

DOI:10.13288/j.11-2166/r.2026.10.008

# 经皮穴位电刺激对单侧双通道脊柱内镜手术患者应激反应的影响

李亚楠, 万政佐, 董学亮, 唐世怡, 于学来✉

杭州市中医院, 浙江省杭州市体育场路453号, 310007

**[摘要]** **目的** 探讨经皮穴位电刺激 (TEAS) 对单侧双通道脊柱内镜 (UBE) 手术患者应激反应的影响, 并优化 TEAS 参数方案。**方法** 选取拟行 UBE 手术的患者 96 例, 随机分为全凭静脉麻醉组、针刺辅助麻醉连续波组和针刺辅助麻醉疏密波组, 每组 32 例。各组患者均采用标准化全凭静脉麻醉方案, 针刺辅助麻醉连续波组 (100 Hz 连续波刺激) 和针刺辅助麻醉疏密波组 (2/100 Hz 疏密波刺激) 在全凭静脉麻醉诱导前 30 min 于双侧足三里、三阴交穴位施加 TEAS 干预, 持续至手术结束, 全凭静脉麻醉组仅连接电极片不予通电。比较各组麻醉诱导前 (T0)、气管插管后 (T1)、椎板减压时 (T2)、术毕 1 h (T3) 的应激反应指标 [血清皮质醇 (Cor)、促肾上腺皮质激素 (ACTH)] 和心率 (HR)、平均动脉压 (MAP)、脑电双频指数 (BIS); 比较手术时长、麻醉时长、拔管时长、苏醒时长, 术后 2 h、6 h、12 h 的疼痛视觉模拟量表 (VAS) 评分、Ramsay 镇静评分以及术后并发症发生情况。**结果** 针刺辅助麻醉连续波组和针刺辅助麻醉疏密波组在 T1、T2、T3 时间点血清 ACTH、Cor 水平, 在 T1、T2 时间点 HR、MAP 均低于全凭静脉麻醉组, 且针刺辅助麻醉疏密波组上述指标低于针刺辅助麻醉连续波组 ( $P<0.01$ )。针刺辅助麻醉疏密波组在 T3 时间点 BIS 高于全凭静脉麻醉组和针刺辅助麻醉连续波组 ( $P<0.01$ )。各组手术时长比较差异无统计学意义 ( $P>0.05$ ); 针刺辅助麻醉连续波组和针刺辅助麻醉疏密波组麻醉时长、拔管时长、苏醒时长均短于全凭静脉麻醉组, 且针刺辅助麻醉疏密波组上述指标短于针刺辅助麻醉连续波组 ( $P<0.05$ )。针刺辅助麻醉连续波组和针刺辅助麻醉疏密波组在术后 2 h、6 h、12 h 的 VAS 评分均低于全凭静脉麻醉组, 且针刺辅助麻醉疏密波组各时间点 VAS 评分低于针刺辅助麻醉连续波组 ( $P<0.05$ )。针刺辅助麻醉疏密波组 Ramsay 评分在术后 2 h、6 h 低于针刺辅助麻醉连续波组 ( $P<0.05$ )。针刺辅助麻醉疏密波组并发症总发生率 (6.25%, 2/32) 低于全凭静脉麻醉组 (28.13%, 9/32,  $P<0.05$ )。**结论** TEAS 可有效抑制 UBE 手术患者的应激反应, 其中 2/100 Hz 疏密波参数方案效果最优, 其可稳定血流动力学, 加速苏醒并改善术后镇静、镇痛质量, 同时减少并发症发生。

**[关键词]** 经皮穴位电刺激; 单侧双通道脊柱内镜; 应激反应; 皮质醇; 疏密波

单侧双通道脊柱内镜 (unilateral biportal endoscopy, UBE) 手术因其操作灵活、视野清晰等优势, 已成为治疗腰椎退行性疾病的优选微创术式<sup>[1]</sup>。然而, 作为一种侵入性操作, UBE 手术会引发机体生理应激反应, 包括下丘脑-垂体-肾上腺 (HPA) 轴激活、交感神经兴奋及系统性炎症反应加剧<sup>[2]</sup>。全凭静脉麻醉虽能保障手术进行, 但可能

存在术中血流动力学波动、术后麻醉药物相关不良反应 (如恶心呕吐) 以及阿片类药物用量较多等问题, 影响术后康复<sup>[3]</sup>。经皮穴位电刺激 (transcutaneous electrical acupoint stimulation, TEAS) 结合了传统穴位刺激与现代电生理技术, 可通过低频电流刺激特定穴位 (如足三里、三阴交) 调节内源性阿片肽释放、抑制痛觉传导, 并调控 HPA 轴及炎症反应<sup>[4-5]</sup>。研究<sup>[6-7]</sup>证实, TEAS 能减轻腹部、乳腺等手术中的应激反应, 减少麻醉药用量并改善术后

基金项目:浙江省中医药科技计划项目(2024ZL671)

✉ 通讯作者:xuelai0930@163.com

恢复。基于此,本研究以接受 UBE 手术的患者为研究对象,比较全凭静脉麻醉、TEAS 疏密波辅助麻醉、TEAS 连续波辅助麻醉 3 种麻醉方式的干预效果,旨在探讨 TEAS 是否可有效钝化 UBE 手术患者的生理应激反应,并比较疏密波与连续波两种刺激模式的效应差异,为优化脊柱微创手术的快速康复策略提供依据。本研究经杭州市中医院医学伦理委员会审批(审批号:2024KLL169),并在国际传统医学临床试验注册平台完成注册(注册号:ITMCTR2026000072)。

