SONG G, TRUJILLO S, FU Y, et al. Transcutaneous electrical stimulation for gastrointestinal motility disorders[J]. *Neurogastroenterol Motil*, 2023, 35(11): e14618.
- [ 4 ] CHEN S, GAO J, ZHOU Y, et al. Implications of neuromuscular electrical stimulation on gait ability, balance and kinematic

- parameters after stroke: a systematic review and meta-analysis [J]. *J Neuroeng Rehabil*, 2024, 21(1): 164.
- [ 5 ] BLAISE S, SINNIGER V, SEINTURIER C. Literature review of transcutaneous electrical nerve stimulation in peripheral arterial occlusive disease of the lower limbs [J]. *J Med Vasc*, 2023, 48(3-4): 116-123.
- [ 6 ] WAN X, ZHANG Y, LI Y, et al. An update on noninvasive neuromodulation in the treatment of patients with prolonged disorders of consciousness [J]. *CNS Neurosci Ther*, 2024, 30(5): e14757.
- [ 7 ] FAVA DE LIMA F, SILVA C R, KOHN A F. Transcutaneous spinal direct current stimulation (tsDCS) does not affect postural sway of young and healthy subjects during quiet upright standing [J]. *PLoS One*, 2022, 17(4): e0267718.
- [ 8 ] LIN C H, WANG M H, CHUNG H Y, et al. Effects of acupuncture like transcutaneous electrical nerve stimulation on children with asthma [J]. *Asthma*, 2010, 47(10): 1116-1122.
- [ 9 ] LÉONARD G, CLOUTIER C, MARCHAND S. Reduced analgesic effect of acupuncture like TENS but not conventional TENS in opioid-treated patients [J]. *J Pain*, 2011, 12(2): 213-221.
- [10] 于波, 王晶, 刘春, 等. 基于加速康复外科理念经皮穴位电刺激在围手术期应用进展 [J]. *辽宁中医药大学学报*, 2023, 25(5): 131-136.
- [11] 李凯旋, 尹亚娜, 彭婷, 等. 基于气血津液理论探讨乳腺增生的针灸治疗 [J]. *新中医*, 2025, 57(13): 103-107.
- [12] LIU S, WANG Z, SU Y, et al. A neuroanatomical basis for electroacupuncture to drive the vagal-adrenal axis [J]. *Nature*, 2021, 598(7882): 641-645.
- [13] 周鹏, 宋雨桐, 张阔, 等. 经皮穴位电刺激对大脑神经功能活动影响研究进展 [J]. *航天医学与医学工程*, 2019, 32(5): 463-470.
- [14] WANG Y, SHI G X, TIAN Z X, et al. Transcutaneous electrical acupoint stimulation for high-normal blood pressure: study protocol for a randomized controlled pilot trial [J]. *Trials*, 2021, 22(1): 140.
- [15] ROPERO PELÁEZ F J, TANIGUCHI S. The gate theory of pain revisited: Modeling different pain conditions with a parsimonious neurocomputational model [J]. *Neural Plast*, 2016, 2016: 4131395.
- [16] MELZACK R, WALL P D. Pain mechanisms: a new theory [J]. *Science*, 1965, 150(3699): 971-979.
- [17] FERNANDES E C, PECHINCHA C, LUZ L L, et al. Primary afferent-driven presynaptic inhibition of C-fiber inputs to spinal lamina I neurons [J]. *Prog Neurobiol*, 2020, 188: 101786.
- [18] PATEL P, GREEN M, TRAM J, et al. Latest advancements in transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) and electronic muscle stimulation (EMS): Revisiting an established therapy with new possibilities [J]. *J Pain Res*, 2025, 18: 137-153.
- [19] KARAMIAN B A, SIEGEL N, NOURIE B, et al. The role of electrical stimulation for rehabilitation and regeneration after spinal cord injury [J]. *J Orthop Traumatol*, 2022, 23(1): 2.
- [20] WANG C H, JIA J, XUE Y, et al. Clinical Practice Guidelines of Integrated Chinese and Western Medicine Rehabilitation for Spinal Cord Injury [J]. *Rehab Med*, 2024, 34(4): 323-335.
- [21] ABDELHAMED A I, MORTADA H, HENDAWY A, et al. The effectiveness of neuromuscular electrical stimulation on pain, function, and quadriceps muscle strength in adults with patellofemoral pain: A systematic review and meta-analysis [J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2025, 26(1): 770.
- [22] MOSKIEWICZ D, SARZYŃSKA DŁUGOSZ I. Modern technologies supporting motor rehabilitation after stroke: A narrative review [J]. *Clin Med*, 2025, 14(22): 8035.
