

植入式膈肌起搏器在高位颈髓损伤患者中的应用经验及文献分析

杨明亮 赵红梅 李建军 杨德刚 王强 高连军 邓卫萍 杜良杰 宫慧明 陈亮
王玉明 贾彦梅 李娟

【摘要】 目的 总结植入式膈肌起搏器在高位颈髓损伤患者的临床应用经验。**方法** 患者男, 14 岁。2015 年因脊髓炎导致颈 2 脊髓损伤, 无自主呼吸, 依赖呼吸机维持生命 2 年。2017 年 8 月, 在中国康复研究中心接受膈肌起搏器植入手术。以 phrenic nerve 和 electrical stimulation 和 spinal cord injury, 或 implantable diaphragm pacer 和 spinal cord injury, 或 breathing pacemaker system 和 spinal cord injury 等为关键词检索 PubMed, 范围为所有领域, 时间在 1970 年 1 月 1 日到 2018 年 1 月 1 日; 以膈神经和电刺激和脊髓损伤, 或膈肌起搏器和脊髓损伤, 或呼吸起搏器和脊髓损伤等为关键词, 在 CNKI 和万方数据进行中文检索。检索 CNKI 时间范围为 1981 年 1 月 1 日至 2018 年 1 月 1 日, 万方数据时间范围为 1900 年 1 月 1 日至 2018 年 1 月 1 日。**结果** 术前患者无自主呼吸。经皮电刺激膈神经可见右侧膈肌收缩有力, 左侧未见明显收缩。术后 4 周测试记录右侧起搏电压阈值为 0.1 V, 最大化效应起搏电压为 0.7 V; 左侧给予 0.7 V 起搏电压, 未观察到明显膈肌收缩。给予双侧 0.7 V 电压起搏, 最大潮气量 840 ml。起搏模式为双侧起搏电压 0.1 ~ 0.2 V, 起搏频率 9 次/min (卧床) 或 12 次/min (轮椅活动模式), 潮气量为 (435 ± 32) ml。适应性训练 2 周后, 患者连续 12 h 脱机, 血气分析结果正常。手术后 6 周, 可乘坐轮椅外出活动。与膈肌起搏器和脊髓损伤相关的英文文献共 78 篇, 其中临床实验 6 篇, 综述 10 篇。内容涉及膈肌起搏器手术前准备、膈神经功能评估方法、外科手术、并发症、手术效果及动物模型研究等。中文文献 11 篇, 其中 8 篇为综述, 1 篇为动物研究, 2 篇为新闻报道。文献报道的 IDP 适应证为中枢性肺通气不足、睡眠呼吸暂停综合征、脑干损伤或疾病导致呼吸衰竭、C3 以上脊髓损伤或疾病失去自主呼吸。**结论** 植入式膈肌起搏器对部分有适应证的因高位颈髓损伤失去自主呼吸的患者疗效可靠。

【关键词】 呼吸功能不全; 电刺激; 通气机; 颈髓损伤; 植入式膈肌起搏器

The clinic experience of implantable diaphragm pacer in a patient with high cervical spinal cord injury and literature review Yang Mingliang*, Zhao Hongmei, Li Jianjun, Yang Degang, Wang Qiang, Gao Lianjun, Deng Weiping, Du Liangjie, Gong Huiming, Chen Liang, Wang Yuming, Jian Yanmei, Li Juan. * Department of Spinal and Neural Function Reconstruction, Capital Medical University School of Rehabilitation Medicine (China Rehabilitation Research Center), Beijing 100068, China
Corresponding author: Li Jianjun, Email: crclj2010@sohu.com

【Abstract】 Objective To report the use of implantable diaphragm pacer (IDP) in a patient with high cervical spinal cord injury (HCSCI). **Methods** A 14-year-old male patient, who suffered from a HCSCI at C2 neurological level and had been on a ventilator for 2 years, received IDP in August 2017 at China Rehabilitation Research Center. A systematic literature review was performed on IDP in patients with HCSCI in Pubmed, CNKI, and Wanfang databases, using the keywords: phrenic nerve and electrical stimulation and spinal cord injury; IDP and spinal cord injury; breathing pacemaker system and spinal cord

DOI: 10.3760/cma.j.issn.1001-0939.2018.09.013

基金项目: 北京脑重大疾病研究院科研促进项目 (2013); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金 (中康 2018CZ-1)