## 1 临床资料

### 1.1 纳入标准

1) 影像学诊断为 UBE 手术适应证,包括椎间盘突出(纤维环未破裂)、腰椎管狭窄、椎体滑脱等,年龄 40~70 岁;2) 美国麻醉医师协会(ASA)分级<sup>[8]</sup> I 或 II 级;3) 无本研究涉及的麻醉药物及相关辅助用药禁忌;4) 无经穴部位神经损伤或手术史;5) 签署知情同意书。

### 1.2 排除标准

1) 合并免疫系统疾病,如类风湿关节炎、强直性脊柱炎、系统性红斑狼疮、银屑病关节炎等;2) 近 1 周内发生感染;3) 合并糖尿病且血糖控制不佳(空腹血糖 $\geq 8.0$  mmol/L 或/和餐后 2 h 血糖 $\geq 10.0$  mmol/L);4) 身体质量指数(BMI) $\geq 30$  kg/m<sup>2</sup>;5) 术前 2 天内使用大剂量糖皮质激素;6) 营养状态差,血浆白蛋白 $< 35$  g/L,血清总蛋白 $< 60$  g/L;7) 合并恶性肿瘤、严重心血管疾病;8) 无法配合本研究。

### 1.3 剔除标准

1) 研究过程中出现严重不良事件或并发症,经研究者评估不适宜继续参与本研究;2) 研究过程中接受了方案禁止的合并治疗(如服用特定药物等),可能对应激指标评价产生干扰;3) 研究数据

存在严重逻辑错误或关键变量缺失,导致无法进行统计学分析。

### 1.4 脱落标准

1) 研究过程中因个人原因主动要求退出;2) 失访;3) 虽完成研究流程,但未按要求配合完成终点指标评价。

### 1.5 一般资料

选取 2024 年 9 月 1 日至 2025 年 3 月 31 日于杭州市中医院行 UBE 手术的 96 例患者。根据预试验结果及既往文献<sup>[9]</sup>报道,采用单因素方差分析方法进行样本量估算。设定显著性水平 $\alpha=0.05$ ,检验效能 $1-\beta=0.90$ 。根据预试验数据,预计三组应激反应指标皮质醇(Cor)水平的总体均数差异效应量 $f$ 为 0.4(属中等效应),利用 G\*Power 3.1 软件进行计算,得出三组比较所需的总样本量约为 90 例,即每组至少需要 30 例。预估脱落率为 5%,将样本量扩大至每组 32 例,最终确定总样本量为 96 例。

采用随机数字表法进行分组:首先将 96 例患者按就诊顺序依次编号为 1—96 号,然后从随机数字表中任意选取起始点,以设定的方向(如从左到右、从上到下)依次读取数字,凡遇到小于 96 且未被选取过的数字,对应编号的患者即纳入相应组别。按照此方法将 96 例患者随机分为全凭静脉麻醉组、针刺辅助麻醉连续波组和针刺辅助麻醉疏密波组,每组 32 例。表 1 示,各组患者一般资料比较差异均无统计学意义( $P>0.05$ ),具有可比性。

## 2 方法

### 2.1 干预方法

各组患者均采用标准化全凭静脉麻醉方案<sup>[10]</sup>。术前 24 h 完成麻醉知情同意,并签署针刺辅助麻醉同意书。患者入室后开放静脉通路,持续监测心电图、无创血压、脉搏血氧饱和度及脑电双频指数(BIS)。麻醉诱导:依次静脉注射咪达唑仑 0.05 mg/kg、舒芬

表 1 各组单侧双通道脊柱内镜手术患者一般资料比较

Table 1 Comparison of baseline characteristics in patients undergoing unilateral biportal endoscopy among different groups

| 组别           | 例数 | 性别/例(%)   |           | 年龄/岁,<br>$\bar{x}\pm s$ | BMI/kg·m <sup>-2</sup> ,<br>$\bar{x}\pm s$ | ASA 分级/例(%) |           | 疾病类型/例(%) |           |           |
|--------------|----|-----------|-----------|-------------------------|--------------------------------------------|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|              |    | 男         | 女         |                         |                                            | I 级         | II 级      | 椎体滑脱      | 腰椎间盘突出    | 腰椎管狭窄     |
| 全凭静脉麻醉组      | 32 | 18(56.25) | 14(43.75) | 56.23±7.85              | 25.34±2.17                                 | 14(43.75)   | 18(56.25) | 4(12.50)  | 18(56.25) | 10(31.25) |
| 针刺辅助麻醉连续波组   | 32 | 19(59.37) | 13(40.63) | 55.67±8.12              | 24.98±2.35                                 | 13(40.63)   | 19(59.37) | 6(18.75)  | 16(50.00) | 10(31.25) |
| 针刺辅助麻醉疏密波组   | 32 | 16(50.00) | 16(50.00) | 57.05±7.63              | 25.61±2.08                                 | 12(37.50)   | 20(62.50) | 6(18.75)  | 15(46.87) | 11(34.38) |
| $F/\chi^2$ 值 |    | 0.590     |           | 0.249                   | 0.659                                      | 0.259       |           | 0.850     |           |           |
| $P$ 值        |    | 0.745     |           | 0.780                   | 0.519                                      | 0.878       |           | 0.932     |           |           |

注: BMI, 身体质量指数; ASA, 美国麻醉医师协会。

太尼 0.5  $\mu\text{g/kg}$ 、丙泊酚 1.5~2.0  $\text{mg/kg}$ 、苯磺顺阿曲库铵 0.15  $\text{mg/kg}$ ，诱导麻醉成功后行气管插管机械通气。麻醉维持：持续泵注丙泊酚 3~6  $\text{mg}/(\text{kg}\cdot\text{h})$  复合瑞芬太尼 3~10  $\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{h})$ ，维持 BIS 值于 45~60 范围内，术中按需追加苯磺顺阿曲库铵 2  $\text{mg}$ 。术毕前 30 min 静脉注射曲马多 2  $\text{mg/kg}$  联合舒芬太尼 0.1  $\mu\text{g/kg}$  以强化镇痛。

