

DOI:10.11798/j.issn.1007-1520.202625150

· 综述 ·

喉肌电图在声带麻痹诊断中的研究进展

郭文轩¹, 皇甫辉², 赵沛², 党春桃²

(1. 山西医科大学, 山西 太原 030001; 2. 山西医科大学第一医院耳鼻咽喉头颈外科, 山西 太原 030001)

摘要: 声带麻痹(VFP)是由多种原因引起支配喉内肌的运动神经传导通路受损,进而导致声带运动障碍的疾病。目前临床评估方法以喉镜、嗓音声学评估、CT及喉肌电图(LEMG)为主。其中LEMG为诊断VFP的金标准,通过对喉肌及神经电生理信号的采集,评估其损伤性质及程度,并进行定位、定性、定量及预后评估。然而,现阶段临床上LEMG的应用标准尚不统一。本文综述了VFP的病理生理机制和LEMG在VFP诊断方面的研究进展,旨在提升耳鼻咽喉科医师对该疾病的诊断准确率。

关键词: 声带麻痹;喉肌电图;诊断;定量分析;神经损伤
中图分类号:R767.4

Research progress of laryngeal electromyography in the diagnosis of vocal fold paralysis

GUO Wenxuan¹, HUANGFU Hui², ZHAO Hu², DANG Chuntao²

(1. Shanxi Medical University, Taiyuan 030001, China; 2. Department of Otolaryngology Head and Neck Surgery, First Hospital of Shanxi Medical University, Taiyuan 030001, China)

Abstract: Voice fold paralysis (VFP) is a disease caused by various factors that impair the neural pathways controlling the muscles within the larynx, leading to vocal cord movement disorders. The current clinical assessment methods mainly include laryngoscopy, voice acoustic assessment, CT, and laryngeal electromyography (LEMG). Among them, LEMG is the gold standard for diagnosing VFP. By collecting electrophysiological recordings from the laryngeal muscles and nerves, it is possible to assess the nature and extent of the damage, enabling precise, qualitative, and quantitative diagnosis and prognosis evaluation. However, the standards for the application of clinical LEMG are not yet uniform. This paper reviews the pathophysiological mechanism of VFP and the research progress of LEMG in the diagnosis of VFP. The aim is to improve the diagnostic accuracy of otolaryngologists for VFP.

Keywords: Vocal fold paralysis; Laryngeal electromyography; Diagnosis; Quantitative analysis; Neurological injury

声带麻痹(vocal fold paralysis, VFP)是喉部肌肉的运动神经传导受损所致。VFP患者在发声、呼吸和吞咽方面表现出不同程度的障碍^[1],对其在生活和工作中的沟通造成影响,严重降低了患者的生活质量。目前VFP常见病因有医源性损伤、病毒感染、全身性疾病及其他未知原因^[2]。VFP的诊断方法主要包括嗓音声学、喉镜检查以及喉肌电图(laryngeal electromyography, LEMG),其中LEMG是诊断VFP的金标准^[3]。LEMG通过判断喉部神经肌肉系统功能状态对VFP进行定位、定性、定量及

预后评估^[4]。本文就LEMG在VFP诊断中的研究现状和进展进行综述,以进一步提高耳鼻咽喉头颈外科医师对VFP的精准化诊疗水平。

1 VFP的病理生理机制

发声是一种复杂的过程,需要协调参与发声系统的各个部分^[5]。喉运动神经元中枢位于疑核,大脑皮层的喉运动中枢与双侧疑核相连,因此上运动神经元损伤引起VFP较为少见^[6]。临床较常见为