作者单位: 100068 北京, 首都医科大学康复医学院 (中国康复研究中心) 脊柱脊髓神经功能重建外科 (杨明亮、李建军、杨德刚、杜良杰、宫慧明、陈亮、王玉明、贾彦梅), 麻醉科 (王强), 呼吸与危重症医学科 (高连军、邓卫萍、李娟); 中日友好医院呼吸与危重症医学科 (赵红梅)

通信作者: 李建军, Email: crclj2010@sohu.com

injury. All fields were covered from 1970/01/01 to 2018/01/01 in Pubmed, from 1981/01/01 to 2018/01/01 in CNKI, and from 1900/01/01 to 2018/01/01 in Wanfang. **Results** No spontaneous breathing was observed preoperatively in the patient. The electrical response of phrenic nerves was intact on the right, but unresponsive on the left. We got started with the IDP at 4 weeks after surgery. The threshold voltage of the right hemidiaphragm pacing was 0.1 V and at the level of 0.7 V with an optimal effect. No significant diaphragmatic contraction was found at left side with the extent up till 0.7 V. The maximum tidal volume was 840 ml when electrical stimulation was given at an intensity of 0.7 V bilaterally. The bilateral stimulation voltage at 0.1–0.2 V, pacing frequencies at 9 beats/min in bed, or at 12 beats/min on wheelchair, were set to maintain the tidal volume at the level of (435 ± 32) ml. After 2-week adaptive training, the patient could wean from the ventilator for 12 hours and had a normal blood gas analysis. At 6 week after surgery, with the aid of IDP, the patient could get out in wheelchair for outdoor activities. By literature review, we found 78 English papers, including 6 clinical trials, 10 reviews, and 11 Chinese papers, consisting of 8 reviews, 1 study in animal, and 2 news reports. Extensive contents, such as preoperative evaluation, preoperative preparation, surgical procedures, complications, surgical outcomes, and animal model studies of IDP were involved. The indications of IDP reported by literature were: (1) central alveolar hypoventilation; (2) Sleep apnea syndrome (Biot's respiration); (3) Respiratory failure induced by brainstem injury or disease; (4) Respiratory failure induced by spinal cord injury or disease above C3 level. **Conclusion** Our case study confirmed the therapeutic effect of IDP on patients with respiratory failure caused by HCSCI.

【Key words】 Respiratory failure; Electrical stimulation; Ventilator; Cervical spinal cord injury; Implantable diaphragm pacemaker

1972 年, Glenn 等^[1]首次将膈肌起搏器用于改善高位颈髓损伤患者呼吸功能并获得成功。目前, 膈肌起搏器可分为刺激膈神经起搏膈肌 (implantable diaphragm pacer, IDP) 以及膈肌内植入电极起搏膈肌 (膈肌内起搏器) 两类^[2-3]。IDP 是将刺激电极安放在膈神经的主干 (颈部或胸腔内), 通过刺激膈神经促使瘫痪膈肌节律收缩。已发展到第 4 代, 其临床应用时间最长, 病例最多, 相应的技术也较为成熟。膈肌起搏器技术在欧洲、美国、日韩等发达国家已被广泛应用。我国目前尚未引进此项技术。本文报道一例高位颈髓损伤 2 年, 成功应用 IDP 的案例。该技术的引进及开展, 经中国康复研究中心伦理审批 (2013LL-003), 患者签署知情同意下进行。

临床资料

一、病史

患者男, 14 岁, 2015 年 9 月 18 日, 无明显诱因出现左上肢疼痛伴随麻木不适, 随后出现肢体无力。约 4 h 后, 发展为四肢瘫, 出现面色青紫、胸闷、憋气, 失去自主呼吸。给予插管、呼吸机通气等急救处理后, 生命体征平稳。颈髓 MRI 检查发现颈 2、3 脊髓节段异常 T2 高信号 (图 1)。按脊髓炎诊治, 无明显恢复。患者四肢瘫、卧床、呼吸机维持生命 2 年后, 于 2017 年 8 月转院到北京中国康复研究中心。入院诊断: 颈 2 脊髓不全损伤 (ASIA 残损分级: B 级)^[4]; 呼吸衰竭; 气管切开插管术后。入院神经系统检查: 双侧最低正常感觉平面为颈 2, 颈 2 以下