针刺辅助麻醉连续波组和针刺辅助麻醉疏密波组患者在上述全凭静脉麻醉诱导前 30 min 于双侧足三里、三阴交穴位施加 TEAS 干预（电极片同侧足三里穴接正极，三阴交穴接负极），持续至手术结束。麻醉诱导前阶段统一采用 2/15 Hz 疏密波，电流强度 5~18 mA（依据个体耐受阈值设定）。于气管插管并确认机械通气平稳后，针刺辅助麻醉连续波组转为 100 Hz 连续波刺激，针刺辅助麻醉疏密波组采用 2/100 Hz 疏密波刺激，全凭静脉麻醉组仅连接电极片不予通电。各组维持电刺激至手术结束，电流强度同麻醉诱导前。

2.2 观察指标及方法

2.2.1 主要疗效指标 1) 应激反应指标：分别于麻醉诱导前 (T0)、气管插管后 (T1)、椎板减压时 (T2)、术毕 1 h (T3) 四个不同时间点，取患者静脉血 5 ml，置放 30 min 后，于 4  $^{\circ}\text{C}$ 、3000 r/min 离心（半径 10 cm）10 min 后分离血清，采用 ELISA 法检测血清 Cor、促肾上腺皮质激素 (ACTH) 水平。Cor、ACTH 检测试剂盒购自上海酶联生物科技有限公司，批号分别为 2024001A、2024002B。2) 术中血流动力学：记录 T0、T1、T2、T3 时间点心率 (HR)、平均动脉压 (MAP)、BIS。

2.2.2 次要疗效指标 1) 围术期相关指标：记录患者手术时长（从皮肤切开至缝合完毕）、麻醉时长（从麻醉诱导开始至停止所有麻醉药物）、拔管时长（从停止麻醉药物至拔除气管导管）、苏醒时长（从停止麻醉药物至患者可被呼之睁眼）。2) 疼痛程度和镇静情况：分别于术后 2 h、6 h、12 h 采用疼痛视觉模拟量表 (VAS) 评分和 Ramsay 镇静评分对患者疼痛程度及镇静情况进行评估。VAS 评分<sup>[11]</sup>需患者根据主观痛感在 0（无痛）至 10（剧痛）的标尺中选择对应分值，分值越高提示疼痛程度越显著。Ramsay 镇静评分<sup>[12]</sup>总分为 1~6 分，1 分：镇静不足；2~4 分：理想镇静状态；5~6 分：镇静过度。3) 术后并发症发生情况：包括头痛头晕、恶心呕吐、咳嗽咳痰、皮肤瘙痒或皮疹等。

2.3 统计学方法

采用 SPSS 26.0 软件进行统计分析。计量资料均符合正态分布以均数 $\pm$ 标准差 ( $\bar{x}\pm s$ ) 表示，对重复测量的指标采用两因素重复测量方差分析，数据经 Mauchly 球形检验，不满足球形假设时采用 Greenhouse-Geisser 法校正，分析三组与 T0、T1、T2、T3 的主效应及其交互作用，若交互作用显著则进行简单效应分析。组间比较则在简单效应分析或主效应分析提示差异有统计学意义后，采用 Bonferroni 法进行事后两两比较（报告校正后  $P$  值）。计数资料以例 (%) 表示，采用  $\chi^2$  检验。取  $\alpha=0.05$  为检验水准。

3 结果

3.1 各组患者不同时间点应激反应指标比较

各组患者不同时间点血清 ACTH ( $F_{\text{组间}}=30.125$ ,  $P_{\text{组间}}<0.001$ )、Cor ( $F_{\text{组间}}=35.194$ ,  $P_{\text{组间}}<0.001$ ) 水平比较差异均具有统计学意义。各组患者血清 ACTH ( $F_{\text{组间与时间点交互}}=18.246$ ,  $P_{\text{组间与时间点交互}}<0.001$ )、Cor ( $F_{\text{组间与时间点交互}}=22.647$ ,  $P_{\text{组间与时间点交互}}<0.001$ ) 水平变化趋势比较差异均具有统计学意义。表 2 示，与全凭静脉麻醉组同时时间点比较，针刺辅助麻醉连续波组和针刺辅助麻醉疏密波组在 T1、T2、T3 时间点血清 ACTH、Cor 水平均降低 ( $P<0.01$ )。针刺辅助麻醉疏密波组在 T1、T2、T3 时间点血清 ACTH、Cor 水平均低于针刺辅助麻醉连续波组 ( $P<0.01$ )。