第一作者简介:郭文轩,男,在读硕士研究生。
通信作者简介:皇甫辉,男,博士,主任医师。

疑核以下神经通路异常引起的 VFP^[7]。迷走神经中支配喉内肌的运动纤维起源于疑核,通过内囊接受来自大脑皮层的神经冲动,在脑中横向外侧走行,从橄榄核后沟穿出髓质移行而来^[8]。喉返神经和喉上神经是迷走神经离开颅骨后的分支。神经损伤轻则表现为轴突断裂,重则表现为神经断裂,都会导致神经电冲动的传导受阻,造成所支配的喉肌运动障碍^[9]。神经损伤后,近心端一小部分及全部远心端的周围神经瓦勒变性后,轴突再生髓鞘形成并重塑,以每日约 1 mm 的速度向其支配的靶器官喉肌生长,称为亚临床神经再支配^[10]。其恢复程度取决于神经损伤的程度及性质,神经纤维再生的数量需要达到一定程度才能恢复声带的运动功能,否则声带仍然表现为麻痹状态。

2 LEMG 在 VFP 诊断中的应用进展

LEMG 是基于神经肌肉接头将神经电信号转化为化学信号这一现象,用于诊断、预后和治疗喉运动障碍疾病(包括喉肌张力障碍、VFP 及其他喉神经疾病)的一种技术。LEMG 由 Weddell^[11] 于 1946 年首次提出,Faaborg-Andersen 等^[12-13] 于 20 世纪 50 年代大力推进,经过几十年的发展,逐渐成为临床上重要的工具,尤其在嗓音疾病方面具有显著价值。随着欧洲喉科学会 LEMG 检查指南^[14] 的发表,该技术的操作更加完善和规范,应用范围也在不断扩大。

2.1 定位诊断

VFP 的 LEMG 检查主要评估环甲肌、甲杓肌和环杓后肌。甲杓肌和环杓后肌的肌电特征主要反映喉返神经的功能状态,而环甲肌的肌电特征则主要反映喉上神经的功能状态。这种评估有助于了解神经损伤对喉部功能的影响。若环甲肌及环杓后肌肌电特征异常,则提示神经损伤的位置位于喉上神经自迷走神经主干较高分支处;若仅甲杓肌和环杓后肌出现异常,通常提示神经损伤位于下颈部或纵隔平面,表明可能是喉返神经在这一区域受到影响^[15]。

2.2 定性诊断

Hu 等^[16] 研究表明,在喉返神经完全损伤时,喉肌的肌电活动接近电静息状态,LEMG 表现为失神经电位(如纤颤电位或正锐波)或再生电位,以及缺失的诱发电位。相反,喉返神经的不完全损伤则在 LEMG 上表现为正常电位与失神经电位或再生电位的混合,募集电位呈混合型或病理性干扰型,且喉神

经诱发电位的潜伏期延长、时程延长、波幅降低。这些特征有助于评估神经损伤的程度和类型。2001 年 Sittel 等^[17] 按照 Sedden 分类标准对 111 例 VFP 患者的 LEMG 特征进行归纳,其中神经失用特征表现为:自发性活动时无纤颤电位及正锐波,随意活动时时有单个运动电位发放,募集呈干扰相,波幅降低;轴突断裂特征为:自发性活动时记录到纤颤电位及正锐波,随意活动时为复合电位,募集呈混合相;神经断裂特征表现为:自发性活动时有纤颤电位及正锐波,随意活动时无正常运动单位电位,募集呈单纯相。