痛、触觉减退, 鞍区感觉减退。重要肌肉力量检查: 左右胸锁乳突肌均为 2 级; 左右斜方肌均为 0 级; 左右三角肌分别为 1 和 0 级; 肱二头肌及以下关键肌力量均为 0 级。四肢肌张力高 (Ashworth 分级为 2~3 级)。翻身护理或被动活动肢体时, 可诱发四肢及躯干阵发性痉挛, 以屈肌群占优势。腹部叩击或按压, 可引起明显的反射性排尿, 2~3 d 大便 1 次。患者既往身体健康, 无心、肺疾病史。本次发病以来, 气管切开, 持续呼吸机通气, 间断有上呼吸道感染、肺部感染及泌尿系感染发生。

二、术前评估

一个由脊柱脊髓神经功能重建科、呼吸内科、麻醉科医生以及物理治疗师、护士组成的治疗团队, 负责患者的评估及治疗。术前重点评估患者的呼吸功能及膈神经功能。(1) 胸部正位 X 线检查: 未见明显肺部感染。膈肌位置, 参考锁骨中线位置, 右膈肌顶部位于胸 8、9 肋间, 左侧位于胸 8、9 肋间 (图 2)。(2) 呼吸活动: 停用呼吸机, 直视观察未见胸式、腹式呼吸活动。(3) 膈肌活动度: 停用呼吸机通气, 膈肌 B 超检查, 未探测到膈肌活动。呼吸机通气模式下 (潮气量设置 400 ml), 双侧膈肌顶点, 上下活多度约 3 cm。(4) 经皮膈神经电刺激检查: 采用体外膈肌起搏器 (广州泰科, EDP2-D2), 分别检查两侧膈神经应答。两个圆形电极被分别置于胸锁乳突肌中 1/3 后缘及胸骨旁第二肋间。膈肌收缩导致上腹部与刺激信号同步起伏活动, 可据此间接判断膈肌收缩及膈神经传导功能。检查结果显示右侧膈神经应答强, 左侧无明显应答。(5) 膈神经传导速度测定:



图1 颈髓MRI检查结果,T1加权像(图1A)显示颈2、3脊髓局部低信号,T2加权像(图1B)显示对应部位为异常高信号,提示局部脊髓水肿 图2 X线胸片示呼气末膈顶位置,图2A为呼吸机通气模式,图2B为膈肌起搏器模式

采用神经电生理记录仪(Adinstruments, Power Lab, 埃德仪器国际贸易有限公司),刺激电极位于颈部(同上),刺激电流强度 40 mA,方波宽度 700 μ s,每秒包含 20 个方波(文献参考范围:电流强度 20 ~ 100 mA,方波宽度 500 ~ 1 000 μ s,每秒包含 20 个方波)。表面记录电极位于腋前线与第 8 肋间交界处,接地电极位于剑突部。测定右侧传导速度 8 ms,左侧未记录到。(6)肺功能检查:不能完成。(7)动脉血气分析检查:呼吸机通气支持下 pH 值为 7.45, PO_2 为 103 mmHg(1 mmHg = 0.133 kPa, PCO_2 为 40.3 mmHg, PaO_2 为 99.3%,均正常范围。

三、膈肌起搏器植入手术

1. 膈肌起搏器:美国 Avery biomedical devices 公司生产的 IDP。植入电极型号 E377-05,接收器 I-110A(图 3)。

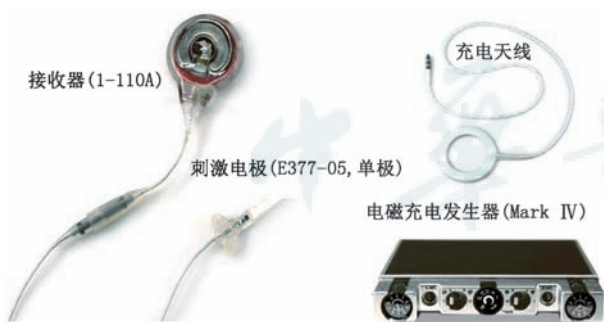


图3 膈肌起搏器部件主要包括接收器、刺激电极、无线充电器、线圈等部分

2. 外科手术:置患者于仰卧位。先行右侧膈神经显露及电刺激器植入:右侧锁骨中 1/3,上 2 cm 作平行锁骨切口,约 4 cm 长。显露胸锁乳突肌下外侧缘,见脂肪垫,显露其深部前斜角肌,于该肌肉表面寻找膈神经,用电刺激器刺激(2 ~ 4 mA),观察到腹部节率性起伏活动,据此确认显露神经为膈神经(图 4A)。游离膈神经约 1 cm 长,经其下植入电极,