表 2 各组单侧双通道脊柱内镜手术患者不同时间点应激反应指标比较

| Table 2 Comparison of stress response indicators at different timepoints in patients undergoing unilateral biportal endoscopy among different groups ( $\bar{x}\pm s$ ) |     |    |                                     |                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|----|-------------------------------------|--------------------------------------|
| 组别                                                                                                                                                                      | 时间点 | 例数 | ACTH/ $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$ | Cor/ $\text{nmol}\cdot\text{L}^{-1}$ |
| 全凭静脉麻醉组                                                                                                                                                                 | T0  | 32 | 32.15 $\pm$ 7.84                    | 198.74 $\pm$ 21.36                   |
|                                                                                                                                                                         | T1  | 32 | 86.37 $\pm$ 12.45                   | 482.63 $\pm$ 45.17                   |
|                                                                                                                                                                         | T2  | 32 | 79.24 $\pm$ 11.36                   | 421.58 $\pm$ 38.44                   |
|                                                                                                                                                                         | T3  | 32 | 65.82 $\pm$ 10.27                   | 325.49 $\pm$ 30.12                   |
| 针刺辅助麻醉连续波组                                                                                                                                                              | T0  | 32 | 33.02 $\pm$ 8.16                    | 196.85 $\pm$ 20.94                   |
|                                                                                                                                                                         | T1  | 32 | 68.25 $\pm$ 10.83 <sup>a)</sup>     | 402.71 $\pm$ 39.26 <sup>a)</sup>     |
|                                                                                                                                                                         | T2  | 32 | 62.48 $\pm$ 9.47 <sup>a)</sup>      | 362.14 $\pm$ 33.87 <sup>a)</sup>     |
|                                                                                                                                                                         | T3  | 32 | 50.36 $\pm$ 8.95 <sup>a)</sup>      | 268.53 $\pm$ 26.45 <sup>a)</sup>     |
| 针刺辅助麻醉疏密波组                                                                                                                                                              | T0  | 32 | 32.68 $\pm$ 7.95                    | 201.36 $\pm$ 22.15                   |
|                                                                                                                                                                         | T1  | 32 | 58.16 $\pm$ 9.72 <sup>a)b)</sup>    | 368.47 $\pm$ 35.82 <sup>a)b)</sup>   |
|                                                                                                                                                                         | T2  | 32 | 53.71 $\pm$ 8.63 <sup>a)b)</sup>    | 318.75 $\pm$ 29.63 <sup>a)b)</sup>   |
|                                                                                                                                                                         | T3  | 32 | 41.25 $\pm$ 7.84 <sup>a)b)</sup>    | 241.37 $\pm$ 24.18 <sup>a)b)</sup>   |

注：ACTH，促肾上腺皮质激素；Cor，皮质醇；T0，麻醉诱导前；T1，气管插管后；T2，椎板减压时；T3，术毕 1 h。

a) 与全凭静脉麻醉组同时时间点比较， $P<0.01$ ；b) 与针刺辅助麻醉连续波组同时时间点比较， $P<0.01$ 。

### 3.2 各组患者不同时间 HR、MAP、BIS 水平比较

各组患者不同时间点 HR ( $F_{\text{组间}}=20.735$ ,  $P_{\text{组间}}<0.001$ )、MAP ( $F_{\text{组间}}=18.926$ ,  $P_{\text{组间}}<0.001$ )、BIS ( $F_{\text{组间}}=15.382$ ,  $P_{\text{组间}}<0.001$ ) 比较差异均具有统计学意义。各组患者 HR ( $F_{\text{组间与时间点交互}}=12.649$ ,  $P_{\text{组间与时间点交互}}<0.001$ )、MAP ( $F_{\text{组间与时间点交互}}=11.837$ ,  $P_{\text{组间与时间点交互}}<0.001$ )、BIS ( $F_{\text{组间与时间点交互}}=9.473$ ,  $P_{\text{组间与时间点交互}}<0.001$ ) 变化趋势比较差异均具有统计学意义。表 3 示, 与全凭静脉麻醉组比较, 针刺辅助麻醉连续波组和针刺辅助麻醉疏密波组在 T1、T2 时间点 HR、MAP 降低, BIS 升高; 针刺辅助麻醉疏密波组在 T3 时间点 BIS 升高 ( $P<0.01$ )。与针刺辅助麻醉连续波组比较, 针刺辅助麻醉疏密波组在 T1、T2 时间点 HR、MAP 降低, 在 T3 时间点 BIS 升高 ( $P<0.01$ )。

### 3.3 各组患者围术期相关指标比较

各组患者组间比较, 手术时长差异无统计学意义 ( $F=0.553$ ,  $P=0.577$ ), 麻醉时长 ( $F=7.675$ ,  $P=0.001$ )、拔管时长 ( $F=52.504$ ,  $P<0.001$ ) 及苏醒时长 ( $F=61.010$ ,  $P<0.001$ ) 差异均具有统

计学意义。表 4 示, 与全凭静脉麻醉组比较, 针刺辅助麻醉连续波组和针刺辅助麻醉疏密波组麻醉时长、拔管时长、苏醒时长均缩短 ( $P<0.05$ )。针刺辅助麻醉疏密波组麻醉时长、拔管时长、苏醒时长短于针刺辅助麻醉连续波组 ( $P<0.05$ )。

### 3.4 各组患者不同时间点 VAS、Ramsay 评分比较

各组患者不同时间点 VAS 评分 ( $F_{\text{组间}}=82.365$ ,  $P_{\text{组间}}<0.001$ )、Ramsay 评分 ( $F_{\text{组间}}=25.418$ ,  $P_{\text{组间}}<0.001$ ) 比较差异均具有统计学意义。各组患者 VAS 评分 ( $F_{\text{组间与时间点交互}}=36.827$ ,  $P_{\text{组间与时间点交互}}<0.001$ )、Ramsay 评分 ( $F_{\text{组间与时间点交互}}=15.739$ ,  $P_{\text{组间与时间点交互}}<0.001$ ) 变化趋势比较差异均具有统计学意义。表 5 示, 与全凭静脉麻醉组同时时间点比较, 针刺辅助麻醉连续波组和针刺辅助麻醉疏密波组在术后 2 h、6 h、12 h 的 VAS 评分均降低, 且针刺辅助麻醉疏密波组术后各时间点 VAS 评分均低于针刺辅助麻醉连续波组 ( $P<0.05$ )。针刺辅助麻醉疏密波组 Ramsay 评分在术后各时间点均低于全凭静脉麻醉组, 在术后 2 h、6 h 低于针刺辅助麻醉连续波组 ( $P<0.05$ )。