2.3 定量诊断

2.3.1 定量分析指标 LEMG 可用于主观评估运动单位的募集和运动单位电位,并为喉神经病变的恢复提供预后信息。Koufman 分级是 LEMG 评估的工具之一^[18]。鉴于 LEMG 定性分析的主观局限性,LEMG 定量分析常被推荐。因此,神经喉科研究小组在 2009 年建议验证 LEMG 定量分析,使测定指标在各个医学中心标准化,以提高诊断和预后的准确性^[19]。次年,在第 1 次使用 LEMG 定量分析的临床研究中,转折/波幅(turns/amplitude, T/A)分析被用作量化募集相模式的有效方法^[20]。这项研究首次提出了使用 T/A 分析对健康受试者的运动单位募集相进行定量评估,建议每个独立的医疗机构制定自己的运动单位募集的量化标准值。Rose 等^[21] 发现随着喉部肌肉收缩力量的增加,运动单位的募集数量和发放频率也会增加。在中等强度的收缩中,运动单位的电位会发生重叠,形成干扰现象。通过在单位时间内计数大于 100 μV 电位变化的 T 值,并测量其平均波幅 A 值,可以计算两者的比值,这有助于了解肌肉收缩时运动单位的同步性及肌电活动的频率,进而反映神经支配和肌肉活动状态。T/A 分析是评估神经损伤及恢复的重要方法。神经损伤后,骨骼肌的张力和肌电 A 值会增加,而 T 值的变化相对较小,此时 A-T 曲线的斜率也会增大,而神经再生后,T 值会恢复升高。

2.3.2 定量分析研究现状 Lindestad 等^[22-23] 为了探究 LEMG 募集相定量分析在评估喉部肌肉功能临床应用中的价值,通过让 12 名正常受试者分别在不同音高和音强下发声,记录 LEMG 募集相中平均 T 值和 A 值,结果发现在环甲肌与甲杓肌中,A 值为 100~400 μV ,T 值为 100~500 r/s。随着音高的增加,T 值和 A 值均增加,且 T 值的增加更加明显。相反,随着音强的增加,T 值和 A 值的增加无明显统计

学意义。男女之间没有太大的差异。该研究表明 LEMG 募集相 T/A 分析是研究持续发声期间喉部肌肉功能的有效方法。

为了探究 LEMG 募集相定量分析是否可以提高诊断 VFP 敏感性, Lindestad 等^[24]通过对 10 例 VFP 患者进行 LEMG 定性分析和定量分析(T/A), 在保持音强不变的情况下, 分别记录环甲肌与甲杓肌在高基频与低基频的肌电活动。结果显示, 在 LEMG 定性分析提示异常的情况下, LEMG 定量分析提示异常; 在 LEMG 定性分析提示正常的情况下, LEMG 定量分析仍存在提示异常的情况, 且只有 3 名受试者的 LEMG 定量分析与 LEMG 定性分析结果提示一致, 因此研究者认为在诊断 VFP 时, LEMG 募集相的定量分析并不优于 LEMG 定性分析。

2010 年, Statham 等^[20]为了建立 LEMG 募集相 T/A 分析定量标准, 与 VFP 患者 LEMG 募集相进行比较, 进行了一项回顾性病例对照研究。该研究对 21 例对照组成员及 16 例 VFP 患者行 LEMG 检查, 通过改变甲杓肌收缩力大小, 分别记录对照组成员和 VFP 患者 LEMG 募集相平均 T 值和 A 值。研究发现, 对照组成员甲杓肌 LEMG 募集相 A 值随收缩力改变, 保持在 145~1 112 μV , 与 VFP 患者相比, 对照组甲杓肌 LEMG 募集相 T 值明显升高(450 vs. 290, $P=0.002$)。LEMG 定量分析可更好地提示异常神经支配的肌肉来提高 VFP 的诊断和预后准确性。2012 年 Smith 等^[25]通过对 23 例 VFP 患者进行回顾性研究, 发现在对 23 例受试者分别行 LEMG 定性检查(募集相、运动单位电位、联带运动)及定量检查(T/A)后, 4 例预后良好的 VFP 患者声带均恢复了运动, 其余 19 例预后不良 VFP 患者中 17 例声带均恢复较差。阳性预测值为 100%, 阴性预测值为 87.5%。研究表明, 将定性和定量的 LEMG 分析结合起来, 可以提高 VFP 患者的预后准确性。其中, LEMG 定量分析可以减少运动单位电位形态及募集相主观评价造成的影响。