用不可吸收丝线,将电极两侧固定翼固定于其下前斜角肌,保持电极与膈神经垂直。于右侧 4 ~ 5 肋锁骨中线区,作约 4 cm 横向切口,向上经皮肤、胸壁肌肉间制作“皮袋”供接收器安放。将刺激电极线在锁骨上方,绕双线圈后经皮下隧道至右前胸“皮袋”与接收器相连接。缝合切口前,用发射天线圈,经皮驱动起搏器,显示膈肌同步收缩有力,应答好。左侧膈神经显露及电刺激器植入同右侧。缝合手术切口后,于手术台上再次测试起搏器工作状态。

3. 术后处理:维持呼吸机通气;术后静脉给予抗生素 1 周,防止手术切口感染及肺部感染;给予费城围颌限制颈部活动,护理翻身中避免牵拉肩、颈部,防止颈部植入电极及前胸部皮下植入接收器脱落或移位;翻身及变换体位,1 次/2 h,经气管切口套管吸痰。

四、膈肌起搏器的调式及应用效果

1. 术后 4 周开始调试起搏器:手术切口炎症及水肿完全消退,植入物被软组织结构充分固定后,开始调试起搏器。测定右侧起搏电压阈值 0.1 V(引起膈肌开始收缩的最小起搏电压),最大化效应起搏电压 0.7 V(引起膈肌最大化收缩的最小起搏电压)。左侧给予 0.7 V 起搏电压,膈肌未见明显收缩。给予双侧 0.7 V 起搏电压,最大潮气量 840 ml。根据测试结果,设置起搏参数:双侧起搏电压 0.1 ~ 0.2 V,起搏频率为 9 次/min。初次起搏时间为 1 h,以后每日增加 1 h,直到连续起搏 12 h。经过 2 周适应性训练后,患者能实现 12 h 连续脱机,潮气量维持(410 ± 28) ml,监测 PaO_2 为 80 mmHg, $PaCO_2$ 为 40 mmHg, SO_2 为 96%。

2. 术后 6 周起搏参数设置:双侧起搏电压设定为 0.1 ~ 0.2 V,卧床体位下起搏频率为 9 次/min,轮椅活动模式下起搏频率为 12 次/min,潮气量维持(435 ± 32) ml。患者白天使用起搏器(8:00 至

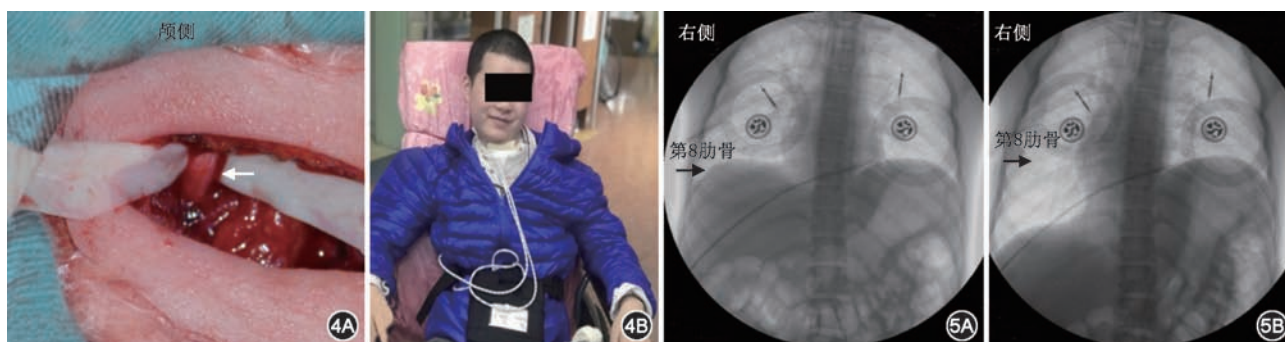


图4 膈肌起搏器植入手术及佩戴使用,图4A为术中显露的膈神经,图4B为患者佩戴膈肌起搏器;图5A为起搏前膈肌位置;图5B为起搏后右侧膈肌收缩,下降3个肋间隙范围,未见左侧膈肌收缩