表 3 各组单侧双通道脊柱内镜手术患者不同时间点 HR、MAP、BIS 水平比较

Table 3 Comparison of HR, MAP, and BIS levels at different timepoints in patients undergoing unilateral biportal endoscopy

among different groups

( $\bar{x}\pm s$ )

| 组别         | 时间点 | 例数 | HR/次·min <sup>-1</sup>      | MAP/mmHg                    | BIS                         |
|------------|-----|----|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 全凭静脉麻醉组    | T0  | 32 | 76.52±8.13                  | 85.36±6.42                  | 96.83±2.15                  |
|            | T1  | 32 | 92.47±9.26                  | 102.58±8.73                 | 45.27±3.18                  |
|            | T2  | 32 | 88.63±8.95                  | 97.24±7.85                  | 48.36±2.94                  |
|            | T3  | 32 | 83.15±7.62                  | 90.57±6.93                  | 76.82±4.27                  |
| 针刺辅助麻醉连续波组 | T0  | 32 | 75.89±7.96                  | 84.92±6.38                  | 97.12±2.08                  |
|            | T1  | 32 | 85.31±8.17 <sup>a)</sup>    | 94.26±7.52 <sup>a)</sup>    | 46.85±3.05 <sup>a)</sup>    |
|            | T2  | 32 | 81.74±7.83 <sup>a)</sup>    | 90.37±7.03 <sup>a)</sup>    | 49.73±2.87 <sup>a)</sup>    |
|            | T3  | 32 | 78.42±7.01                  | 86.25±6.41                  | 82.36±4.05                  |
| 针刺辅助麻醉疏密波组 | T0  | 32 | 76.24±8.05                  | 85.17±6.51                  | 96.95±2.21                  |
|            | T1  | 32 | 80.15±7.62 <sup>a) b)</sup> | 89.73±7.18 <sup>a) b)</sup> | 47.32±3.11 <sup>a)</sup>    |
|            | T2  | 32 | 78.62±7.41 <sup>a) b)</sup> | 87.95±6.87 <sup>a) b)</sup> | 50.24±2.92 <sup>a)</sup>    |
|            | T3  | 32 | 76.84±6.92                  | 84.36±6.22                  | 88.57±3.86 <sup>a) b)</sup> |

注: HR, 心率; MAP, 平均动脉压; BIS, 脑电双频指数; T0, 麻醉诱导前; T1, 气管插管后; T2, 椎板减压时; T3, 术毕 1 h。

a) 与全凭静脉麻醉组同时时间点比较,  $P<0.01$ ; b) 与针刺辅助麻醉连续波组同时时间点比较,  $P<0.01$ 。

表 4 各组单侧双通道脊柱内镜手术患者围术期相关指标比较

Table 4 Comparison of perioperative indicators in patients undergoing unilateral biportal endoscopy among different groups

(min,  $\bar{x}\pm s$ )

| 组别         | 例数 | 手术时长        | 麻醉时长                          | 拔管时长                        | 苏醒时长                        |
|------------|----|-------------|-------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 全凭静脉麻醉组    | 32 | 98.36±12.47 | 126.83±15.72                  | 24.57±4.32                  | 18.36±3.25                  |
| 针刺辅助麻醉连续波组 | 32 | 96.84±11.82 | 119.57±14.36 <sup>a)</sup>    | 19.63±3.57 <sup>a)</sup>    | 14.25±2.68 <sup>a)</sup>    |
| 针刺辅助麻醉疏密波组 | 32 | 95.27±10.93 | 112.65±13.25 <sup>a) b)</sup> | 15.27±2.86 <sup>a) b)</sup> | 10.83±2.15 <sup>a) b)</sup> |

注: a) 与全凭静脉麻醉组比较,  $P<0.05$ ; b) 与针刺辅助麻醉连续波组比较,  $P<0.05$ 。

表5 各组单侧双通道脊柱内镜手术患者不同时间点VAS、Ramsay评分比较

| Table 5 Comparison of VAS and Ramsay scores at different timepoints in patients undergoing unilateral biportal endoscopy among different groups (分, $\bar{x}\pm s$ ) |         |    |                                 |                                 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|----|---------------------------------|---------------------------------|
| 组别                                                                                                                                                                   | 时间点     | 例数 | VAS 评分                          | Ramsay 评分                       |
| 全凭静脉麻醉组                                                                                                                                                              | 术后 2 h  | 32 | 6.83 $\pm$ 1.25                 | 2.36 $\pm$ 0.42                 |
|                                                                                                                                                                      | 术后 6 h  | 32 | 5.47 $\pm$ 1.08                 | 2.84 $\pm$ 0.51                 |
|                                                                                                                                                                      | 术后 12 h | 32 | 4.15 $\pm$ 0.93                 | 3.25 $\pm$ 0.57                 |
| 针刺辅助麻醉连续波组                                                                                                                                                           | 术后 2 h  | 32 | 5.26 $\pm$ 0.98 <sup>a)</sup>   | 2.15 $\pm$ 0.38                 |
|                                                                                                                                                                      | 术后 6 h  | 32 | 4.02 $\pm$ 0.87 <sup>a)</sup>   | 2.53 $\pm$ 0.45                 |
|                                                                                                                                                                      | 术后 12 h | 32 | 3.08 $\pm$ 0.75 <sup>a)</sup>   | 2.86 $\pm$ 0.49                 |
| 针刺辅助麻醉疏密波组                                                                                                                                                           | 术后 2 h  | 32 | 3.95 $\pm$ 0.85 <sup>a)b)</sup> | 1.96 $\pm$ 0.35 <sup>a)b)</sup> |
|                                                                                                                                                                      | 术后 6 h  | 32 | 2.87 $\pm$ 0.72 <sup>a)b)</sup> | 2.24 $\pm$ 0.41 <sup>a)b)</sup> |
|                                                                                                                                                                      | 术后 12 h | 32 | 1.98 $\pm$ 0.63 <sup>a)b)</sup> | 2.57 $\pm$ 0.46 <sup>a)</sup>   |