- [23] GLAVIANO N R, MARSHALL A N, MANGUM L C, et al. Improvements in lower-extremity function following a rehabilitation program with patterned electrical neuromuscular stimulation in females with patellofemoral pain: A randomized controlled trial [J]. *Sport Rehabil*, 2020, 29(8): 1075-1085.
- [24] 李忠仁. 实验针灸学 [M]. 北京: 中国中医药出版社, 2003: 78.
- [25] 陈秋生. 中医经络实质研究的新进展 [J]. *针刺研究*, 2021, 46(6): 533-540.
- [26] 田丽芳, 周诚, 陈敏, 等. 用功能磁共振成像探讨经穴和大脑皮层的关系 [J]. *针刺研究*, 2006, 31(2): 113-115.
- [27] 左杨洁, 史宇兵. 经络的生理学基础和物理特性相关研究进展 [J]. *中医学*, 2022, 11(4): 641-647.
- [28] HUANG H, YUE X, 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.
- [29] FANG Y, LI J, LIU S, et al. Optimization of electrical stimulation for the treatment of lower limb dysfunction after stroke: A systematic review and Bayesian network meta-analysis of randomized controlled trials [J]. *PLoS One*, 2023, 18(5): e0285523.
- [30] 冯思同, 郑思思, 姚昊, 等. 针刺神门穴对急性睡眠剥夺后注意相关脑网络影响的 fMRI 研究 [J]. *中国中西医结合影像学杂志*, 2025, 23(1): 19-23.
- [31] WANG Y, MA X, QIAO Z, et al.  $\beta$ -endorphin mediates electroacupuncture-induced remyelination via neural stem cell lineage modulation in experimental autoimmune encephalomyelitis [J]. *CNS Neurosci Ther*, 2025, 31(11): e70658.
- [32] YU X, ZHANG F, CHEN B, et al. Effect of transcutaneous electrical acupuncture point stimulation at different frequencies in a rat model of neuropathic pain [J]. *Acupunct Med*, 2017, 35(2): 142-147.
- [33] 钟晓玲, 童伯瑛, 杨一涵, 等. 经皮穴位电刺激对慢性疲劳综合征大鼠学习记忆能力的影响及其机制探讨 [J]. *针刺研究*, 2023, 48(4): 317-324.
- [34] WU L, TAN Z, SU L, et al. Transcutaneous electrical acupoint stimulation alleviates cerebral ischemic injury through the TLR4/MyD88/NF- $\kappa$ B pathway [J]. *Front Cell Neurosci*, 2024, 17: 1343842.

- [35] LI Y, LI Y J, ZHU Z Q. To re-examine the intersection of microglial activation and neuroinflammation in neurodegenerative diseases from the perspective of pyroptosis [J]. *Front Aging Neurosci*, 2023, 15: 1284214.
- [36] LOPES ALVES R, ZORTEA M, MAYOR D, et al. Effect of different frequencies of transcutaneous electrical acupoint stimulation (TEAS) on EEG source localization in healthy volunteers: A semi-randomized, placebo-controlled, crossover study [J]. *Brain Sci*, 2025, 15(3): 270.
- [37] JIN Y, YU X, HU S, et al. Efficacy of electroacupuncture combined with intravenous patient-controlled analgesia after cesarean delivery: a randomized clinical trial [J]. *Am J Obstet Gynecol MFM*, 2023, 5(2): 100826.
- [38] 蔡永刚, 任化梅, 李玮琦, 等. 生物电信号在针刺镇痛机制中的研究进展 [J]. *华中科技大学学报(医学版)*, 2025, 54(3): 441-446.
- [39] 张健, 杜佳昊, 方凡夫, 等. 疼痛治疗中的常见电刺激及其参数研究进展 [J]. *生物医学工程研究*, 2024, 43(6): 475-483.
- [40] SIMA L, FAN B, YAN L, et al. Effects of electroacupuncture treatment on bone cancer pain model with morphine tolerance [J]. *Evid Based Complement Alternat Med*, 2016, 2016: 8028474.
- [41] LIEBANO R E, SLUKA K A, ROY J, et al. Effects of transcutaneous electrical nerve stimulation on pain, function, and descending inhibition in people with non-specific chronic low-back pain: a study protocol for a randomized crossover trial [J]. *Trials*, 2024, 25(1): 242.
- [42] FENG X, YE T, WANG Z, et al. Transcutaneous acupoint electrical stimulation pain management after surgical abortion: A cohort study [J]. *Int J Surg*, 2016, 30: 104-108.
- [43] CHUAH J S, TAN J H, BUJANG M A, et al. Transcutaneous electric nerve stimulation of acupoint points improves tolerance in adults undergoing diagnostic upper gastrointestinal endoscopy: a single-center, double-blinded, randomized controlled trial [J]. *Surg Endosc*, 2024, 38(6): 3279-3287.