22:00),晚上为呼吸机(22:00至次日8:00),佩戴IDP,乘坐轮椅外出活动(图4B)。术后3个月,主要靠起搏器维持呼吸,每周1~2次间断用呼吸机(夜间),防止膈肌疲劳。监测动脉血气分析:pH值为7.382,PaO₂为98.1 mmHg,PaCO₂为36.0 mmHg,SO₂为97%,标准血浆碳酸氢盐(HCO₃⁻)为22.8 mmol/L,均处于正常范围。术后4个月,完全脱离呼吸机,但气管切口套管仍保留,供吸痰用。

3. 术后3个月膈肌B超检查^[5]:起搏模式下,右侧膈肌顶上下活多度7 cm,左侧4 cm;胸部透视显示右侧膈肌大幅度活动,左侧不明显(图5)。起搏模式下记录膈肌肌电图(Dantec™ KEPOINT®,滤波器设置为20 Hz~10 kHz,关闭刺激器。双侧分别记录。记录电极为表面记录,正极位于腋前线与第8、9肋间交界处,负极位于腋中线与第7、8肋间交界处),右侧记录到膈肌肌电活动,左侧未记录到(图6)。

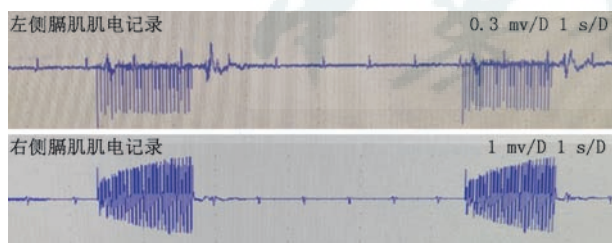


图6 膈肌肌电图可见左侧无明显活动,右侧膈肌存在肌电活动(起搏频率9次/min)

患者对起搏器耐受性良好。开始使用时,主诉右侧胸壁接收器植入部位疼痛。检查局部皮肤稍微红肿,有轻压痛,考虑胸部切口皮肤炎症,给予酒精湿敷1周后,症状消失。术前患者痉挛严重,术后起搏器未引起肌肉张力增加。颈部无电刺激导致的不适。

文献复习

以 phrenic nerve 和 electrical stimulation 和 spinal cord injury, 或 implantable diaphragm pacer 和 spinal cord injury, 或 breathing pacemaker system 和 spinal cord injury 等为关键词检索 PubMed, 范围为所有领域, 时间为 1970 年 1 月 1 日到 2018 年 1 月 1 日。去掉重复文献, 共获得 105 篇文献, 其中临床试验 7 篇, 综述 14 篇。阅读后筛选出与脊髓损伤呼吸功能障碍及膈神经电刺激相关文献, 共 78 篇, 其中临床实验 6 篇, 综述 10 篇。内容涉及膈肌起搏器手术前准备、膈神经功能评估方法、外科手术、并发症、手术效果及动物模型研究等。以膈神经和电刺激和脊髓损伤, 或膈肌起搏器和脊髓损伤, 或呼吸起搏器和脊髓损伤等为关键词, 对 CNKI 和万方数据进行检索。检索范围包括期刊物, 博士、硕士论文, 会议, 报纸。检索 CNKI 时间为 1981 年 1 月 1 日至 2018 年 1 月 1 日, 万方时间为 1900 年 1 月 1 日至 2018 年 1 月 1 日。去掉重复文献, 保留 128 篇。绝大部分文献是关于经皮膈神经电刺激器的应用研究, 仅 11 篇与植入式膈肌起搏器有关, 其中 8 篇为综述, 1 篇为动物模型研究, 2 篇为新闻报道。2 篇新闻报道中, 1 篇是关于本案例的, 另 1 篇来自江苏省人民医院的新闻报道(与国外联合, 用一种内置电池的新型电刺激器, 治疗睡眠呼吸暂停患者, 不同于本案例所用的植入式膈肌起搏器)。

近年的国外文献, 主要集中报道膈肌起搏器治疗睡眠呼吸暂停综合征, 尝试治疗脊髓侧束硬化导致的呼吸功能障碍, 以及外科技术改进(如通过胸腔镜进行微创手术)和起搏器更换手术。有 3 篇涉及经腹腔镜安装膈肌内起搏器, 主要讨论手术前准备、腹腔镜手术及适应证选择等。文献报道, 与呼吸

