神经肌肉电刺激及其临床应用

中山大学附属第二医院　燕铁斌

神经肌肉电刺激(neuromuscular electric stimulation, NMES)是指利用电流刺激神经或肌肉引起肌肉收缩,提高肌肉功能或治疗神经肌肉疾患的一种治疗方法,常用低频脉冲电刺激。

一、NMES 种类

1　经皮电神经刺激

经皮电神经刺激(transcutaneous electrical nerve stimulation, TENS)是将电极放在皮肤表面，通过低频脉冲直流电刺激神经纤维，达到治疗目的。广义上,任何利用表面电极的电刺激都可以称作为 TENS,习惯上则指用于治疗疼痛的低频脉冲电刺激。

第一台 TENS 是 Long 在 70 年代(1974)设计出来并将其用于临床，大量的临床和基础研究证明其缓解急慢性疼痛的疗效比较满意。近 20 年来,TENS 的应用远远超出治疗疼痛的范围,例如,治疗脑损伤病人的肢体瘫痪,治疗不稳定性心绞痛，缓解肿瘤病人化疗时出现的恶心和呕吐等副作用，减轻 Down 综合症病人的自我伤害行为，改善下肢烧伤病人烧伤局部的血液循环，改善早期 Alzheiner 病人的非语言性短期和长期记忆,语言性长期记忆和语言的流利性,据文献报告,均取得了良好的疗效。国外临床上常用的 TENS 多为便携式,体积如香烟盒大小,具有操作简单,应用方便,疗效可靠等特点。

临床上常用的 TENS 主要有以下几种类型:

(1) 通用型(conventional TENS, constant mode)：又称为感觉水平刺激的 TENS (sensory-level TENS)，其特点为频率高(100Hz 以上)，强度低，脉宽比较小,20～ 100us （通常为 50～ 80us）。由于这一型 TENS 主要通过脊髓机制刺激 II 型神经纤维，达到镇痛作用(没有 肌肉收缩),因此,镇痛作用快 但持续时间短,一般在治疗后数小时。

(2) 针灸型(acupuncture-like TENS, constant mode)： 又称为运动水平刺激的 TENS (motor-level TENS)， 其特点为频率低(1～4Hz)，强度高，能引起可见的肌肉收缩。脉宽比较大(～200us),治疗时刺激电极通常放置在针灸的穴位上或运动点上。主要刺激 III 型和 IV 型神经纤维以及小运动神经纤维,虽然镇痛作用慢于通用型,但持续时间长。

(3)混合型(burst train TENS, burst mode):由一系列较高频率的脉冲(100Hz) 叠加在较低 频率的脉冲(1～4Hz)上所产生,病人容易耐受引起较强 肌肉收缩的刺激强度。也有作者将此型称为针灸型,2 者的区别在于针灸型为单次脉冲,混合型为系列脉冲。

(4)调制型(modulation mode):电流强度从 0 增加到预先设置的水平,持续 2 秒 再回到 0,间歇 1 秒。如此循环。给病人一种舒服的按摩感受。

2　功能性电刺激(FES)

FES 是利用一定强度的低频脉冲电流,通过预先设定的刺激程序来刺激肌肉,诱发肌肉运动或模拟正常的自主运动,以达到改善或恢复被刺激肌肉或肌群功能的目的。因此,FES 所刺激的肌肉在解剖上和生理上应具备完整的神经支配,但失去了应有的收缩功能,或失去了中枢神经的支配(如脊髓或脑损伤)。根据是否利用肌电来触发电刺激又分为肌电触发式 FES 和非肌电触发式 FES，二者的最大区别在于前者需要患者主动的参与。

FES 的电极可以放在体表也可以植入到体内。与 TENS 相比,FES 可以产生即刻的功能性活动,如上肢瘫痪病人手部肌肉在受到刺激时,可以产生即刻的抓握动作,下肢瘫痪病人(截瘫,偏瘫)的腿部肌肉在受到刺激时,可以产生功能性行走;吞咽障碍的病人在咽喉部受到刺激是可以产生吞咽动作,等等。

国外康复医学领域中，应用较多的非植入 FES 有以下几类。

(1) 治疗尿失禁：常用的是盆底肌肉电刺激 (pelvic electrical stimulation, PES) 或称之为直肠电刺激 (rectal probe electrical stimulation, RPES)。治疗时将电刺激治疗棒或探头插

入直肠（男性）或阴道（女性）内。通过刺激膀胱括约肌或是抑制排尿反射来达到恢复膀胱的控制能力和/或有效排空膀胱的目的。

(2)治疗肢体瘫痪：FES 最广泛的临床应用是作为一种支具用于瘫痪病人的功能训练。1961 年 Liberson 等人首先报告用表面电极刺激腓神经和胫前肌以改善偏瘫病人的踝背伸和外翻，其作用如同”电生理支具”，有效地控制步行摆动中的足下垂。这是最早将功能性的电刺激与传统的电疗区分开来的报道。

过去数十年来，FES 一直用于脊髓损伤和脑血管意外所引起的肢体瘫痪，其主要目的是增加关节活动范围，提高肌肉的功能如收缩力，耐力，诱发反射活动等。目前，表面电极和植入电极在瘫痪肢体中的应用日益广泛刺激参数多为 20～50pps，脉宽 0。1～0。6msc，方波，强度为能引起踝背伸和足外翻，通电/断电由足触发器来控制。接受这种治疗的病人需要符合以下标准：具有正常的理解力，没有严重的踝跖屈肌痉挛，髋，膝，踝关节没有明显的活动受限，对 NMES 不过敏，具有较高的积极性。据 Glanz 等人(1996)采用 Meta 分析方法对 1966～1994 年文献报告中用 NMES 治疗中风病人的临床随机对照研究，得出结论，NMES 治疗中风的平均疗效为 63%(29～98%)，其中，FES 的疗效(53。5%～86。%)大于 TENS(37。5%)。