在 Statham 等^[20]建立甲杓肌 LEMG 定量研究的基础上, Fang 等^[26]探究了环甲肌是否同样可以进行 LEMG 定量分析, 通过对 103 例单侧 VFP 患者行 LEMG 检查, 记录受试者的声学分析及 LEMG 募集相转折频率。研究发现, 环甲肌失神经支配组患者的转折频率较对照组存在明显统计学差异[(406 $\pm$ 256) vs. (778 $\pm$ 238) Hz, $P<0.001$]。LEMG 在环甲肌中的定量分析可以有效反映 VFP 患者喉上神经损伤程度。2016 年 Chang 等^[27]发现特发性 VFP 缺

乏较为全面的评估, 有必要应用客观的评估来描述其临床特征, 因此通过 17 例特发性 VFP 患者与 107 例因手术导致 VFP 患者的 LEMG 定量分析, 发现与医源性组相比, 特发性 VFP 患者组的甲杓肌 LEMG 定量分析转折频率(489.6 $\pm$ 242.9) Hz 显著高于医源性组(306.1 $\pm$ 225.8) Hz ($P=0.003$), 与医源性 VFP 相比, 去神经支配较少, 声音质量更好, 生活质量更好。

2021 年 Chen 等^[28]为了开发甲杓肌 LEMG 募集相定量分析(T/A)标准值, 通过对 77 例单侧 VFP 患者行 LEMG 检测, 分别对患侧声带及健侧声带进行定性分析、定量分析及 Koufman 分级。结果显示, 患侧声带的 T 值和 A 值的中位数分别为 381 r/s 和 302 μV 。对于健侧声带, T 值和 A 值的中位数分别为 543 r/s 和 384 μV 。患侧和健侧声带的比较表明, 患侧声带的 T 值和 A 值中位数显著较低($P<0.001$)。同时该研究将 Koufman 分级与 LEMG 募集相定量分析进行相关性分析, 发现两者之间存在中度负线性关系。将 Koufman 分级与 LEMG 募集相定量分析相结合, 能够提高 VFP 的诊断准确性。

2.4 预后评价

LEMG 在 VFP 预后评估中起重要作用。LEMG 若出现正常运动单位电位波形和募集, 表明神经恢复情况良好; 若出现正锐波及纤颤电位或者运动单位电位的缺失, 表明神经恢复不良^[29]。Munin 等^[30]分析了 31 例 VFP 患者的 LEMG, 发现运动单位募集与声带运动的恢复有关, 而与纤颤或多相运动单位电位无关。对声带运动恢复的阴性预测值为 66.7%, 对持续性 VFP 的阳性预测值为 80.0%。如果患者的喉肌电信号预后良好, 但有明显的发声障碍, 可以采取临时措施, 如明胶海绵注射或发声治疗。如果预后不佳, 可以更早地进行更明确的永久性手术, 以帮助患者说话和吞咽。Blitzer 等^[31]研究发现神经再生的出现并不意味着预后良好, 因为拮抗肌可能受再生神经的错误支配, 导致神经再支配的喉肌丧失正常的运动功能。Lekue 等^[32]认为如果 LEMG 显示吸气相的募集反应增多, 并超过发声相, 这可能提示喉部的神经再支配。这种现象可能是再生神经错误地生长到拮抗肌的运动终板, 导致拮抗肌的同步收缩, 即联带作用的出现。因此, 联带作用的发生通常预示着预后不良。

3 展望

LEMG 通过检测喉部肌肉的神经冲动和电话

动,能够帮助区分 VFP 的类型,例如判断是中枢性还是周围性麻痹。这种技术的应用提高了 VFP 的诊断精度,帮助临床医生更加准确地判断病因,从而制定更有针对性的治疗方案。但是,目前常规的 LEMG 操作是有创的,患者的依从性较差,且对于定性分析结果的判读主要依赖操作者的主观分析,缺乏准确的参考标准,使得 LEMG 的应用多局限于定量分析。未来随着人工智能和数据分析技术的进一步发展,LEMG 在 VFP 诊断中的应用有望实现更高的自动化和智能化。这不仅能提高诊断效率,还将推动个性化治疗的进步,最终为患者提供更优质的医疗服务。通过持续的临床研究和技术革新,LEMG 将在声带疾病的临床评估中扮演更加重要的角色。