机支持通气相比, IDP 具有明显的优点: (1) 通气更接近生理通气模式, 周围及肺底组织通气良好; (2) 能增加患者的移动性, 患者生活在一种相对安静环境; (3) 不影响病人发音和说话; (4) 吸入气体经鼻腔, 发音有利于嗅觉恢复或保存; (5) 减少感染等并发症发生率; (6) 此外降低医疗费用^[2]。关于膈肌起搏器应用的长期疗效, 没有前瞻性或队列研究文献, 主要是文献综述。Glenn 是最早应用 IDP 的医师, 在 1985 年报道了 77 例患者的随访效果^[6]。截止至报道日期, 77 例患者的应用时间均超过 5 年, 其中有 33 例患者应用起搏器为 5~10 年, 15 例患者应用达到 10~16 年。目前有超过 30 年的记录。Posluszny 等^[7]报道 22 例患者, 术前测试均显示电刺激膈神经存在膈肌应答, 16 例患者平均脱机时间为 10.2 d, 2 例在 6 个月后, 3 例患者获得部分时间脱机, 最后有 8 例患者出现呼吸功能自发恢复, 移除 IDP。IDP 主要适应证为: 中枢性肺通气不足、睡眠呼吸暂停综合征(包括 Biot's respiration)^[8]、脑干损伤或疾病导致呼吸衰竭、C3 以上脊髓损伤或疾病失去自主呼吸^[2,9]。

讨 论

高位颈髓损伤或病变是 IDP 的最佳适应证。在美国, 脊髓损伤患者应用 IDP 属医疗保险支付范围。高位颈髓损伤患者是否能用起搏器, 主要取决于膈神经的传导功能是否完好。即使只有单侧膈神经传导功能好, 也能获得良好效果^[10-11]。但是很多幸存的、需要呼吸机支持的颈髓损伤患者, 特别是创伤性颈髓损伤, 病损多累及颈 3~5 呼吸中枢的膈神经细胞体^[12-13], 因此其轴突(膈神经)变性坏死, 失去传导功能, IDP 并不适用。术前及术中膈神经功能的评估十分重要。评估方法很多, 包括膈肌肌电图、膈神经的传导速度测定(正常参考值为 7.5~9 ms)^[14]、跨膈压变化(单侧膈神经刺激, 约 10 cmH₂O)^[14]以及透视下观察膈肌活动等^[15], 其中透视下观察膈肌活动最为可靠。电刺激正常的膈神经, 膈肌下降幅度应超过 5 cm, 若观察到膈肌下降 > 5 cm, 则提示起搏成功率高^[16]。应用呼吸机的患者, 胸部透视检查极不方便, 也可根据上腹壁起伏运动程度间接判断膈肌收缩情况。经皮电刺激本例患者的右侧膈神经, 存在有力的腹壁起伏活动, 左侧不明显, 与术中直接的电刺激结果一致。我们的经验是: 能直接观察到腹壁起伏活动提示膈神经完好。经皮电刺激测试方法简单, 但存在较高的假阴性。

出现假阴性的原因主要有: (1) 放置电极位置不准确; (2) 刺激电流强度偏小; (3) 患者颈部皮下脂肪深厚; (4) 膈神经部分损伤, 或长时用呼吸机, 患者膈肌出现萎缩, 应答差。因此, 手术中暴露膈神经后直接测试是最可靠的。此外, 颈髓 MRI 检查结果对判断膈神经核的残存情况能提供一定的参考。本例患者的损伤平面为颈 2 水平, 颈髓 MRI 显示颈 2~3 脊髓病变, 颈 4~5 脊髓饱满, 提示膈神经核保存良好。

IDP 可安放于颈部或胸腔内膈神经。本例患者选择了颈部入路。术中需要注意的是, 首先处理好气管插管。拔除颈部气管插管更换为经口插管时, 气管瘘口用碘伏消毒, 用纱布球封闭, 覆小片手术膜封闭, 可以扩大手术视野, 便于操作, 同时减少污染。其次, 手术中置入刺激电极时及关闭手术切口后, 应在手术台上分别测试起搏效果, 避免错误安放电极及安放的电极脱落。导线连接时, 在刺激电极端, 应盘曲导线为线圈状, 避免术后颈部及上肢活动牵拽电极。颈部入路优点是手术相对简单, 不易出现膈神经的手术误伤, 未来置换电极方便; 缺点是膈神经在颈部邻近臂丛, 电流扩散到臂丛导致不舒服或异常的肌肉收缩。此外, 有可能遗漏对副膈神经的刺激^[17]。本例患者未发现颈部刺激不适及异常的肌肉收缩。