注：VAS，视觉模拟量表。  
a) 与全凭静脉麻醉组同时时间点比较， $P<0.05$ ；b) 与针刺辅助麻醉连续波组同时时间点比较， $P<0.05$ 。

表6 各组单侧双通道脊柱内镜手术患者术后并发症发生情况比较

| Table 6 Comparison of postoperative complications in patients undergoing unilateral biportal endoscopy among different groups [例次(%)] |    |          |          |          |          |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|----------|----------|----------|----------|-----------|
| 组别                                                                                                                                    | 例数 | 头痛头晕     | 恶心呕吐     | 咳嗽咳痰     | 皮肤瘙痒或皮疹  | 总发生       |
| 全凭静脉麻醉组                                                                                                                               | 32 | 3 (9.38) | 3 (9.38) | 2 (6.25) | 1 (3.12) | 9 (28.13) |
| 针刺辅助麻醉连续波组                                                                                                                            | 32 | 0        | 1 (3.12) | 2 (6.25) | 0        | 3 (9.38)  |
| 针刺辅助麻醉疏密波组                                                                                                                            | 32 | 1 (3.12) | 0        | 1 (3.12) | 0        | 2 (6.25)  |

3.5 各组患者术后并发症发生情况比较

表6示，各组间并发症总发生率比较差异具有统计学意义 ( $\chi^2=7.192, P=0.027$ )；针刺辅助麻醉疏密波组并发症总发生率低于全凭静脉麻醉组 ( $\chi^2=5.379, P=0.020$ )；针刺辅助麻醉连续波组与全凭静脉麻醉组 ( $\chi^2=2.286, P=0.131$ )、针刺辅助麻醉疏密波组与针刺辅助麻醉连续波组 ( $\chi^2=0.000, P=1.000$ ) 并发症总发生率比较差异均无统计学意义。

4 讨论

随着脊柱微创技术的快速发展，UBE手术因其操作灵活、视野清晰等优势，已成为治疗腰椎退行性疾病的重要选择<sup>[13]</sup>。然而，术中持续正压冲水、俯卧体位及较长手术时间等因素易引发强烈的生理应激反应，表现为HPA轴过度激活与交感神经兴奋，导致血清Cor、ACTH异常升高及血流动力学波动<sup>[14]</sup>。西医麻醉虽能部分调控应激反应，但存在药物依赖性强、术后并发症较多等局限性<sup>[15]</sup>。中医理论认为，手术创伤可扰动气血阴阳平衡，尤以心、肝、肾功能失调为核心，而足三里与三阴交配伍可健脾和胃、调和气血，增强机体抗损伤能力<sup>[16]</sup>。基于此，本研究将TEAS引入UBE手术应激管理，并通过对比不同频率参数的干预效果，旨在探索中西医结合优化围术期管理的科学路径。

既往研究<sup>[17]</sup>显示，疏密波（2/100 Hz）结合了低频（2 Hz）与高频（100 Hz）的优势，其交替变化的频率能够避免机体对单一频率电刺激产生快速耐受性，并且能同时激发中枢神经系统释放脑啡肽、内啡肽（主要由低频刺激诱导）和强啡肽（主要由高频刺激诱导）等多种内源性阿片肽，产生协同镇痛和镇静效应，这更有利于在长时间手术中稳定调控应激反应；而100 Hz连续波作为高频刺激，主要通过持续激活脊髓及上位中枢的强啡肽能系统，对感觉神经传导产生较强抑制作用，发挥显著的镇静效应，但长时间单一频率刺激易导致神经适应，使镇痛镇静效果随时间延长而减弱。本研究通过对比疏密波与连续波，旨在明确疏密波在维持UBE手术这类脊柱微创手术术中应激调控稳定性方面的潜在优势，为解决TEAS在脊柱微创手术中实现长效镇痛与平稳应激管理的关键问题提供电参数选择依据。

本研究结果显示，2/100 Hz疏密波（针刺辅助麻醉疏密波组）在T1、T2等关键节点显著降低血清ACTH与Cor水平，且降幅优于针刺辅助麻醉连续波组及全凭静脉麻醉组。这一结果证实疏密波对HPA轴的抑制作用更强，推测其机制可能涉及双频刺激对多类阿片受体的协同调控：低频成分促进

