

物理治疗(二)

第一节 直流电与低中频电疗法

一、直流电和直流电离子导入疗法

(一)概述

直流电疗法(galvanization)是使用低电压的平稳直流电通过人体部位以治疗疾病的方法,是最早应用的电疗法之一。目前,单纯应用直流电疗法较少,但它是离子导入疗法和低频电疗法的基础。使用直流电将药物离子通过皮肤、黏膜或伤口导入体内进行治疗的方法,称为直流电药物导入疗法(iontophoresis)。

(二)直流电的生物作用

人体体液中含有各种电解质,阳离子主要有 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等,阴离子有 Cl^- 、 HCO_3^- 、 HPO_4^{3-} 、 SO_4^{2-} 、有机酸离子和蛋白质等。所以人体体液是电解质溶液,人体组织是电解质导体,能够导电。直流电治疗时,两电极间存在着稳定的电势差,人体组织内各种离子向一定的方向移动而形成电流。由于离子移动并引起体液中离子浓度对比的变化是直流电生物理化作用的基础。

在直流电的作用下,人体体液发生电解、电泳与电渗作用。阳离子移向阴极,阴离子移向阳极,蛋白质及其吸附层向阳极移动,扩散层正离子连同其水化膜向阴极移动。上述作用导致电极下局部酸碱度、组织含水量、细胞膜通透性、组织兴奋性的改变,即在阴极下碱性升高,水分子增加,蛋白分散升高,组织膨胀和变得松软,细胞膜变疏松,通透性升高,

组织兴奋性提高,而阳极反之。剂量过大可发生电极下化学灼伤。

(三)直流电的治疗作用

1. 促进局部血液循环和改善组织营养。
2. 直流电阴极有促进伤口肉芽生长,软化瘢痕,松解粘连和促进消散等作用,而阳极有减少渗出的作用。
3. 微弱直流电阴极促进骨再生修复,阳极改善冠状动脉血液循环的作用。
4. 调节神经系统功能。

(四)直流电药物离子导入

在药物溶液中,一部分药物离解成离子,在直流电的作用下,阴离子和阳离子进行定向移动。如果阴极衬垫中含有带负电荷的药物离子或者阳极衬垫中含有带正电荷的药物离子,就会向人体方向移动而进入体内。阳离子只能从阳极导入,阴离子只能从阴极导入。

药物离子主要经过皮肤汗腺管口和毛孔进入皮内或经过黏膜上皮细胞间隙进入黏膜组织。直流电直接导入离子只达皮内,主要堆积在表皮内形成“离子堆”,以后通过渗透作用逐渐进入淋巴和血液,部分离子随血液扩散至全身,部分有选择性地存留在某些脏器内而发挥作用。该方法兼有直流电和药物的作用。

药物离子导入的数量与很多因素有关。与所使用的电流强度成比例,通电时间长导入量多,大的电流强度导入药物增多。在一般情况下,导入的药物为衬垫上药物总量的2%~10%,所以总的说来,导入

体内的药量是很少的。但在局部表浅组织中浓度较高、作用时间长,是其特点。

临床上常用于离子导入疗法的药物有:碘化钾(一)、氯化钙(+)、硫酸镁(+)、透明质酸酶(+)、VitC(一)、链霉素(+)、普鲁卡因(+),以及中药钩藤(+)、陈醋(一)、决明子(一)、毛冬青(一)等。

(五)治疗方法

1. 衬垫法 电极放置分对置法和并置法两种,现在多使用硅橡胶电极,为了防止直流电化学灼伤皮肤,电极外面应套上湿的厚绒布衬垫。药物离子导入治疗还应注意:

(1)与作用电极面积相同的滤纸或纱布用药液浸湿后,放在治疗部位的皮肤上,其上面再放衬垫和电极片;非作用电极直接套入厚衬垫用普通温水浸湿即可,不需另用滤纸或纱布。导入的极性要正确。

(2)尽量减少作用电极上的寄生离子。药物溶剂一般用蒸馏水、酒精;每个衬垫(包括纱布)最好只供一种药物使用。

直流电疗法电流强度以衬垫单位面积毫安数计算。一般成人 $0.03\sim 0.1\text{mA}/\text{cm}^2$,儿童为 $0.02\sim 0.08\text{mA}/\text{cm}^2$ 。作反射治疗时,电流强度应适当减小。治疗时间 $15\sim 25$ 分钟,每日或隔日一次。

2. 电水浴法 将药液放在水槽内,治疗部位浸入槽内;非作用极用衬垫电极置于身体相应部位。

3. 体腔法 将药液浸湿的棉花塞入(耳道、鼻腔等)或将特制的体腔电极插入治疗部位(阴道、直肠等),向电极内灌注药液,非作用电极置邻近部位的皮肤上。

4. 植入法 用于治疗骨折延迟愈合或骨不连、慢性骨髓炎。用金属材料制成的特殊电极,直径约 1.2mm ,尖端暴露 1cm 左右,其余部分用绝缘材料密封。在X线引导下将电极植入骨折部,连接阴极,阳极为放在骨折近端的体表电极。如果骨折部位大,可植入多个电极。每个阴极用 $20\mu\text{A}$ 左右的直流电持续治疗,共 $10\sim 12$ 周。

(六)主要适应证和禁忌证

1. 主要适应证 神经炎、自主神经功能紊乱、慢性溃疡、伤口、术后粘连、神经痛、关节炎、放射治疗反应、血栓性静脉炎、骨折延迟愈合、骨不连等。根据所用药物的药理特性,直流电药物离子导入疗法还有各种不同的适应证,例如抗生素导入可治疗感染炎症,碘、透明质酸酶导入可治疗瘢痕和粘连。

2. 禁忌证 急性湿疹、对直流电过敏、对导入药物过敏、心力衰竭、出血倾向疾病等。

二、低频脉冲电疗法

(一)概述

频率 1000Hz 以下的脉冲电流称为低频电流,或低频脉冲电流。应用低频脉冲电流来治疗疾病的方法谓之低频电疗法。低频电流的特点是:①无明显电解作用;②对感觉神经和运动神经都有强刺激作用;③无热作用。

低频脉冲电流在医学领域的应用已有一百多年的历史。1831年法拉第发明了感应电装置。19世纪末以来,电生理学研究不断深入,多种低中频电疗法得到发明并广泛应用于临床。1950年间动电疗法问世。60年代,高压脉冲电流和电子生物反馈技术开始应用。1968年我国晶体管低频脉冲电针机研制成功,使电针迅速在全国推广普及,并用于针刺麻醉上。同年,Shealy等根据闸门控制学说推出脊髓电刺激疗法,Liberson首次用功能性电刺激使偏瘫患者步行摆动相时踝背屈。70年代,Long和Shealy发明了TENS疗法,音乐电疗也在同期开始应用。80年代以来,随着大规模集成电路和计算机技术的应用,又开发了很多功能先进、体积小、使用方便的电疗设备,如功能性电刺激、肌电生物反馈及TENS等,使低频脉冲电疗在临床上得到了更加广泛的应用。图3-2-1-1为低频脉冲电流的波型。