术后注意事项主要包括使用抗生素防止切口感染; 限制颈肩过度活动, 防止体内电极移位; 首次起搏时间, 不同公司生产的 IDP 是不一致的, 美国 Avery biomedical devices 公司的是术后 4 周。

总之, 具有适应证的患者适当应用 IDP 能极大地提高高位颈髓损伤患者的生活质量。

参 考 文 献

- [1] Glenn WW, Holcomb WG, McLaughlin AJ, et al. Total ventilatory support in a quadriplegic patient with radiofrequency electrophrenic respiration[J]. N Engl J Med, 1972, 286(10): 513-516. DOI: 10.1056/NEJM197203092861004.
- [2] Abdunnur SV, Kim DH. Phrenic Nerve Stimulation: Technology and Clinical Applications[J]. Prog Neurol Surg, 2015, 29: 64-75. DOI: 10.1159/000434657.
- [3] Le PF, Legras A, Arame A, et al. Diaphragm pacing: the state of the art[J]. J Thorac Dis, 2016, 8(Suppl 4): S376-386. DOI: 10.21037/jtd.2016.03.97.
- [4] Burns S, Biering-Sørensen F, Donovan W, et al. International standards for neurological classification of spinal cord injury, revised 2011[J]. Top Spinal Cord Inj Rehabil, 2012, 18(1): 85-99. DOI: 10.1310/sci1801-85.
- [5] Gerscovich EO, Cronan M, McGahan JP, et al. Ultrasonographic evaluation of diaphragmatic motion [J]. Journal of ultrasound in medicine: official journal of the American Institute of Ultrasound in Medicine, 2001, 20(6): 597-604. DOI: 10.7863/jum.2001.

- 20.6.597.
- [6] Glenn WW, Phelps ML. Diaphragm pacing by electrical stimulation of the phrenic nerve[J]. Neurosurgery, 1985,17(6): 974-984.
 - [7] Posluszny JA, Onders R, Kerwin AJ, et al. Multicenter review of diaphragm pacing in spinal cord injury: successful not only in weaning from ventilators but also in bridging to independent respiration[J]. J Trauma Acute Care Surg, 2014,76(2):303-309; discussion 309-310. DOI: 10.1097/TA.0000000000000112.
 - [8] Abraham WT, Jagielski D, Oldenburg O, et al. Phrenic nerve stimulation for the treatment of central sleep apnea [J]. JACC Heart failure, 2015,3(5):360-369. DOI: 10.1016/j.jchf.2014.12.013.
 - [9] Brule JF, Leriche B, Normand J, et al. Patients with high spinal cord injuries: evaluation of diaphragmatic function, indication of electrophrenic ventilation[J]. Aggressologie, 1993,34 Spec No 2: 90-92.
 - [10] Karlsson AK, Dernevik L, Hoults B. Spinal cord injuries. An intact nerve can be enough for a successful phrenic nerve stimulation[J]. Lakartidningen, 2009,106(11):779.
 - [11] Oldenburg O, Bitter T, Fox H, et al. Effects of unilateral phrenic nerve stimulation on tidal volume. First case report of a patient responding to remede treatment for nocturnal cheyne-stokes respiration [J]. Herz, 2014,39(1):84-86. DOI: 10.1007/s00059-013-4043-4.
 - [12] Yang ML, Li JJ, Zhang SC, et al. Functional restoration of the paralyzed diaphragm in high cervical quadriplegia via phrenic nerve neurotization utilizing the functional spinal accessory nerve [J]. J Neurosurg Spine, 2011,15(2):190-194. DOI: 10.3171/2011.3.SPINE10911.
 - [13] Yang ML, Li JJ, Gao F, et al. A preliminary evaluation of the surgery to reconstruct thoracic breathing in patients with high cervical spinal cord injury [J]. Spinal cord, 2014,52(7):564-569. DOI: 10.1038/sc.2014.64.
 - [14] McKenzie DK, Gandevia SC. Phrenic nerve conduction times and twitch pressures of the human diaphragm [J]. J Appl Physiol (1985), 1985,58(5):1496-1504. DOI: 10.1152/jappl.1985.58.5.1496.
 - [15] Tedde ML, Vasconcelos FP, Hajjar LA, et al. Diaphragmatic pacing stimulation in spinal cord injury: anesthetic and perioperative management [J]. Clinics (Sao Paulo), 2012,67(11):1265-1269. DOI:10.6061/clinics/2012(11)07.
 - [16] Shaw RK, Glenn WW, Hogan JF, et al. Electrophysiological evaluation of phrenic nerve function in candidates for diaphragm pacing [J]. J Neurosurg, 1980,53(3):345-354. DOI: 10.3171/jns.1980.53.3.0345.
 - [17] 安广浩, 陈森, 詹文锋, 等. 电刺激膈神经逆转机械通气诱导膈肌功能不全影响的研究[J]. 中华结核和呼吸杂志, 2018,41(2):111-115. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1001-0939.2018.02.008.

