

·综述·

## 电刺激用于偏瘫肩痛治疗的临床应用进展

张 婷<sup>1,2</sup> 路微波<sup>2,3</sup>

偏瘫肩痛(hemiplegia shoulder pain, HSP)是脑卒中常见并发症之一,通常发生在脑卒中后2周—2个月,以30%至80%的高发病率引起临床关注<sup>[1-2]</sup>。目前HSP的病因尚未明确,涉及电刺激的临床应用可能与肩关节半脱位、软组织损伤、肌张力异常、周围神经损伤和局部血液循环障碍有关。HSP阻碍了偏瘫侧肢体运动功能恢复,延长了康复治疗住院时间,同时疼痛也会影响患者睡眠和生活,甚至产生焦虑和抑郁情绪。因此,对于HSP的早期预防、及时发现、合理治疗就尤为重要<sup>[3]</sup>。目前对HSP干预方法有许多,电刺激应用较普遍,治疗过程不良事件发生率低,价格低廉,但种类繁多,治疗效果不一。本文主要对临床上偏瘫肩痛的电刺激治疗方法进行分析,比较不同电刺激技术的临床疗效,从而为偏瘫肩痛的治疗提供科学依据。

电刺激(electrical stimulation, ES)是将电极贴片放置于皮肤表面或者肌肉内,通过相应参数的低频脉冲电流(1000Hz以下)刺激肌肉或神经,达到止痛的电疗法。1831年首次报道ES引起肌肉收缩,经过百余年的发展,ES临床运用逐步扩大和完善,推广用于提高肌肉力量,增加运动范围,减轻水肿,缓解痉挛,加快血液循环,预防肌肉萎缩,促进组织修复,减轻疼痛等方向<sup>[4]</sup>。目前HSP的电刺激主要有经皮神经电刺激(transcutaneous electrical nerve stimulation, TENS)、功能性电刺激(functional electrical stimulation, FES)、神经肌肉电刺激(neuromuscular electrical stimulation, NMES)、周围神经刺激(peripheral nerve stimulation, PNS)、植入微型刺激器电刺激(implanted microstimulator electrical stimulation, IMES)。

### 1 经皮神经电刺激

TENS是一种安全、非侵入的电刺激方法,其主要机制为Melzack<sup>[6]</sup>提出的闸门控制学说——电极片放置与皮肤表面,以感觉阈上强度刺激脊髓Ⅱ型神经纤维(粗纤维)已达到减轻疼痛的治疗方法。TENS镇痛机制还包括:激活内源性镇痛效应<sup>[5]</sup>,以及扩张血管,加快血液循环,促使致痛物质的清除,提高镇痛效果<sup>[7]</sup>。临床上使用的TENS主要分为通用型、

针灸型、混合型和调制型,以通用型为最常见,其为感觉水平的刺激,频率约为100Hz,脉宽20—100 $\mu$ s,其特点为频率高,强度低,脉宽小,不引起肌肉收缩,镇痛效果快,但持续时间较短。临床研究已肯定TENS对于减轻急性和慢性HSP的疗效。

Ekim等<sup>[8]</sup>通过随机对照试验,对19例HSP的患者经随机分组后进行TENS治疗和常规治疗,以视觉模拟评分(visual analogue scale, VAS)评价疗效,连续治疗3周后,肩痛明显改善,肩关节以外展和外旋被动活动度提高。TENS有效治疗HSP的机制可能是:患侧肩部处于瘫痪弛缓期,由于肩部肌力、肌张力的降低,软组织在重力的作用下发生进一步损害,TENS通过刺激感觉粗纤维,使脊髓后角胶质细胞活化,抑制神经向中枢传人,同时通过电刺激使得内源性阿片物质释放增加,以达到镇痛的效果。张晓玲等<sup>[9]</sup>对68例肩手综合征患者进行TENS干预治疗,结果显示TENS能够减轻偏瘫侧肢体疼痛和肿胀,同时提出,交感神经皮肤反应可以用于肩手综合征患者疗效评估,该研究同样可以用闸门控制学说解释,TENS降低肩手综合征病理过程中的交感神经兴奋性和舒张痉挛的血管,纠正神经调节系统,从而达到消肿止痛的治疗目的。Moniruzzaman等<sup>[10]</sup>进行了45例HSP患者临床研究,86.66%的患者存在肩关节囊粘连,结果显示TENS和超声均能降低疼痛程度,TENS安全性高于超声,被动关节活动范围的改善优于超声。TENS对于HSP患者疼痛有效,但目前对于疼痛的评定大多采用VAS,该评定方法缺乏客观性和精准性<sup>[11]</sup>,使得研究结果可比性差,可重复性低,尚需进一步研究。TENS治疗HSP中,以早期、软组织损伤、神经异常为主,痉挛期治疗偏少,这可能与TENS不引起肌肉收缩有关。TENS的其他模式(如针灸型)可能有利于疼痛和运动的同时改善。目前缺乏对HSP进行分期分型研究和长时间的随访研究。