(二)低频电流的波型和参数

1. 低频电流的波型

(1)按波型分类:有三角波、方波、梯形波、正弦波、阶梯波、指数波等(图3-2-1-1)。

(2)按有无调制分类:分为调制型和非调制型。常见的调制方式有:波幅调制、相位调制、波宽调制、频率调制,如图3-2-1-2所示。可以用几种方式同时调制一个脉冲电流。

(3)按电流方向:分为单相和双相。双相脉冲波又根据其两侧波形、大小分为对称双相波、平衡不对称双相波和不平衡不对称双相波(见图3-2-1-3)。

2. 低频电流的参数(图3-2-1-4、3-2-1-5)

(1)频率(f):每秒钟内脉冲出现的次数,单位为赫兹(Hz)。由于哺乳类动物神经的绝对不应期在 1ms 左右,相隔 1ms 以上的电刺激都能引起一次兴奋,因此低频脉冲电流的每一次刺激都能引起运动神经一次兴奋。在临床,低频脉冲电流多用于镇痛和兴奋神经肌肉组织,常用 100Hz 以下的频率。

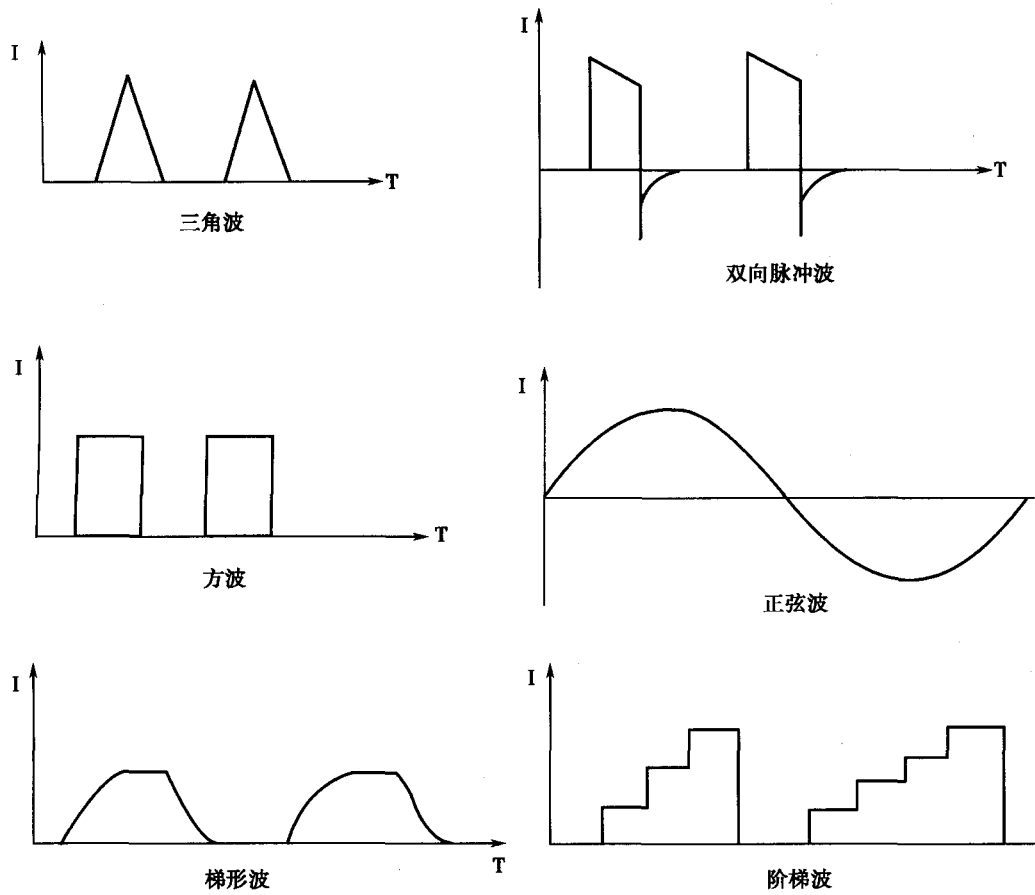


图 3-2-1-1 低频脉冲电流的波形

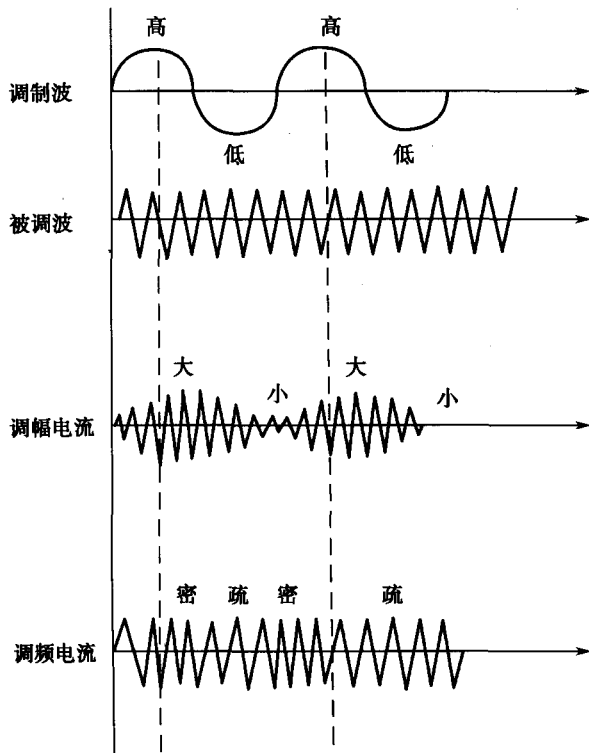


图 3-2-1-2 调制电流示意图

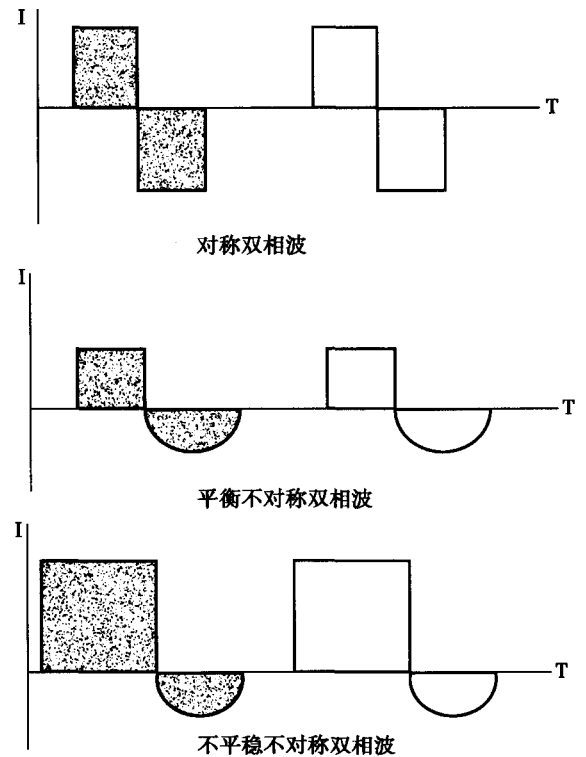


图 3-2-1-3 双相脉冲电流的三种形式

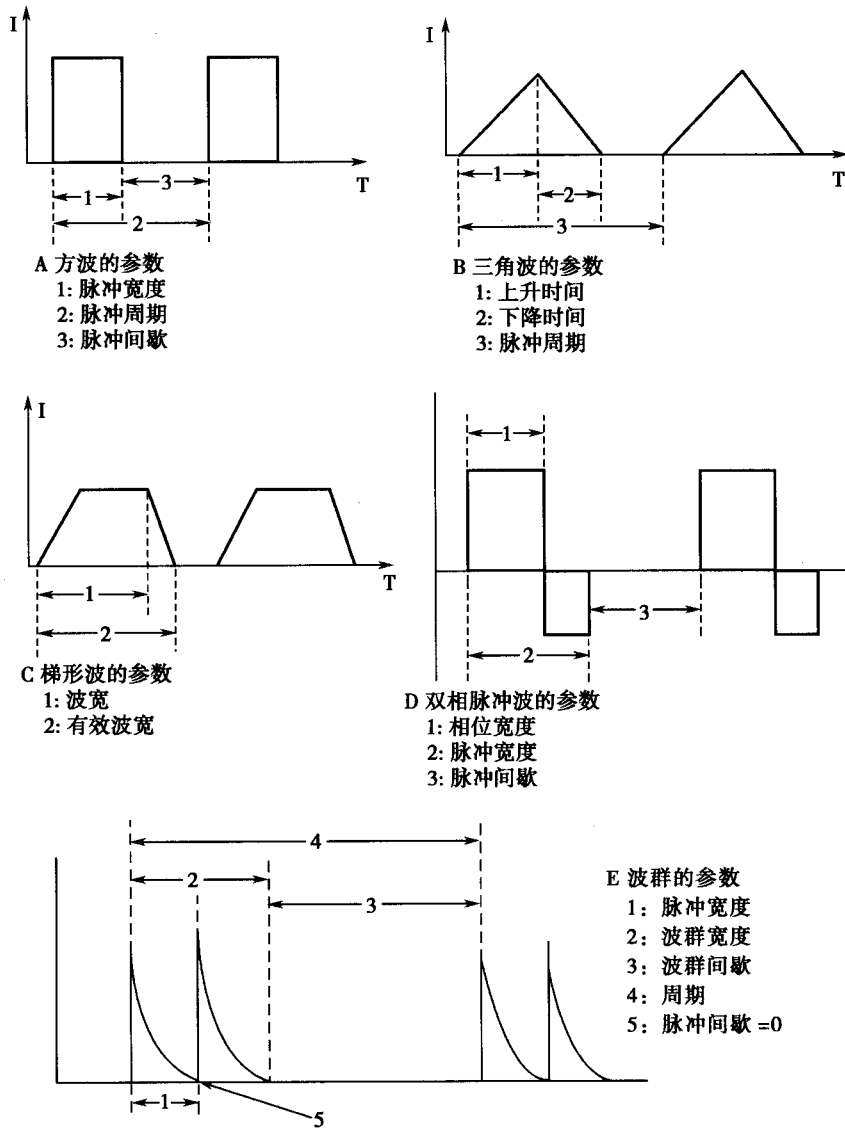


图 3-2-1-4 低频脉冲电流的参数

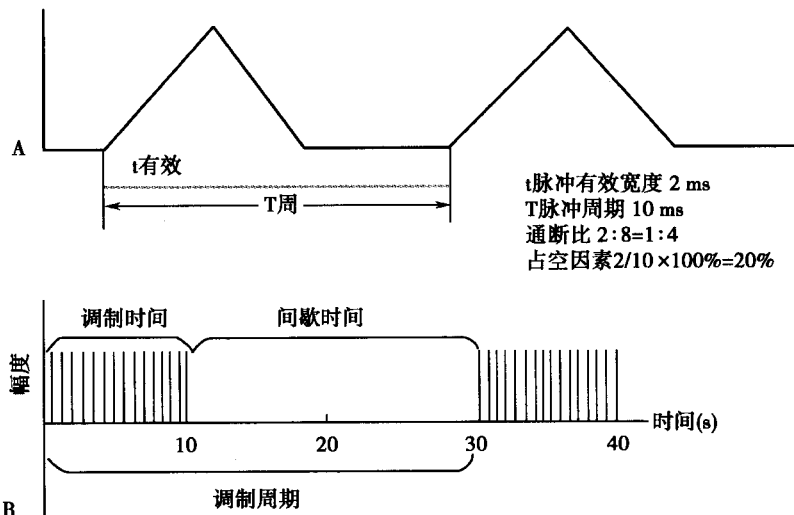


图 3-2-1-5 通断比和占空因数

(2)周期(T):一个脉冲波或脉冲波群(burst)的起点到下一个脉冲波或脉冲波群的起点相距的时间,单位为 ms 或秒。