（3）治疗吞咽困难：最近几年，FES 开始用于吞咽困难的治疗，尤其是美国和德国对此研究较多。其基本原理是通过电刺激咽喉部，使咽喉部产生吞咽的动作，此种治疗有可以用于治疗失语症、言语或构音障碍训练。

二、NMES 治疗仪的组成

1　共有的参数

(1)频道(channel)：至少有 2 个输出频道，可以同时或分开工作。例如，2 个协同肌群同时作用于 2 个关节，产生双关节运动，或先后作用于 2 个关节，产生等长收缩来减少关节运动。频道之间的交互刺激对提高主动运动的交互模式(如先屈后伸)很有实用价值和功能作用。

(2)频率(frequency pulse per second)：TENS 的频率为 1～200pps。 20pps 为低频率，一 般多用 2～5pps，100pps 以上为高频率。FES 的频率为 1～100pps，一般用 20～40pps，20pps 以下可产生间断收缩，30pps 或以上可产生强直性收缩。。

(3)脉宽调节：100usec 以下属于感觉水平的刺激，100～600usec 属于运动水平的刺激。TENS 为 50～200usec，对敏感的区域或长时间使用，脉宽可选择的范围在 50～60usec；短时间，强化治疗脉宽可偏大。FES 一般在 100～600usec。

(4)强度调节：TENS 的强度没有一个”金标准”，因人及治疗部位而宜，如果用低频率，可选用病人最大耐受强度，高频率可根据需要，维持在肌肉有可见的收缩。FES 的强度调节有 2 个范围，一个是低强度(0～20mA)，另一个是高强度(20～100mA)。

2　FES 具有的参数

(1)通电/断电开关(on/off time)：通电时，电流输出，刺激肌肉收缩，断电后，肌肉放 松 。通电/断电与肌肉疲劳和收缩力的大小有关。通电时间愈长，断电时间愈短，肌肉越容易疲劳，收缩力越低。一般频道 1 的通电范围 2～60sec， 断电范围 2～120sec， 频道 2 的断电 范围 0～60sec，通电范围 2～60sec。

治疗中的通电/断电时间取决于具体的功能性活动，一般通过治疗师或病人的手部控制或触发开关。例如，用于下肢瘫痪病人步态训练中踝背伸的 FES，其触发开关放在鞋跟处。当脚跟触地时断电，踝背伸肌肉放松；当脚跟离开地面时通电，踝背伸肌肉 收缩，使得踝关节在摆动期中保持背伸。这一过程也可以通过手控制开关来完成。

(2)波升/波降调节(ramp)：治疗仪一般只显示波升的数值，通常，波升(ramp-up)是波降(ramp-down)的 2 倍。

(3)时间调节：FES 有 3 个时间选择，连续性刺激 15min， 30min， 60min，一旦强度开关 打开， 内部的定时器即开始计时。

三　NMES 临床应用

1　适应症

(1)FES:脑和脊髓损伤引起的肢体瘫痪,吞咽障碍，构音障碍，大小便失禁等。

(2)TENS:各种类型的疼痛,脑损伤病人的肢体瘫痪或肌肉痉挛;肿瘤病人化疗时的副作用，肢体烧伤，Alzheiner 病人的语言和记忆障碍等。

2　禁忌症

（1）佩带心脏起搏器者,特别是按需心脏起搏器(可能会影响起搏器的正常功能,引起室颤)；

（2）外周血管性疾病,如静脉血栓形成,可能会引起拴子脱落;

（3）对刺激不能提供感觉反馈的病人,如婴幼儿,老人,精神疾患。

（4）下列部位不能放置电极:颈动脉窦处(电流可能会影响 BP 和心脏收缩,引起心率失常)；感染部位(可以加重感染);孕妇的躯干部位(可以引起子宫收缩);手术部位(肌肉收缩可以引起伤口裂开);恶性肿瘤,皮肤感觉缺损或对电极过敏的部位。

3　注意事项

(1)治疗前准备:治疗前先向病人解释治疗时 NMES 的感觉；确定刺激的部位,治疗参数,电极大小及其放置位置。

(2)电极及其放置:电极的大小应随所刺激的肌肉大小来决定。大肌肉用大电极,小肌肉用小电极。大电极能产生较强的收缩而不引起疼痛,但是,如果电极大于需要刺激的肌肉,刺激时电流会扩散到附近不需要刺激的肌肉甚至是拮抗肌。相反,如果电极明显小于肌肉,刺激时电流强度可能会太大而超过了病人的耐受性。

电极通常放置在外周神经或肌肉的运动点上。运动点(motor point) 是指在肌肉的皮肤上用最小剂量的电流就可以激发肌肉收缩的位置。一般来说,肢体和躯干肌肉的运动点位于运动神经进入肌肉的位置。

(3) 电流刺激:从低强度开始,逐渐增加到病人的最大耐受强度;

(4)治疗时间:TENS 每次治疗 30～60 分钟, FES 每次治疗 15～30。

作者简介：燕铁斌，男，博士，教授，主任医师，博士生导师，中山大学附属第二医院康复医学科/康复医学教研室主任，广东省康复医学会会长。通讯地址：510120 广州沿江西路 107 号，Email:Dr.Yan@126.com.