### 2 功能性电刺激

FES是神经肌肉电刺激的一种,以一定强度的电刺激肩部周围一组或者几组肌肉,诱发肩部肌肉收缩达到模拟其正

常主动运动,增加肩部肌肉的稳定性。同时FES能够兴奋粗纤维,减弱疼痛刺激输入水平,向上传导刺激中枢内源性痛觉调制系统,释放5-HT、阿片肽等镇痛递质,同时促进局部血液循环,清除肩周病理代谢产物,从而达到治疗HSP的效果<sup>[12]</sup>。FES通常频率为20—40Hz,脉宽调节为100—600 $\mu$ s,属于运动水平刺激,缓解疼痛过程中,还可以增加关节活动度,提高肌肉肌力和肌张力,防止肌肉萎缩。

目前FES治疗HSP的临床效果存在争议<sup>[13-16]</sup>。Vuagnat等<sup>[13]</sup>对HSP的病因和治疗进行详细分析,认为FES应早期用于肩痛伴肩关节半脱位的患者。有许多研究学者认为,肩关节半脱位与HSP具有相关性,其机制主要如下:脑卒中痉挛弛缓期,肩部周围肌肉松弛(如三角肌、冈上肌、斜方肌),仅靠关节囊和周围韧带不足以维持肩关节静态及动态稳定性,在外力(包括上臂重力和外部牵拉力)作用下股骨头相对于关节盂发生移位,使得关节间隙增加。肩关节半脱位的发生进一步损伤肩周软组织及神经,炎性物质分泌增加,促使肩痛的发生。付明超等<sup>[14]</sup>纳入脑卒中1个月肌张力障碍的HSP患者64例,简式McGill疼痛问卷表结果显示FES组肩痛减轻,该研究强调了肌张力障碍对HSP的影响。

有部分学者认为FES治疗HSP无效<sup>[15-16]</sup>。Koyuncu等<sup>[15]</sup>对50例偏瘫肩痛和肩关节半脱位的患者经FES刺激冈上肌和三角肌后束,结果表明FES不能改善偏瘫肩痛,但可以改善肩关节半脱位。Vafadar等<sup>[16]</sup>对FES在脑卒中后上肢功能的康复疗效进行系统性回顾和meta分析也得出相同的结果,这可能是由于FES治疗HSP临床研究中样本量偏少,疼痛评定量表客观性不高,年龄、性别、发病时间等存在差异,使得研究结果偏差增加。因此,FES治疗HSP的效果需要进一步研究。

### 3 神经肌肉电刺激

NMES是一种低频电刺激,通过刺激II型快肌纤维产生肌肉收缩,维持肌肉活性,保持关节活动度,促进肌肉运动再学习能力和易化作用,防止肌肉萎缩,减少痉挛的发生,促进局部血液循环作用。NMES临床应用一般频率保持在15—50Hz,脉宽为200—400 $\mu$ s,电极可以置于皮肤表面和肌肉内。NMES早在1964年文献报道通过NMES刺激肌肉收缩改善运动功能,目前发现NMES对HSP也有一定疗效。Vuagnat等<sup>[18]</sup>筛选脑卒中后肩痛伴半脱位的患者,经NMES治疗3周后肩关节疼痛显著改善,股骨头复位、肩关节运动功能显著提升。Shimada等<sup>[19]</sup>研究证明,NMES降低脑卒中后肩关节半脱位和肩痛可行性和有效性。NMES治疗HSP的机制除了低频电镇痛外,可能还包括其形成的刺激-收缩模式,这种模式可以促进肌肉功能、改善肌张力、维持肩部正常解剖结构和功能,同时肌肉在收缩的同时形成的“肌肉泵”