脑啡肽释放,高频成分诱导强啡肽分泌,共同抑制促肾上腺皮质激素释放激素合成,从而减轻该轴系兴奋性<sup>[18-19]</sup>。本研究通过频率交替模拟中医补泻兼施手法,为脊柱微创手术提供了参数优化的思路。针刺辅助麻醉疏密波组在T1、T2时HR、MAP最低,且T3时BIS最高,反映其维持自主神经平衡的独特价值。从中医角度分析,足三里调理脾胃气机,三阴交疏肝益肾,二者协同可缓解“肝失疏泄”所致的气血逆乱<sup>[20]</sup>。现代研究<sup>[21-22]</sup>表明,疏密波通过调节脊髓-脑干-下丘脑通路,抑制交感神经过度激活,同时促进 $\gamma$ -氨基丁酸能神经传递,加速丙泊酚代谢。同时本方案在脊柱手术复杂应激环境下仍实现BIS升高,证实了穴位配伍对中枢神经功能的特异性调节。在术后恢复方面,针刺辅助麻醉疏密波组拔管及苏醒时长较全凭静脉麻醉组缩短,且术后VAS评分降低,同时Ramsay评分稳定趋近理想镇静水平(2分)<sup>[23]</sup>。这一结果可能与疏密波通过增强内源性阿片肽释放、减少阿片类药物用量以及抑制炎症因子表达、阻断疼痛敏化通路<sup>[24]</sup>有关。此外,针刺辅助麻醉疏密波组并发症发生率低于全凭静脉麻醉组,从现代生理学角度分析,疏密波可能通过调节脊髓-脑干-下丘脑通路,更有效地抑制手术创伤引起的交感神经过度激活,从而维持自主神经平衡,稳定血流动力学<sup>[25]</sup>;同时,足三里与三阴交的配伍刺激可能通过此途径协同发挥作用,以减少并发症发生。此外,本研究观察到连续波组并发症发生率虽在数值上低于全凭静脉麻醉组,但差异无统计学意义。可能原因包括:1)样本量对低发生率结局的检验效能不足;2)并发症合并统计可能弱化了TEAS对特定不良反应(如恶心呕吐)的抑制作用;3)100 Hz连续波在调节术后并发症相关的多系统神经递质方面,效果可能不及2/100 Hz疏密波全面。

综上,TEAS可有效抑制UBE手术患者的应激反应,其中2/100 Hz疏密波参数方案效果最优,可降低围术期ACTH、Cor水平,稳定血流动力学参数,缩短苏醒时长,优化镇静质量评分,同时降低并发症发生率。然而,本研究是一项单中心、样本量有限的初步探索,结论有待更大规模的前瞻性研究验证;电刺激参数的组合极为多样,本研究仅对比了两种模式,未来需系统探索以寻求更优的个体化方案,其深层作用机制有待结合分子生物学手段进一步阐明。

## 参考文献

[1] 苏林涛,康辉. 单侧双通道脊柱内镜技术并发症的研究

进展[J]. 临床外科杂志, 2024, 32(1):103-105.

- [2] 李含,秦晓彬,孙秀钦,等. 经皮椎间孔镜术对腰椎间盘突出症患者炎症反应、疼痛程度和安全性的影响[J]. 中国医学创新, 2024, 21(35):19-24.
- [3] CHU P L, WANG T, ZHENG J L, et al. Global and current research trends of unilateral biportal endoscopy/biportal endoscopic spinal surgery in the treatment of lumbar degenerative diseases: a bibliometric and visualization study [J]. Orthop Surg, 2022, 14(4):635-643.
- [4] 张洲,马良宵,马凌慧,等. 主动健康视域下经皮穴位电刺激调控血压的价值与应用展望[J]. 针刺研究, 2024, 49(4):409-414.
- [5] YU J B, DONG S A, GONG L R, et al. Effect of electroacupuncture at Zusanli (ST36) and Sanyinjiao (SP6) acupoints on adrenocortical function in etomidate anesthesia patients [J]. Med Sci Monit, 2014, 20: 406-412. doi: 10.12659/MSM.890111.
- [6] 张怡,梁晶光,朱建坡,等. 经皮穴位电刺激对腹腔镜子宫全切术患者颅内压的影响:测量视神经鞘直径[J]. 中华麻醉学杂志, 2024, 44(10):1231-1234.
- [7] 龚财芳,熊永福,赵俊宇,等. 经皮穴位电刺激对乳腺癌病人术后镇痛疗效的Meta分析[J]. 中国疼痛医学杂志, 2024, 30(5):390-396.
- [8] APFELBAUM J L, HAGBERG C A, CONNIS R T, et al. 2022 American Society of Anesthesiologists practice guidelines for management of the difficult airway [J]. Anesthesiology, 2022, 136(1):31-81.
- [9] ARUNAKUL R, BOONRAKSA T, PINITCHANON P, et al. Efficacy of epidural steroid in controlling pain after unilateral biportal endoscopic discectomy for single-level lumbar disc herniation: a randomized, double-blind, placebo-controlled trial [J]. Int J Spine Surg, 2025, 19(1):11-18.
- [10] 中华医学会麻醉学分会中国全凭静脉麻醉临床实践指南编写组. 中国全凭静脉麻醉临床实践指南(2024版) [J]. 中华麻醉学杂志, 2024, 44(9):1030-1049.
- [11] WILLIAMS S A, SHARMA S, CASHIN A G, et al. Test-retest reliability and measurement error of the numerical rating scale and visual analogue scale in people with low back pain [J]. J Pain, 2025, 35: 105528. doi: 10.1016/j.jpain. 2025. 105528.
- [12] RAMSAY M A, SAVEGE T M, SIMPSON B R, et al. Controlled sedation with alphaxalone-alphadolone [J]. Br Med J, 1974, 2(5920):656-659.
- [13] 汤润民,谭利贤,赖国强,等. 单侧双通道脊柱内镜技术治疗颈椎退行性疾病的研究进展[J]. 中国修复重建外科杂志, 2025, 39(4):495-503.
- [14] 陈丽星,杨新明,贾永利. 单侧双通道内镜技术治疗腰椎布鲁杆菌病性脊柱炎的临床疗效[J]. 实用骨科杂志, 2024, 30(5):438-442.
- [15] 郭永梅,张茹茹,王立敏,等. 瑞马唑仑对围术期老年