- [44] VANCE C G T, DAILEY D L, CHIMENTI R L, et al. Using TENS for pain control: Update on the state of the evidence [J]. *Medicina (Kaunas)*, 2022, 58(10): 1332.
- [45] 周敏, 蔡懿婷, 庞文璟. 穴位贴敷联合经皮穴位电刺激对腹腔镜术后胃肠蠕动功能的影响 [J]. *中国医学物理学杂志*, 2021, 38(3): 350-354.
- [46] 赵倩文, 苏丹丹, 汪美如, 等. 经皮穴位电刺激对鼻内镜手术患者术后恢复质量的影响: 随机对照试验 [J]. *中国针灸*, 2024, 44(10): 1133-1138.
- [47] 杨欣燕, 廖颖, 罗舒元, 等. 经皮穴位电刺激临床研究现状及疾病谱分析 [J]. *中国疗养医学*, 2025, 34(10): 9-14.
- [48] CHEN T, ZHANG W W, CHU Y X, et al. Acupuncture for pain management: Molecular mechanisms of action [J]. *Am J Chin Med*, 2020, 48(4): 793-811.
- [49] SIVARAMAKRISHNAN A, SOLOMON J M, MANIKANDAN N. Comparison of transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) and functional electrical stimulation (FES) for spasticity in spinal cord injury: A pilot randomized cross-over trial [J]. *Spinal Cord Med*, 2018, 41(4): 397-406.
- [50] 庄玲玲, 徐倩丽, 吴小麦, 等. 基于 P38MAPK 通路探讨经皮穴位电刺激改善 MCAO 大鼠神经功能的机制 [J]. *中国老年保健医学*, 2024, 22(6): 25-30.
- [51] LIU Y, XU T, YU Z, et al. Neurophysiological basis of electroacupuncture stimulation in the treatment of cardiovascular-related diseases: Vagal interoceptive loops [J]. *Brain Behav*, 2024, 14(10): e70076.
- [52] PALEY C A, WITTKOPF P G, JONES G, et al. Does TENS reduce the intensity of acute and chronic pain? A comprehensive appraisal of the characteristics and outcomes of 169 reviews and 49 meta-analyses [J]. *Medicina (Kaunas)*, 2021, 57(10): 1060.
- [53] BÁEZ-SUÁREZ A, MARTÍN-CASTILLO E, GARCÍA-ANDÚJAR J, et al. Evaluation of different doses of transcutaneous nerve stimulation for pain relief during labour: a randomized controlled trial [J]. *Trials*, 2018, 19(1): 652.
- [54] 邹雪. 经皮穴位电刺激辅助治疗腹泻型肠易激综合征肝气乘脾证的临床疗效观察 [D]. 南京: 南京中医药大学, 2021.
- [55] 王彩红, 魏晓涛, 赵永强, 等. 经皮穴位电刺激对腹腔镜非胃肠手术后恶心呕吐影响的 Meta 分析 [J]. *临床麻醉学杂志*, 2024, 40(9): 959-965.
- [56] 姜小燕, 陈娟, 缪梦然, 等. 穴位贴敷联合经皮穴位电刺激对腹腔镜胆囊切除术后恶心呕吐的影响 [J]. *临床麻醉学杂志*, 2025, 41(10): 1065-1069.
- [57] ELNAGGAR R K, MOAWD S A, ALI S E, et al. Potential impacts of Acu-TENS in the treatment of adolescents with moderate to severe bronchial asthma: A randomized clinical study [J]. *Complement Ther Med*, 2021, 57: 102673.
- [58] SMITH C L, REDDY B, WOLF C M, et al. The state of 21st century acupuncture in the United States [J]. *J Pain Res*, 2024, 17: 3329-3354.
- [59] JOHNSON M I. Resolving long-standing uncertainty about the clinical efficacy of transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) to relieve pain: A comprehensive review of factors influencing outcome [J]. *Medicina (Kaunas)*, 2021, 57(4): 378.
- [60] BEDWELL C, DOWSWELL T, NEILSON J P, et al. The use of transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) for pain relief in labour: a review of the evidence [J]. *Midwifery*, 2011, 27(5): e141-e148.
- [61] 张雨晴, 吕元昊, 邓士哲, 等. 基于数据挖掘技术探讨经皮穴位电刺激治疗脑卒中后肢体功能障碍的腧穴及参数应用规律 [J]. *针灸临床杂志*, 2024, 40(12): 47-55.
- [62] 王喙义, 喻巧云, 席丹, 等. 基于数据挖掘技术探讨经皮穴位电刺激辅助体外受精-胚胎移植治疗的腧穴及参数应用规律 [J]. *中国中医药信息杂志*, 2022, 29(5): 16-22.

编辑: 黄博韬

收稿日期: 2025-07-10