(3)波宽:每个脉冲出现的时间,包括上升时间、下降时间等,单位为 ms 或秒。不同波型的波宽计算方法不一致。对脉冲列,波宽也叫脉冲宽度(pulse duration);对双相波,波宽由正负相位宽度组成。对脉冲群,每个脉冲群持续的时间就是脉冲群宽度(burst duration)。波宽是一个非常重要的参数。要引起组织兴奋,脉冲电流必须达到一定的宽度。神经组织和肌肉组织所需的最小脉冲宽度不一样,神经组织可以对 0.03ms(有人认为 0.01ms)宽度的电流刺激有反应,而肌肉组织兴奋必须有更长的脉冲宽度和更大的电流强度。

(4)波幅:从基线上升或下降的幅度,最大波幅(峰值)是从基线起到波的最高点之间的变化量。

(5)脉冲间歇时间:即脉冲停止时间,等于脉冲周期减去脉冲宽度的时间,单位为 ms 或秒。

(6)通断比(ratio):是指脉冲电流的持续时间与脉冲间歇时间的比例。

(7)占空因数(duty cycle):是指脉冲电流的持续时间与脉冲周期的比值,通常用百分比来表示,例如通断比 1:4 的电流占空因素为 20%。

(8)斜升时间(ramp-up time)和斜降时间(ramp-down time):调制后脉冲群波幅逐渐上升或下降的时间。

低频电流的参数对治疗效果、患者的舒适度影响很大。不对称双相脉冲电流、调制的正弦电流使肌肉收缩的效果最强。何种波型对皮肤的刺激性最小舒适度最高,还没有一致的看法,但一般认为舒适度最好的依次为脉冲调制的正弦电流、不对称双相脉冲电流、对称双相脉冲电流、单相脉冲电流。波宽 0.2ms 以上的电流使肌肉收缩更强,但是也更易引起疼痛不适。60~100Hz 的电流使肌肉收缩最强,但是也最容易、很快使肌肉疲劳,20Hz 可以显著减少肌肉疲劳的发生,但是肌肉收缩力量会下降 35% 左右。通断比也是影响肌肉疲劳的重要参数。目前还没有明确针对不同疾病的最佳参数组合。

(三)低频电疗的分类

根据低频电流的性质和作用特点,可将低频电疗分为:

1. 主要刺激神经肌肉、使肌肉收缩或降低肌张力的低频电疗法 神经肌肉电刺激疗法(NMES)、功能性电刺激疗法(FES)、感觉阈电刺激疗法

(TES)、感应电疗法。

2. 主要作用为镇痛或促进局部血液循环的低频电疗法 间动电疗法、超刺激电疗法、经皮电刺激神经疗法(TENS)、高压低频脉冲电疗法(HVPC)、H 波电刺激疗法(H-wave Stimulation)、脊髓电刺激疗法(SCS)。

3. 促进骨折和伤口愈合的低频电疗法 电极植入式微电流刺激疗法(microcurrent electrical stimulation)、TENS、HVPC。

4. 以其他治疗作用为主的低频电疗法 电兴奋疗法、电睡眠疗法、直角脉冲脊髓通电疗法。

(四)低频电流的基本作用

低频电流的生理和治疗作用包括:①兴奋神经肌肉组织;②镇痛;③促进局部血液循环;④促进伤口愈合;⑤促进骨折愈合;⑥消炎;⑦催眠。前三种是主要作用,后四种是次要作用。

1. 兴奋神经肌肉组织

(1)电刺激兴奋组织的原理:人体所有细胞都在某种程度上具有兴奋的能力,神经细胞的兴奋阈值较低,兴奋过程能对来自内部或外部的刺激做出一种整体反应。细胞膜受到一定强度电流刺激后,在原有的静息电位基础上发生了膜两侧电位的快速倒转和复原,即动作电位。当动作电位产生后,已兴奋的膜部分通过局部电流“刺激”未兴奋的膜部分,使之出现动作电位;这样的过程在膜表面连续进行下去,就表现为兴奋在整个细胞的传导。

要用一个刺激使组织兴奋,必须达到一定的强度和持续时间,两者有着确定的关系曲线(图 3-2-1-6)。只有不断变化的电流才能兴奋神经肌肉组织,引起肌肉收缩,恒定直流电是不能引起神经肌肉兴奋的,强度缓慢上升(即斜升时间很长)的脉冲电流也不能引起神经肌肉兴奋,如图 3-2-1-7 所示。因此低频脉冲电流的主要治疗作用之一是引起神经肌肉兴奋。

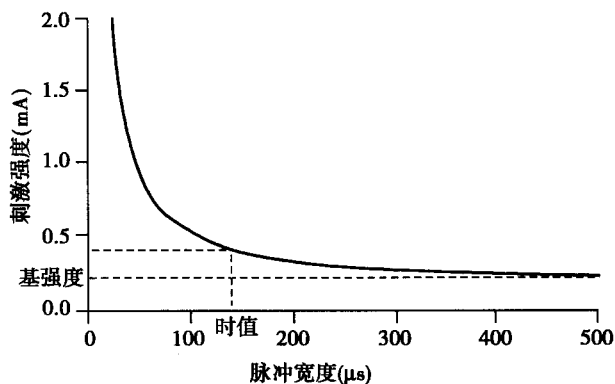


图 3-2-1-6 强度-时间曲线

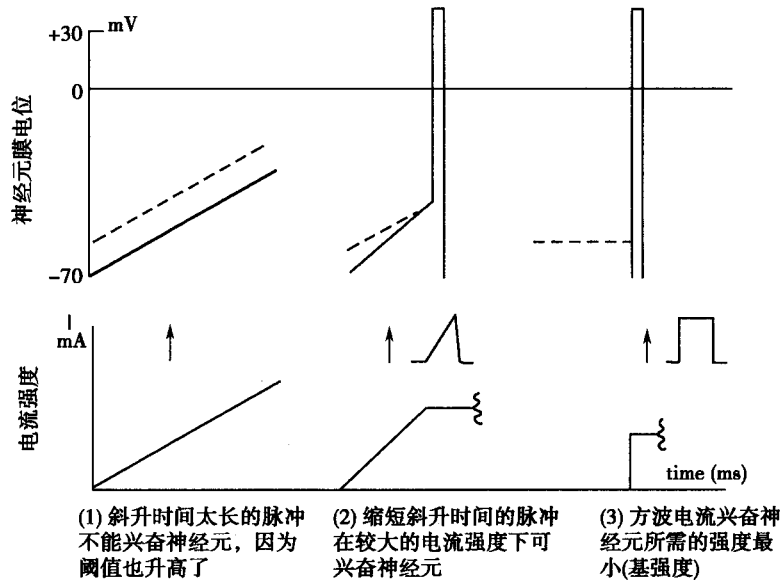


图 3-2-1-7 脉冲电流的斜升时间与神经兴奋的关系

脉冲宽度越短, 所需的阈值强度就越大, 在强度不变的情况下, 脉冲宽度越短, 射入的电荷量越小(图 3-2-1-8)。刺激阈值与神经纤维的直径成反比, 刺激电流接近神经时, 阈值低的大神经纤维首先起反应。

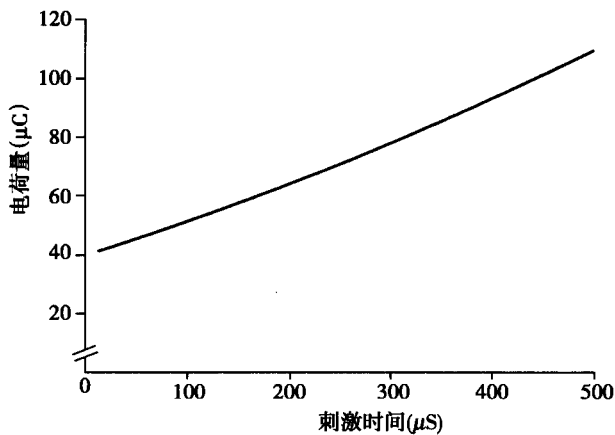


图 3-2-1-8 电荷-时间曲线

影响神经肌肉兴奋的因素有: 电极导电面积、组织电阻、电极-神经距离、电流强度、脉冲宽度。

1) 电极导电面积: 电刺激时的总阻抗可用公式 $R = \rho L / A$ 表示, 其中 ρ 是组织的电阻, L 是电极至神经的距离, A 是电极的导电面积。因此刺激电极越小(如点电极、植入式电极), 电极外的阻抗越大, 越不易兴奋周围组织, 刺激的针对性就越强。

2) 组织的电阻: 人体组织是一个导体, 含水/脂肪比愈高, 电阻愈小。电疗时肥胖患者、皮下脂肪厚的患者要适当增加电流强度。

3) 电极-神经的距离: 在组织电阻不变的情况下, 两个电极之间的电场符合 Coulomb 定律: $E = K$

(Q/r^2), 其中 E 表示射入的电荷量, K 是常数, Q 是所需的最小刺激电荷量, r 是电极至神经的距离。 r 越大, 射入到神经的电荷量越小, 所需的电流强度就越大。如用植入式电极, 0.5mA 电流可以兴奋神经, 而同样的参数用表面电极可能需要 20mA。