(收稿日期:2017-12-22)

(本文编辑:吕小东)

· 读者·作者·编者·

本刊对论文中有关统计学表达的要求

统计学符号:按 GB 3358-82《统计学名词及符号》的有关规定,统计学符号一律采用斜体排印。加工时应注明“英大斜”、“英小斜”等。常用:(1)样本的算术平均数用英文小写 $\bar{x}$ (中位数仍用 M);(2)标准差用英文小写 s ;(3)标准误用英文小写 s_x ;(4) t 检验用英文小写 t ;(5) F 检验用英文大写 F ;(6)卡方检验用希文小写 χ^2 ;(7)相关系数用英文小写 r ;(8)自由度用希文小写 ν ;(9)概率用英文大写 P (P 值前应给出具体检验值,如 t 值、 χ^2 值、 q 值等)。概率数值用小数表示,不用百分数。例如: $P < 0.05$,不用 $P < 5\%$ 。

研究设计:应告知研究设计的名称和主要做法。例如调查设计(分为前瞻性、回顾性还是横断面调查研究)、实验设计(应告知具体的设计类型,如自身配对设计、成组设计、交叉设计、析因设计、正交设计等)、临床试验设计(应告知属于第几期临床试验,采用了何种盲法措施等);主要做法应围绕 4 个基本原则(重复、随机、对照、均衡)概要说明,尤其要告知如何控制重要非试验因素的干扰和影响。

资料的表达与描述:用 $\bar{x} \pm s$ 表达近似服从正态分布的定量资料,用 $M(QR)$ 表达呈偏态分布的定量资料;用统计表时,要合理安排纵横标题,并将数据的含义表达清楚;用统计图时,所用统计图的类型应与资料性质相匹配,并使数轴上刻度值的标法符合数学原则;用相对数时,分母不宜小于 20,要注意区分百分率与百分比。

统计学分析方法的选择:对于定量资料,应根据所采用的设计类型、资料所具备的条件和分析目的,选用合适的统计学分析方法,不应盲目套用 t 检验和单因素方差分析;对于定性资料,应根据所采用的设计类型、定性变量的性质和频数所具备的条件以及分析目的,选用合适的统计学分析方法,不应盲目套用 χ^2 检验。对于回归分析,应结合专业知识和散布图,选用合适的回归类型,不应盲目套用直线回归分析;对具有重复实验数据检验回归分析资料,不应简单化处理;对于多因素、多指标资料,要在一元分析的基础上,尽可能运用多元统计学分析方法,以便对因素之间的交互作用和多指标之间的内在联系作出全面、合理的解释和评价。

统计结果的解释和表达:当 $P < 0.05$ (或 $P < 0.01$) 时,应表述为对比组之间的差异具有统计学意义,而不应说对比组之间具有显著性(或非常显著性)差异;应写明所用统计学分析方法的具体名称(如:成组设计资料的 t 检验、两因素析因设计资料的方差分析、多个均数之间两两比较的 q 检验等),统计量的具体值(如: $t = 3.45$, $\chi^2 = 4.68$, $F = 6.79$ 等);在用不等式表示 P 值的情况下,一般选用 $P > 0.05$ 、 $P < 0.05$ 和 $P < 0.01$ 三种表达方式即可满足需要,无需再细分为 $P < 0.001$ 或 $P < 0.0001$ 。当涉及总体参数(如总体均数、总体率等)时,在给出显著性检验结果的同时,再给出 95% 可信区间。