- 患者椎管内麻醉镇静应激和炎症反应的影响[J]. 大连医科大学学报, 2024, 46(5):405-409.
- [16]肖乐,魏星,张天华,等. 电针“足三里”“梁门”“三阴交”对糖尿病性胃轻瘫大鼠 NLRP3 炎症小体及下游炎症因子的影响[J]. 中医杂志, 2023, 64(9):948-953.
- [17]SI S, ZHAO X, MU Y, et al. The effect of transcutaneous electrical acupoint stimulation on postoperative awakening after general anaesthesia: a systematic review and meta-analysis [J]. *Front Med (Lausanne)*, 2024, 11: 1347641. doi: 10.3389/fmed.2024.1347641.
- [18]CHEN P, XU H, ZHANG R, et al. Dose-effect relationship between electroacupuncture with different parameters and the regulation of endogenous opioid peptide system [J]. *World J Acupunct Moxibust*, 2024, 34(1):9-15.
- [19]SUN Q, LIU M, GUAN W, et al. Dynorphin modulates reward-seeking actions through a pallido-amygdala cholinergic circuit[J]. *Neuron*, 2025, 113(11):1823-1840.
- [20]周宏图,周艳丽,郑明常,等. 基于《针灸大成》探讨三阴交穴的主治、配伍规律[J]. 中国医药导报, 2023, 20(2):152-155.
- [21]KRAUTH N, SACH KL, SITZIA G, et al. A hypothalamus-brainstem circuit governs the prioritization of safety over essential needs[J]. *Nat Neurosci*, 2025, 28(7):1473-1485.
- [22]郑雪梅,黄仁微,章吕霞. 穴位持续经皮电刺激对肺癌手术麻醉药物用量、麻醉恢复质量的影响[J]. 新中医, 2024, 56(8):165-170.
- [23]张群,张雪,许月春. Ramsay 镇静评分法干预在小儿先天性心脏病术后监护中应用效果研究[J]. 护理实践与研究, 2020, 17(17):103-105.
- [24]李梦钰,虞小双,付静文,等. 内关穴联合膻中穴经皮穴位电刺激对乳腺癌根治术患者围术期疼痛的影响[J]. 临床麻醉学杂志, 2024, 40(7):714-718.
- [25]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.

## Effect of Transcutaneous Electrical Acupoint Stimulation on Stress Response in Patients Undergoing Unilateral Biportal Endoscopy

LI Yanan, WAN Zhengzuo, DONG Xueliang, TANG Shiyi, YU Xuelai

Hangzhou Municipal Hospital of Traditional Chinese Medicine, Hangzhou, 310007

**ABSTRACT Objective** To explore the effect of transcutaneous electrical acupoint stimulation (TEAS) on stress response in patients undergoing unilateral biportal endoscopy (UBE) and to identify optimal TEAS parameters. **Methods** A total of 96 patients undergoing UBE were randomly grouped into total intravenous anesthesia (TIVA) group, acupuncture-assisted anesthesia with continuous waves (AACW) group, and acupuncture-assisted anesthesia with sparse-dense waves (AASDW) group, with 32 patients per group. All groups were given a standardized TIVA protocol. In the AACW group (100 Hz continuous wave stimulation) and the AASDW group (2/100 Hz sparse-dense wave stimulation), TEAS intervention was applied to both bilateral Zusanli (ST36) and Sanyinjiao (SP6) 30 minutes before TIVA induction and continued until the end of the surgery. In the TIVA group, electrodes were only connected without electrical stimulation. The stress response indicators including cortisol (Cor) and adrenocorticotrophic hormone (ACTH), heart rate (HR), mean arterial pressure (MAP), and bispectral index (BIS) at before anesthesia induction (T0), after tracheal intubation (T1), during laminectomy (T2), and 1 hour after surgery (T3) were compared across groups. The operation duration, anesthesia duration, extubation and recovery duration were recorded, as well as pain intensity including visual analogue scale (VAS), and sedation level (by Ramsay sedation score) at 2, 6, 12 hours after surgery, and postoperative complications. **Results** The AACW group and AASDW group had lower ACTH and COR levels at T1, T2 and T3, as well as lower HR and MAP levels at T1 and T2 than TIVA group, with AASDW group being lower than AACW group ( $P < 0.05$ ). At T3, the AASDW group had higher BIS than TIVA group and AACW group ( $P < 0.05$ ). No significant difference in operation duration was observed ( $P > 0.05$ ). The AACW group and AASDW group had shorter anesthesia, extubation and recovery duration than TIVA group, with AASDW group being the shortest ( $P < 0.05$ ). The VAS scores at 2 h, 6 h, and 12 h after surgery in the AACW and AASDW groups were lower than those in the TIVA group, with the AASDW group showing significantly lower scores than the AACW group ( $P < 0.05$ ). The Ramsay sedation scores in the AASDW group were lower than those in the AACW group at 2 h and 6 h after surgery ( $P < 0.05$ ). The total incidence of complications in the AASDW group was 6.25% (2/32), significantly lower than 28.13% (9/32) in the TIVA group ( $P < 0.05$ ). **Conclusion** TEAS can effectively suppresses stress response in patients undergoing UBE, with the 2/100 Hz sparse-dense wave parameter being most effective, which can stabilize hemodynamics, accelerate recovery, improve postoperative sedation and analgesia quality, and reduces complications.

**Keywords** transcutaneous electrical acupoint stimulation; unilateral biportal endoscopy; stress response; cortisol; sparse-dense wave

(收稿日期: 2025-10-27; 录用日期: 2026-01-14; 修回日期: 2026-03-09)

[编辑: 邓媛]