4) 脉冲宽度和电流强度: 增加脉冲宽度和电流强度, 可以扩大刺激范围, 兴奋较深较远的组织, 因此其特异性 (specificity) 也较差。电刺激兴奋神经肌肉, 并不是强度越大、脉冲时间越长越好。过大的电荷射入量会损伤神经和肌肉组织, 患者也会感觉不适。在保证刺激效果的前提下, 用尽量小的脉冲宽度对减少组织损伤、减轻不适感改善依从性, 以及减少 FES 系统的电源损耗, 具有重要的意义。

(2) 正常肌肉生理学: 脊髓内有大量的 α 和 γ 运动神经元。运动单位由一个 α 运动神经元、轴突、神经肌肉接头以及全部所支配的肌纤维组成。 α 运动神经元的大小和功能不一, 小的 α 运动神经元支配慢肌纤维, 大 α 运动神经元支配快肌纤维。根据肌纤维的功能、代谢和组化特征, 将肌纤维分为 I、II a 和 II b 3 类, 同一个运动单位内的肌纤维的组化特征是一样的, 以确保具有统一的收缩特点。但在一块肌肉内, 可能同时存在 3 类肌纤维, 只是其数量不同, 因此一块肌肉常由一群不同的运动神经元支配。

在生理状态下, 传导速度慢的运动单位首先被募集, 使收缩力弱、速度慢、抗疲劳强的 I 类慢肌纤维首先收缩, 增加肌肉的张力, 然后是传导速度快的运动单位被募集, 使 II b 快肌纤维收缩, 增加肌力。

而电刺激使运动单位募集的顺序不一定与生理

状态下募集顺序一致,例如功能性电刺激(FES)募集运动单位的顺序与生理状态下相反,因为电刺激首先兴奋阈值低的粗大的运动神经纤维,使快肌纤维最先收缩,然后慢肌纤维才收缩。

(3)电刺激后肌纤维的改变:持续长期的低频电刺激(10Hz),可使Ⅱb快肌纤维转化为Ⅰ类慢肌纤维。电刺激2~4天后即可见肌细胞肌浆网变化。3周内出现毛细血管密度和血流增加,氧化酶增多,钙转运下降,Ⅱa纤维增加,Ⅱb纤维减少,肌肉的抗疲劳性增强,收缩力达峰时间延长。4周后出现肌肉收缩速度下降,肌纤维面积和重量减小,Ⅱa纤维转化为Ⅰ类纤维。

电刺激停止后,肌纤维又逐渐恢复原来的特征,最快在6周内可以完全复原。

电刺激后肌纤维的变化主要取决于刺激次数,其次是频率。比如10Hz的脉冲电流,每天刺激8小时比每天24小时持续刺激所致的肌纤维变化要慢很多。如果刺激数量相等,如一组60Hz、通断比为2.5秒:10秒的间歇刺激,一组为10Hz的持续刺激,两组每分钟的脉冲电流数相等,5周后肌纤维的变化一样。

同时增加频率和刺激量,肌纤维的变化就明显不同了。在小鼠失神经支配比目鱼肌模型试验中,100Hz的电刺激可使比目鱼肌从慢肌纤维转变为快肌纤维,而10Hz的持续刺激能保持失神经支配后的比目鱼肌仍然为慢肌纤维。

电刺激能减轻失神经支配肌肉的萎缩。在发病24小时内立即给予10Hz、1秒:1秒的电刺激治疗,可以维持肌细胞氧化酶水平在正常水平的95%以上,减轻肌肉萎缩程度。发病4周后开始用25Hz电刺激,仍然能显著延缓肌肉萎缩的发生,并使肌纤维转化为一种具有Ⅰ和Ⅱb线粒体特征的混合型肌纤维。

2. 镇痛 镇痛是低频电疗的基本作用之一,TENS等广泛用于疼痛的治疗。低频电流的镇痛机制尚不完全明了,目前认为有以下几个途径:

(1)闸门控制学说:低强度的90~150Hz低频电刺激如常规型TENS往往只兴奋表浅的A β 类神经纤维,1~10Hz的针刺样TENS则兴奋较深的A δ 神经纤维,继而兴奋脊髓中抑制性中间神经元,关闭“闸门”,进一步抑制同节段背角投射神经元的活动,阻断伤害性刺激向中枢传导,产生即刻镇痛作用。

(2)内源性镇痛系统和体液学说:电针和1~

10Hz的针刺样TENS通过激活疼痛抑制系统,增加内源性镇痛物质阿片肽、5-HT的释放。还能通过阿片肽能和5-HT能神经元(下行抑制系统),减少P物质(substance P)的释放,削弱或阻断伤害性感受的传入,产生镇痛。

(3)类固醇和5-HT:低频电刺激可以增加血液中类固醇和5-HT的水平。5-HT具有改善心境、减轻痉挛的作用,从而起到长效镇痛的作用。

(4)神经机制:H反射及M波的最大波幅比值(Hmax/Mmax)用于评价运动神经元群的兴奋性。TENS刺激腓总神经后降低Hmax/Mmax比值,延长H反射潜伏期,Ⅰa类及Ⅱ类两组传入神经纤维介导此效应。表明TENS降低肌肉运动神经元群的兴奋性,减轻痉挛,缓解痉挛性疼痛。

多次治疗后的镇痛作用,除即时镇痛作用的各种因素外,还因局部血液循环改善,减轻局部缺血、缓解酸中毒、加速致痛物质和有害的病理产物的清除,减轻组织和神经纤维间水肿,改善局部营养代谢,从而消除或减弱了疼痛的刺激因素,达到镇痛效应。

3. 促进局部血液循环 低频电流有改善局部血液循环的作用,其作用可能系通过以下途径产生:

(1)轴突反射:低频电流刺激皮肤,使神经兴奋,传入冲动同时沿着与小动脉壁相连的同一神经元的轴突传导,使小动脉壁松弛,出现治疗当时和治疗后立即电极下的皮肤浅层充血发红。

(2)低频电流刺激神经(尤其是感觉神经)后,使之释放出小量的P物质和乙酰胆碱等物质,引起血管扩张反应。

(3)皮肤受刺激释放出组胺,使毛细血管扩张,出现治疗后稍长时间的皮肤充血反应。

(4)电刺激使肌肉产生节律性收缩,其活动后的代谢产物如乳酸、ADP、ATP等有强烈的扩血管作用,能改善肌肉组织的供血。

(5)抑制交感神经而引起血管扩张:如间动电流作用于颈交感神经节,可使前臂血管扩张;IFC作用于高血压患者的颈交感神经节可使血压下降。

(五)低频电疗的电极

随着电疗法的快速发展,电极也在不断地得到改进,许多新颖的电极被设计生产出来应用于临床。治疗电极分为体表电极、肌肉上电极(epimysial electrode)、肌肉内电极(intramuscular electrode)、近神经电极(juxtaneural electrode)、神经根电极、神经丛电极(intrafascicular electrode)、体腔内电极(如直

肠、阴道电极)、脊髓电极和颅内电极。体表电极是最常用、最经济、操作最简便的电极。

电极的大小和位置与疗效密切相关。对疼痛治疗,电极一般置于疼痛部位周围,或疼痛部位与相应的神经节段神经根并置,对神经肌肉的治疗,电极置于肌肉的两端所致肌肉收缩的最大扭矩比电极置于肌肉两侧要大 64%,大电极使肌肉收缩的强度也比小电极好。肌内电极使肌肉收缩的效果远远大于体表电极。