参考文献:

- [1] Ridgway C, Bouhabel S, Martignetti L, et al. Pediatric vocal fold paresis and paralysis: A narrative review[J]. *JAMA Otolaryngol Head Neck Surg*, 2021, 147(8): 745-752.
- [2] Lechien JR, Hans S, Mau T. Management of bilateral vocal fold paralysis: A systematic review[J]. *Otolaryngol Head Neck Surg*, 2024, 170(3): 724-735.
- [3] Lu YA, Tsai YC, Lin WN, et al. Pathophysiological mechanisms underlying unilateral vocal fold paralysis in female patients: An ultrasonographic Study[J]. *Clin Exp Otorhinolaryngol*, 2023, 16(4): 395-402.
- [4] Lin RJ, Munin MC, Belsky M, et al. Technical challenges for laryngeal electromyography[J]. *Laryngoscope*, 2024, 134(2): 831-834.
- [5] González-García M, Carrillo-Franco L, Morales-Luque C, et al. Central autonomic mechanisms involved in the control of laryngeal activity and vocalization[J]. *Biology (Basel)*, 2024, 13(2): 118.
- [6] Park J, Choi S, Takatoh J, et al. Brainstem control of vocalization and its coordination with respiration[J]. *Science*, 2024, 383(6687): eadi8081.
- [7] Quindlen CE, Alnouri G, Sataloff RT. Safety of laryngeal electromyography and repetitive stimulation[J]. *J Voice*, 2025, 39: 770-774.
- [8] Prescott SL, Liberles SD. Internal senses of the vagus nerve[J]. *Neuron*, 2022, 110: 579-599.
- [9] Wang HW, Lu CC, Chao PZ, et al. Causes of vocal fold paralysis[J]. *Ear Nose Throat J*, 2020, 101: 294-298.
- [10] Ryu CH, Kwon TK, Kim H, et al. Guidelines for the management of unilateral vocal fold paralysis from the Korean society of laryngology, phoniatrics and logopedics[J]. *Clin Exp Otorhinolaryngol*, 2020, 13(4): 340-360.
- [11] Weddell G. Observations on the value of electromyography in lesions involving the lower motor neurone in man[J]. *Proc R Soc Med*, 1946, 39: 339.
- [12] Faaborg-Andersen K, Buchthal F. Action potentials from internal laryngeal muscles during phonation[J]. *Nature*, 1956, 177(4503): 340-341.
- [13] Buchthal F. Electromyography of intrinsic laryngeal muscles[J]. *Q J Exp Physiol Cogn Med Sci*, 1959, 44(2): 137-148.
- [14] Volk GF, Hagen R, Pototschnig C, et al. Laryngeal electromyography: a proposal for guidelines of the European Laryngological Society[J]. *Eur Arch Otorhinolaryngol*, 2012, 269(10): 2227-2245.
- [15] Chung WL, Liu KC, Chuang HF, et al. Aerodynamic performance and neuromuscular control in patients with unilateral vocal fold paralysis[J]. *Diagnostics (Basel)*, 2022, 12(12): 3124.
- [16] Hu R, Xu W, Cheng L. The causes and laryngeal electromyography characteristics of unilateral vocal fold paralysis[J]. *J Voice*, 2023, 37(1): 140. e113-140. e119.
- [17] Sittel C, Stennert E, Thumfart WF, et al. Prognostic value of laryngeal electromyography in vocal fold paralysis[J]. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg*, 2001, 127(2): 155-160.
- [18] Koufman JA, Postma GN, Whang CS, et al. Diagnostic laryngeal electromyography: The wake forest experience 1995-1999[J]. *Otolaryngol Head Neck Surg*, 2001, 124(6): 603-606.
- [19] Blitzer A, Crumley RL, Dailey SH, et al. Recommendations of the neurolaryngology study group on laryngeal electromyography[J]. *Otolaryngol Head Neck Surg*, 2009, 140(6): 782-793.
- [20] Statham MM, Rosen CA, Nandedkar SD, et al. Quantitative laryngeal electromyography: Turns and amplitude analysis[J]. *Laryngoscope*, 2010, 120(10): 2036-2041.
- [21] Rose AL, Willison RG. Quantitative electromyography using automatic analysis: studies in healthy subjects and patients with primary muscle disease[J]. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 1967, 30(5): 403-410.
- [22] Lindestad PA, Fritzell B, Persson A. Evaluation of laryngeal muscle function by quantitative analysis of the EMG interference pattern[J]. *Acta Otolaryngol*, 1990, 109(5-6): 467-472.
- [23] Lindestad PA, Fritzell B, Persson A. Quantitative analysis of laryngeal EMG in normal subjects[J]. *Acta Otolaryngol*, 1991, 111(6): 1146-1152.
- [24] Lindestad PA, Persson A. Quantitative analysis of EMG interference pattern in patients with laryngeal paresis[J]. *Acta Otolaryngol*, 1994, 114(1): 91-97.
- [25] Smith LJ, Rosen CA, Niyonkuru C, et al. Quantitative electromyography improves prediction in vocal fold paralysis[J]. *Laryngoscope*, 2012, 122(4): 854-859.
- [26] Fang TJ, Pei YC, Hsin LJ, et al. Quantitative laryngeal electromyography assessment of cricothyroid function in patients with unilateral vocal fold paralysis[J]. *Laryngoscope*, 2015, 125(11): 2530-2535.
- [27] Chang WH, Fang TJ, Li HY, et al. Quantitative electromyographic characteristics of idiopathic unilateral vocal fold paralysis[J]. *Laryngoscope*, 2016, 126(11): E362-E368.