改善局部血液循环,从而达到止痛的临床作用。对于HSP的治疗NMES也存在负面报道,Price等<sup>[20]</sup>对NMES治疗进行了系统性的回顾,总结出NMES可以提高无痛范围的被动外旋和降低肩关节半脱位,但是不能提高运动功能和改善肩部疼痛。Jong等<sup>[21]</sup>对脑卒中亚急性期运动功能严重损害的患者上肢处于伸展姿势给予NMES治疗8周后,活动范围、肩痛、功能均未改善。因此,NMES降低HSP的有效性尚待证明。

### 4 周围神经刺激

PNS是一种微创的、可逆性的外科介入将电极片置于支配疼痛区域的神经附近,通过持续的低频电流治疗疼痛的方法,又称肌肉内电刺激,早在1999年就有学者使用PNS治疗HSP,研究者认为PNS有效改善慢性HSP,并且疗效持续。Chae和Yu等<sup>[22-23]</sup>进行了多中心的随机对照研究,四通道途径PNS通过皮肤电极刺激斜方肌、冈上肌、三角肌中束、三角肌后束的运动点(分别由副神经、肩胛上神经、腋神经支配)产生活动,每天6h,持续6周,结果显示PNS降低HSP明显优于肩袖吊带,治疗结束后12个月后疗效仍然持续。由于四通道途径PNS可能增加技术难度和疼痛,Wilson等<sup>[24]</sup>采用单通道PNS对25例HSP患者干预治疗3周后,PNS组疼痛明显改善,特别在治疗后6周和12周变化更为显著。Johnd等<sup>[25]</sup>在2012年对8名受试者进行每天6h的三角肌内刺激,持续3周,研究证明肌肉内神经治疗慢性肩痛的可行性。单通道PNS是安全、有效的肩痛治疗方法,操作相对简易,并发症减少,疗效可持续12周以上,目前有效机制不明确,缺乏大样本的对照研究。

### 5 植入微型刺激器电刺激

IMES是一种外科介入治疗HSP的方法,属于周围神经电刺激的一种,该刺激器装有可充电的电池,Yu等<sup>[26]</sup>首次报道IMES治疗脑卒中后慢性肩痛,研究者在门诊招募了1名58岁的男性慢性HSP患者,在肩部局部麻醉下,经皮肤在腋神经出四边孔处植入微型刺激器,植入过程患者耐受度可,使用简易疼痛量表12进行疗效评估,每天接受6h电刺激持续12周,结果显示,疼痛较前明显改善,随访3个月后疼痛进一步减轻,同时肩被动活动范围和运动功能亦得到改善。IMES治疗HSP症状明显改善并以疗效持续为特点,尽管首次操作复杂,但携带方便,治疗过程简单可行,患者在治疗过程中可自由活动。IMES治疗HSP临床研究目前较少,可行性、安全性及有效性需要更多临床研究进一步证实。

除上述ES外,还有微电流神经肌肉刺激(microcurrent electrical neuromuscular stimulation,MENS),它是一种感觉阈下或无感觉电刺激,文献报道具有消炎、止痛、缓解肌肉紧张等作用,但临床研究疗效并不确定。

## 6 展望

Adey等<sup>[27]</sup>通过临床随访研究发现,HSP的发病率接近30%,其峰值和严重程度则发生于随访时第4个月。因此,HSP的早期诊断和康复介入体现得尤为重要。虽然HSP干预方法较多,但其疗效却并不理想甚至逐渐衰弱。HSP大体可以分为两个时期,即早期瘫痪弛缓期和晚期痉挛期,各个时期中HSP的病理生理机制有所差异。HSP早期主要与肩关节半脱位、肌张力降低、软组织损伤、周围神经损伤、肩手综合征相关,晚期主要与痉挛性改变相关,这两个时期并不可以完全分离开来。在电刺激对HSP研究中,早期伴有肩关节半脱位,TENS、FES和NMES对该类型HSP患者均有研究,TENS通过促进血液循环、激活内源性镇痛物质等达到止痛的效果,FES减弱疼痛刺激输入水平,刺激中枢内源性痛觉调制系统,同时,可以诱发肩部肌肉收缩,增加肩部肌肉的稳定性,对于HSP伴有肩关节半脱位的患者有效性可能优于TENS,希望以后的临床研究可以证实;HSP患者伴有软组织损伤或肩手综合征,推荐早期介入TENS,通过其闸门控制学说抑制疼痛信号的传入,降低交感神经兴奋性和舒张痉挛的血管,从而达到消肿止痛的治疗目的,同时临床上需要加强TENS的其他模式的应用,研究出耐受度佳、治疗效果持久的方法;HSP伴有肌张力降低时,推荐使用FES或者NMES,除了其低频电镇痛外,还可以通过肌纤维产生肌肉收缩,被动形成“肌肉泵”促进局部血液循环,进一步减轻疼痛,同时通过被动的收缩恢复和维持肌肉张力,FES可以模拟正常的肩部活动,NMES更侧重于刺激肩部肌肉收缩不产生关节运动的训练且易发生肌肉疲劳,对于肩部的肌肉训练FES优于NMES;慢性HSP患者建议使用PNS或IMES,除了其低频电刺激镇痛外,疗效持久成为其突出优势,但临床应用中需严格考虑患者身体状况,排除相应禁忌证,应加强PNS或IMES治疗HSP的临床研究,减少不良反应的发生;HSP后期进入痉挛恢复期,由于关节囊、韧带短缩和肌肉挛缩致使上肢持续保持内旋内收的痉挛模式,该时期HSP治疗方法多采用肉毒素毒素放松肩部肌肉,缓解痉挛,达到止痛的效果。但在临床研究中有时很难将HSP的不同病理机制区别开来,需要通过加强肌骨超声、肩部MRI和关节造影检查等方法进一步明确HSP的病因。