过去的电极用铅板、铜片或导电橡胶加绒布套,目前多采用自粘式硅橡胶电极、活性炭电极,具有导电性良好、柔软适宜人体任何部位、无电干扰、无电解作用的优点。此外,还要电加热电极,具有发热的功能,温度可达 45℃ 左右。

植入电极部位应慎重做 MRI 检查、超声波治疗和高频透热治疗。如果体内植入有电刺激器,一般禁止 MRI 检查。

(六)低频电疗的注意事项

1. 仪器的选择 低频电疗仪的输出分为恒压型和恒流型,各有特点。在电极与皮肤接触不良时,恒压型仪器会自动减小电流输出,不会灼伤皮肤,因此适合于家庭使用。现在有些仪器带有自动检测电极接触情况和保护功能,防止电流密度过大。为了安全,家庭使用的仪器最好选择用电池供电的类型。

2. 电极 电极的放置应准确。长期治疗的患者,电极位置应不断调整,特别是快速发育的小儿。自粘电极在使用一段时间后,其粘胶变得干燥,粘附性下降,电阻加大,可以在治疗前适当加点水,等 15 秒左右后再粘贴到皮肤上。

3. 电疗的异常反应和副作用 在电疗过程中和治疗后,可发生头痛、头晕、全身不适、疲倦、心慌等全身反应,治疗部位疼痛、皮肤过敏性皮炎、电极下皮肤灼伤等局部反应。应密切观察,并作相应的处理。

4. 禁忌证 美国 FDA 禁止在心脏部位、肿瘤部位、喉咙部位和感染部位进行低频电刺激,不主张对孕妇的下腹部电刺激治疗,在给心脏起搏器植入患者治疗前应先咨询心脏病专家。病情未稳定的癫痫患者、惊厥发作患者应避免电刺激。

5. 机器维护和保养 每台低频电疗机器应设立机器操作常规卡,写明机器的用途、操作规则和注意事项;定期检修机器,清洁机器内部应由专业机修人员负责;机器应放在干燥通风、绝缘良好的地方;机器的位置应尽量固定,不要经常移动,去床边治疗的机器应配备专门的推车;在治疗过程中,切忌移动

机器;经常检查电源插头、导线、电极、夹子等,接触是否良好、机器的各开关是否在正常位置(尤其是治疗前电流量开关必须回到零位)、输出是否正常;治疗时,必须严格遵守操作常规,按顺序开关和调节各个治疗参数;合理安排治疗时间,不要经常开关机器,连续治疗时间也不要超过机器的额定连续工作时间。

(七)各种低频电疗法的应用

低频电疗法经过了近 200 年的发展,一些古老的方法逐渐被新方法取代,感应电疗法、间动电疗法、电兴奋等方法已较少应用,下面重点介绍目前常用的几种低频电疗法。

1. 经皮电刺激神经疗法 经皮电刺激神经疗法(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,从而达到治疗的目的。从字面上理解,绝大部分的低频电刺激都属于 TENS,因此,目前国内外对 TENS 的定义均存在概念混乱,有人将 TENS 归属于神经肌肉电刺激(NMES)的范畴,后者尚包括功能性电刺激,有人则反之将 NMES 归属于 TENS 的范畴。

实际上,TENS 是在闸门控制学说的理论指导下发明的方法,是应用某种特定频率和波宽的低频脉冲电流作用于体表某一部分,以感觉阈上的强度刺激感觉神经,以减轻或消除疼痛的方法,主要用于疼痛的治疗。第一台 TENS 仪由 Long 在 1974 年设计出来并用于临床,此后 TENS 仪一直用于各类疼痛的治疗。大量的临床和基础研究证明其缓解疼痛的疗效比较满意,但近年多个 Cochrane 分析显示还不能得出 TENS 对慢性疼痛有效的结论。

(1)物理特性:

1)波型:大部分 TENS 仪产生持续的、不对称的平衡双相波型,形状一般为变形方波,没有直流成分,故没有极性。但因为是不对称双相波,一个时相(相位)的作用可能比另一个时相强一些。

2)频率:TENS 的频率一般为 1~200Hz 可调。最常用的是用 70~110Hz(常规 TENS),其次是 1~5Hz(类针刺型 TENS)。

3)脉冲宽度:一般为 0.04~0.3ms 可调。对于有脉冲群输出方式的仪器,脉冲群的宽度一般为 100ms 左右,每秒钟 1~5 个脉冲群,群内载波为 100Hz 的常规 TENS 波。

(2)治疗作用和适应证:

1)急性疼痛:TENS 的主要作用是镇痛。①术后切口痛:TENS 最成功的应用之一是术后的切口

止痛。20世纪80年代以来,大量的文献报道 TENS 治疗术后切口痛,包括各种胸、腹部手术、关节手术等,效果非常满意。TENS 能减少止痛药物的摄入量 30%~50%,使患者精神好转,早期活动,减少并发症。对某些患者能缩短 ICU 或住院时间。一般在术前就给患者应用 TENS,以确定合适的参数。在手术结束前将一次性电极平行放置于切口两旁,伤口缝合后立即通电治疗。通常持续刺激 48~72 小时,可由患者调节电流强度。

骨科疼痛:用 TENS 治疗急性踝关节扭伤,能较早缓解疼痛、减轻水肿、早期恢复 ROM 和行走功能。对肩周炎、急性腰肌扭伤、运动创伤等的疗效优良。

妇产科疼痛:Augustinsson 等观察了 TENS 对 147 例产妇因分娩而引起的腰痛、骨盆疼痛的疗效。在第一产程,止痛效果最好;第二产程次之,没有发现副作用。TENS 治疗痛经(方法是平脐处以倒三角形用三个电极)的疗效好于安慰治疗和布洛芬治疗,常规 TENS 治疗疗效又好于类针刺型 TENS。而对妇产科手术后的镇痛,2Hz 与 100Hz 的 TENS 的疗效相当,2~100Hz 的变化频率的镇痛效果最好。

此外,对急性牙痛、头痛、内脏疼痛如胆绞痛等均有较好的止痛效果。

2)慢性疼痛:是 TENS 的最常见的适应证,许多患者长期使用 TENS 仪在家治疗。大量的研究证明 TENS 慢性疼痛的有效率介于安慰剂至 85% 之间,可以缓解疼痛、减少镇痛镇静药物依赖,对控制慢性腰痛、关节炎、疱疹后神经痛、截肢幻痛、周围神经变性、吉兰-巴雷综合征、三叉神经痛、偏头痛和紧张性头痛均有不同程度的镇痛效果。最近一项包括 652 名慢性肌肉骨骼疼痛患者的荟萃分析,15 个以假 TENS 作对照的研究中 10 个研究结果显示 TENS 有效,而且常规 TENS 与低频高强度 TENS 的疗效相等。TENS 对膝关节骨关节炎疼痛患者的疗效肯定,被某些循证医学实践指南采纳,但也有报道 TENS 对慢性腰痛无效。