- [28] Chen I HK, Remli R, Azman M, et al. Quantitative laryngeal electromyography (LEMG) in unilateral vocal fold paralysis: Developing normative values using the opposite normal mobile vocal fold[J]. *Auris Nasus Larynx*, 2021, 48(6): 1140–1149.
- [29] Lee DY, Kogay D, Song S, et al. Prognostic value of the posterior cricoarytenoid muscle atrophy in computerized tomography scans for unilateral vocal fold paralysis recovery[J]. *Eur Arch Otorhinolaryngol*, 2020, 277(3): 827–832.
- [30] Munin MC, Rosen CA, Zullo T. Utility of laryngeal electromyography in predicting recovery after vocal fold paralysis[J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2003, 84(8): 1150–1153.
- [31] Blitzer A, Jahn AF, Keidar A. Semon's law revisited: An electromyographic analysis of laryngeal synkinesis [J]. *Ann Otol Rhinol Laryngol*, 1996, 105(10): 764–769.
- [32] Lekue A, García-López I, Santiago S, et al. Diagnosis and management with botulinum toxin in 11 cases of laryngeal synkinesis [J]. *Eur Arch Otorhinolaryngol*, 2015, 272(9): 2397–2402.
(收稿日期:2025-03-27)

本文引用格式:郭文轩,皇甫辉,赵浒,等. 喉肌电图在声带麻痹诊断中的研究进展[J]. 中国耳鼻咽喉颅底外科杂志, 2026, 32(2): 114–118. DOI:10. 11798/j. issn. 1007–1520. 202625150

Cite this article as: GUO Wenxuan, HUANGFU Hui, ZHAO Hu, et al. Research progress of laryngeal electromyography in the diagnosis of vocal fold paralysis [J]. *Chin J Otorhinolaryngol Skull Base Surg*, 2026, 32 (2): 114 – 118. DOI: 10. 11798/j. issn. 1007 – 1520. 202625150