迄今为止ES治疗HSP临床文献较多,但未指出一种持续有效的治疗方法,对于HSP的ES治疗需要明确其病理机制,然后对症治疗,提高疼痛疗效评估的客观性,增加随访时间,明确疗效的持续时间,建立规范的治疗方案。

同时,对于ES治疗HSP的研究需要一些创新性的试验设立理念。近些年来许多研究中对FES进行改良,扩大了临床应用范围及疗效,Yun等<sup>[28]</sup>创新性地使用脑机接口控制的FES[brain-computer interface (BCI)-controlled FES, BCI-

FES]治疗脑卒中后肩痛和肩关节半脱位优于FES,BCI-FES要求患者注意力集中,配合想象运动诱发肩部肌肉运动,为脑卒中的康复治疗提供新的治疗方法。宋小慧等<sup>[29]</sup>运用肌电反馈功能性电刺激有效改善脑梗死急性期患者手功能,这是在FES的基础上增加了实时肌电反馈功能,患者可以随意控制肢体运动,该研究是FES创新性的研究,目前并未应用于HSP的治疗,可能成为新的治疗方法。除了ES治疗HSP有效外,其他物理因子治疗方法(例如:激光、中频脉冲电刺激、中医定向透药疗法)已被证明治疗肩痛有效,但对于HSP的临床研究目前较少,尚需完善更多研究。

## 参考文献

- [1] O'Donnell MJ, Diener HC, Sacco RL, et al. Chronic pain syndromes after ischemic stroke: Profess trial[J]. Stroke, 2013, 44(5):1238—1243.
- [2] Adey Wakeling Z, Arima H, Crotty M, et al. Incidence and associations of hemiplegic shoulder pain poststroke: Prospective population-based study[J]. Archives of Physical Medicine & Rehabilitation, 2014, 96(2):241—247.
- [3] Roosink M, Renzenbrink GJ, Geurts AC, et al. Underlying pathology and associated factors of hemiplegic shoulder pain. [J]. American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation, 2011, 90(9):768—7680.
- [4] Doucet BM, Lam A, Griffin L. Neuromuscular electrical stimulation for skeletal muscle function[J]. Yale Journal of Biology & Medicine, 2012, 85(2):201—215.
- [5] Oniruzzaman M, Salek M, Shakoor A, et al. Effects of therapeutic modalities on patients with poststroke shoulder pain[J]. Mymensingh Med J, 2010, 19(1):48—53
- [6] Melzack R. The future of pain[J]. Nat Rev Drug Discov, 2008, 7(8): 629.
- [7] 卓大宏.中国康复医学[M].北京:华夏出版社,2003.716.
- [8] Ekim A, Armağan O, Oner C. Efficiency of TENS treatment in hemiplegic shoulder pain: a placebo controlled study [J]. Agri (Algoj) Derneği'nin Yayın Organidir, 2008, 20(1): 41—46.
- [9] 张晓玲, 官俏兵, 顾旭东,等. 经皮电神经刺激对脑卒中后肩手综合征患者交感神经皮肤反应的影响[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2012, 34(12):920—923.
- [10] Moniruzzaman M, Salek KM, Shakoor MA, et al. Effects of therapeutic modalities on patients with post stroke shoulder pain[J]. Mymensingh Med J, 2010, 19(1): 48—53.
- [11] Tyson SF, Brown P. How to measure pain in neurological conditions? A systematic review of psychometric properties and clinical utility of measurement tools[J]. Clinical Rehabilitation, 2013, 28(7):669—686.
- [12] 燕铁斌.物理治疗学[M].北京:人民卫生出版社,2008.346—350.