总之,TENS 对治疗疼痛是有效的。短期治疗的疗效较长期治疗的疗效高。其他常规疗法无效的,TENS 往往有效。

3)改善周围血液循环:用 TENS 刺激前臂后手指皮温轻微升高。刺激雷诺氏患者的单侧合谷穴,四肢均会出现疼痛减轻,皮温升高。

4)促进骨折、伤口愈合:应用直流电以植入电极

治疗骨不连接有公认的效果,但有侵入性感染和损伤的可能性。80年代以来用 TENS 治疗骨折后骨不连接获得成功。为了取得近似直流电的成骨效应,脉冲宽度应尽量大些,频率则偏低些,电流强度为保持患者稍有电感的最低水平。Kloth 等报道用单相波型的 TENS 治疗皮肤溃疡成功。近年来开展了微弱 TENS(10~600 μ A)对疼痛和伤口愈合的研究。

5)治疗心绞痛:许多人认为应禁忌在心前区进行 TENS 治疗,但不少研究表明 TENS 能改善患者的心脏功能、减轻心电图上 S-T 段的下降、减少心绞痛的发作次数、减少对硝酸甘油的依赖。其机制可能是 TENS 能降低交感神经的紧张,增加心脏血液循环。但对重症患者仍应慎重。

6)降低肌张力:TENS 能降低脑卒中和脊髓损伤患者瘫痪肢体的肌张力,减轻痉挛,提高生活自理能力。

7)治疗尿失禁:一项随机对照研究观察 43 例逼尿肌不稳定的患者,用 20Hz 的 TENS 在肛周治疗,能明显减轻尿急尿失禁,疗效与盐酸奥昔布宁(oxybutynin)5mg,每日 3 次的疗效相等,但尿流动力学测定无改变。

8)其他治疗作用:有报道 TENS 能改善早老性痴呆(Alzheimer's disease)患者的言语功能、短期和长期记忆力,减轻悲观、压抑等不良情绪;TENS 能明显减少孕妇的早期妊娠的恶心和呕吐、术后呕吐的发生率。

(3)设备:TENS 属于非侵入性治疗,操作方便,副作用小,疗效可靠,国外应用非常普遍,是康复治疗的基本设备之一。

1)仪器:一般为袖珍型电池供电的仪器。典型的 TENS 仪有双通道输出,每通道电流强度可独立调节。脉冲宽度和频率可调。输出方式上设有常规模式、低频类针刺型模式、脉冲群模式。还有一些大型的仪器,具有 4 个以上的通道,可同时治疗多个部位或患者,适合于医院内使用。

2)电极:大多数使用碳-硅材料电极,可裁剪成不同大小和形状。其次是用自粘型硅橡胶电极。此外,还有一次性电极、棉电极等。为了减少皮肤的刺激症状,电极面积不应小于 4cm²。

(4)治疗方法:

1)电极的放置:首选置于痛区,其次是扳机点、穴位、运动点、病灶同节段的脊柱旁,沿着周围神经走向、病灶上方节段、病灶对侧同节段上,2 个电极或 2 组电极的放置方向有:并置、对置、近端-远端并置、交叉、“V”字型等。

2)参数的选择:目前将 TENS 分为三种治疗方式:常规型或通用型(conventional TENS)、低频高强度的针刺样(acupuncture like TENS)、短暂强刺激型(brief intense TENS),各种方式的治疗参数见表 3-2-1-1。

表 3-2-1-1 TENS 的三种治疗方式

方式	强度	脉冲频率	脉冲宽度	作用和适应证
常规 TENS	舒适的麻颤感	75~100Hz	<0.1ms	提高痛阈。急、慢性疼痛;短期止痛
针刺型 TENS	运动阈上,一般为感觉阈的 2~4 倍	1~4Hz	0.2~0.3ms	提高对疼痛的耐受性。急、慢性疼痛;周围循环障碍;长期止痛
短暂强刺激型 TENS	肌肉强直或痉挛样收缩	150Hz	>0.3ms	用于小手术、致痛性操作过程中加强镇痛效果

最常用的是常规型 TENS,适合长时间治疗,从每日 30~60 分钟至持续 36~48 小时不等。针刺样 TENS 能同时兴奋感觉神经和运动神经,电极不一定要放在穴位上,治疗时间一般为每日 45 分钟,根据受刺激的肌肉的疲劳情况决定。短暂强刺激方式的电流很大,肌肉易疲劳,一般每刺激 15 分钟左右后休息几分钟。

建议每日治疗 2~3 次,每次治疗 20~30 分钟。对慢性病需长期治疗者可让患者购买仪器在家里治疗,但应定期接受医生指导。

3)操作步骤:

- A. 患者采取舒适体位,治疗前应告诉患者正常的感觉,即有舒适的麻刺感、震颤感。
- B. 检查机器各开关是否在零位,输出导线是否完整、接触良好。
- C. 将电极固定于疼痛部位或穴位上,可同时用两个通道治疗 1 个或 2 个部位。
- D. 设定治疗频率、脉冲宽度、治疗时间,调节输出旋钮,逐渐增加电流量到所需强度。
- E. 治疗结束,关闭电流,取下并清洁电极。

(5)影响疗效的因素:TENS 疗效的个体差异很大,应注意个性化治疗,包括电极的位置、参数的选择、治疗时间和疗程的确定,可能需要多次治疗后才能确定适合该患者的最佳参数。长期用 TENS 止

痛的患者报告表明,当患者可以自由选择自己的刺激设置时,不同个体在脉冲频率选择上有很大差异。在以后的治疗中,患者倾向于选择相同的脉冲频率。

电极以痛点放置效果最好,支配痛区的末梢神经刺激效果次之,而放置于相应的脊髓节段、与疼痛无关的部位则效果差。电流强度应逐渐加大至耐受量。治疗前用止痛药的效果差。

(6)TENS 的副作用和禁忌证

TENS 治疗的副作用很少。有些不良反应是由于操作不当引起的,如电极接触不良、电流过大。最多见的不良反应是皮肤刺激反应,这与其他低频电流疗法相似;其次是过敏反应,因患者对电极材料、导电胶甚至电极固定带过敏所致;再次是有些长期治疗的患者对 TENS 产生依赖性、焦虑。

值得注意的是国外某些保险公司试图以廉价的 TENS 仪代替更贵的 NMES 仪,治疗肌肉乏力,或辅助运动再学习的治疗。TENS 仪的波型、脉冲宽度、通断比均不适合于刺激肌肉收缩,而且患者很不舒适。

禁忌证:①带有心脏起搏器者严禁使用;②严禁刺激颈动脉窦;③以下情况需小心使用:孕妇的腹部和腰骶部;眼睛上的治疗;精神性疼痛患者的治疗;不要将普通电极置入体腔内使用;有脑血管意外病史的患者,不要将电极对置于颅脑;不要让有认知障碍的患者自己治疗。