- [13] Vuagnat H, Chantraine A. Shoulder pain in hemiplegia revisited: contribution of functional electrical stimulation and other therapies[J]. *Journal of Rehabilitation Medicine*, 2003, 35(2):49—56.
- [14] 付明超. 功能性电刺激治疗早期脑卒中患者肩痛的疗效观察[D]. 成都中医药大学, 2013.
- [15] Koyuncu E, Nakipoğlu-Yüzer GF, Doğan A, et al. The effectiveness of functional electrical stimulation for the treatment of shoulder subluxation and shoulder pain in hemiplegic patients: A randomized controlled trial[J]. *Disability & Rehabilitation*, 2010, 32(7):560—566.
- [16] Vafadar AK, Côté JN, Archambault PS. Effectiveness of functional electrical stimulation in improving clinical outcomes in the upper arm following stroke: a systematic review and meta-analysis[J]. *Biomed Research International*, 2015, 2015:1—14.
- [17] Turner-Stokes L, Jackson D. Shoulder pain after stroke: a review of the evidence base to inform the development of an integrated care pathway[J]. *Clinical Rehabilitation*, 2002, 16(3):276—298.
- [18] Vuagnat H, Chantraine A. Shoulder pain in hemiplegia revisited: contribution of functional electrical stimulation and other therapies[J]. *J Rehabil Med*, 2003, 35:49—56.
- [19] Shimada Y, Davis R, Matsunaga T, et al. Electrical stimulation using implantable radiofrequency microstimulators to relieve pain associated with shoulder subluxation in chronic hemiplegic stroke[J]. *Neuromodulation*, 2006, 9:234—238.
- [20] Price CI, Pandyan AD. Electrical stimulation for preventing and treating post-stroke shoulder pain: A systematic Cochrane review[J]. *Clin Rehabil*, 2001, 15(1):5—19.
- [21] Jong LDD, Dijkstra PU, Gerritsen J, et al. Combined arm stretch positioning and neuromuscular electrical stimulation during rehabilitation does not improve range of motion, shoulder pain or function in patients after stroke: a randomised trial[J]. *Journal of Physiotherapy*, 2013, 59(4):245—254.
- [22] Chae J, Yu DT, Walker ME, et al. Intramuscular electrical stimulation for hemiplegic shoulder pain: a 12-month follow-up of a multiple-center, randomized clinical trial[J]. *Am J Phys Med Rehabil*, 2005, 84(11):832—842.
- [23] Yu DT, Chae J, Walker ME, et al. Intramuscular neuromuscular electric stimulation for poststroke shoulder pain: a multicenter randomized clinical trial[J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2004, 85(5):695—704.
- [24] Wilson RD, Gunzler DD, Bennett ME, et al. Peripheral nerve stimulation compared to usual care for pain relief of hemiplegic shoulder pain: a randomized controlled trial[J]. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 2014, 93(1):17—28.
- [25] John Chae ME, Richard D, Wilson MS, et al. Single-lead percutaneous peripheral nerve stimulation for the treatment of hemiplegic shoulder pain: a case series[J]. *Pain Practice*, 2012, 13(1):59—67.
- [26] Yu DT, Friedman AS, Rosenfeld EL. Electrical stimulation for treating chronic poststroke shoulder pain using a fully implanted microstimulator with internal battery[J]. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 2010, 89(5):423—428.
- [27] Adey-Wakeling Z, Arima H, Crotty M, et al. Incidence and associations of hemiplegic shoulder pain post stroke: prospective population-based study[J]. *Archives of Physical Medicine & Rehabilitation*, 2015, 96(2):241—247.
- [28] Yun YJ, Kim TH, Lee BH. Effects of Brain-computer interface-controlled functional electrical stimulation training on shoulder subluxation for patients with stroke: a randomized controlled trial[J]. *Occupational Therapy International*, 2016, 175—185.
- [29] 宋小慧, 谢青, 崔立军, 等. 肌电反馈功能性电刺激治疗急性期脑梗死手功能障碍的临床研究[J]. *中国康复医学杂志*, 2015, 30(6):538—541.