2. 神经肌肉电刺激疗法 神经肌肉电刺激疗法(neuromuscular electrical stimulation, NMES)是应用低频脉冲电流刺激肌肉使其收缩,以恢复其运动功能的方法。NMES 的临床应用已有 100 多年的历史,近年来在神经肌肉骨骼疾病的康复中 NMES 的应用显著增加。在 NMES 范畴中,有 2 种类型的刺激方式影响肌肉的生长和肌力,一种是运动阈上刺激使肌肉充分收缩,起到“运动(exercise)”的作用,这就是通常意义上的典型 NMES(classic NMES);另一种是感觉阈电刺激(threshold electrical stimulation, TES),是一种低强度、长时间的刺激,主要用于不能配合 NMES 治疗的儿童的肌肉萎缩、痉挛治疗。

(1)物理特性:

1)波型:NMES 常见的波型有两种:不对称双相方波和对称双相方波。前者有阴阳极之分,一般用阴极作主极,用于小肌肉、肌束的刺激。后者没有极性,用于大肌肉和肌群的刺激,McNeal 和 BaKer 认为在同样的电流强度下,对称双相方波引起的肌

收缩力比单相方波大 20%~25%。失神经支配肌肉的 NMES 一般用指数波(三角波)。

2) 脉冲宽度:许多袖珍 NMES 仪的波宽固定于 0.2~0.4ms 之间,而大型 NMES 仪的波宽在 0.05~100ms 可调。对于正常神经支配的肌肉(包括上运动神经元麻痹的肌肉),波宽 0.3ms 的电流比 0.05ms 或 1ms 的电流更舒适,不易引起疼痛。

3) 频率:NMES 所用的频率常在 100Hz 以下。临床应用时常需要使肌肉达到完全强直收缩,对正常肌肉,频率在 30Hz 以上。对失神经支配的肌肉,引起强直收缩所需的频率更低。但是频率越高,肌肉越易疲劳。

4) 占空系数和通断比:通断比在 1:1~1:15 之间。病情越严重,所需的占空系数就越低。

5) 斜升时间:失神经支配肌肉的 NMES 采用指数波,其斜升时间在数十毫秒至 500ms 之间,对于正常神经支配的肌肉使用脉冲群方式,斜升时间一般为 2 秒左右。

(2) 生理作用和治疗作用:NMES 对肌肉的生理作用机制有四点:①能激活快肌纤维,并促使其向慢肌纤维转变;②激活失神经支配肌肉的运动单位的活性,使其同步化,恢复运动单位的募集顺序;③能克服疼痛引起的对肌肉的反射性抑制;④能增加部分失神经支配肌肉残留的正常运动单位的肌力,从而使整个肌肉的肌力增强。

NMES 的治疗作用有:①治疗失用性肌肉萎缩;②增加和维持关节活动度;③肌肉运动再学习和易化作用;④减轻肌肉痉挛;⑤促进失神经支配肌肉的恢复;⑥强壮健康肌肉;⑦替代矫形器或代偿肢体和器官已丧失的功能;⑧由于“肌肉泵”的作用,能减轻肢体肿胀。

(3) 临床应用:

1) 失用性肌萎缩和正常肌肉的治疗:NMES 对肌力、肌张力、耐力的影响,始于其对正常肌肉的研究。NMES 治疗 12 周后可使股四头肌肌力增加 44%,NMES 单独治疗和最大主动收缩练习的效果相当,NMES 加主动收缩练习并不能进一步显著增加肌力,这是因为最大主动收缩练习几乎动员了 100%的肌纤维收缩,NMES 并不能募集更多的运动单位使肌力进一步增加。没有证据表明对正常肌肉 NMES 的效果比最大主动收缩练习好,NMES 治疗所能达到的肌肉绝对扭矩还相对较低一点。

与主动收缩练习相比,NMES 的优点是:①只需较小的肌肉收缩力量(33%~68%的最大等张收

缩力)就可以达到与最大主动收缩练习(78%~119%的最大等张收缩力)相等的效果。其原因是 NMES 主要使 II 型肌纤维收缩,主动收缩练习首先是 I 型肌纤维激活,然后是 II 型肌纤维的逐渐激活,而肌肉的最大收缩力取决于 II 型肌纤维的激活程度。②NMES 几乎不增加心血管的负荷,特别适合于心功能不全的患者,活动不便的老年患者。因此 NMES 对那些比较薄弱的、不能理想地主动收缩的肌肉有益。心功能正常的患者的完全正常的肌肉,没有必要用 NMES 治疗。

失用性肌萎缩发生于制动后(常见于骨折和韧带损伤术后)和中枢神经系统损伤后。最明显的改变是肌肉横切面积缩小,但肌纤维数量不变。研究表明,NMES 不能完全阻止、但能延迟萎缩发生,能增强已萎缩肌肉的肌力,提高耐力,增加肌肉体积和琥珀酸脱氢酶等氧化酶的活性。一项胫骨骨折后石膏固定 6 周同时用 NMES 治疗的研究表明,NMES 治疗的股四头肌肌力与健侧相等,没有下降,而对照组没有 NMES 治疗的股四头肌肌力显著下降。NMES 不仅能增加肌力,还能改善相关的功能活动。

与治疗正常肌肉不同,NMES 加主动练习治疗失用性肌萎缩比单独 NMES 或单独主动练习的效果更好。但 NMES 治疗的益处主要在制动期和解除制动后的早期。一项研究显示在外科手术后膝关节制动 6 周内,NMES 治疗的股四头肌的萎缩程度和肌力显著小于无 NMES 治疗组,6 周后解除制动,患者恢复主动练习,12 周时 2 组的肌力和肌肉体积已没有显著差异,因此 NMES 对需要最快恢复肌力的人(如受伤的运动员)带来的益处最大。

锻炼失用性萎缩肌肉的治疗参数可参考表 3-2-1-2。一般情况下,使肌肉收缩持续时间长(通断比的通电时间长)、收缩次数少的方法比肌肉收缩时间短、次数多的方法效果好,但要注意防止肌肉疲劳。在病情允许的情况下,应鼓励患者多活动,尤其是早期多做等长收缩。当患者能做主动抗阻运动时,就停止 NMES 治疗。

表 3-2-1-2 治疗失用性肌萎缩的电刺激参数

	严重萎缩	中度萎缩	轻度或无萎缩
频率(Hz)	10~20	10~30	30~50
通电时间(s)	5	5~10	10~15
断电时间(s)	25~50	20~30	10~30
每次治疗时间(min)	5~10	15	15
每天治疗次数	3~4	3~4	1~2

2)失神经支配肌肉的电刺激:NMES 的目的是使肌肉收缩,维持在“健康”状态。当神经恢复支配时,肌肉更易恢复其功能。但目前关于 NMES 对失神经支配肌肉的治疗价值,仍存在不同的意见,有些试验得出了截然相反的结果,造成结果差异的主要原因是各试验所用 NMES 的参数不同。多数学者和实验支持 NMES 的作用。由于肌肉恢复神经支配所需的时间很漫长,长期 NMES 治疗能预防和减轻肌肉萎缩、改善功能活动,具有应用价值。在我国电刺激疗法是周围神经损伤最常用、较有效的治疗方法。

失神经支配的肌肉具有较强的可塑性,NMES 能促进慢肌纤维-快肌纤维的转化,这有利于在神经恢复支配前维持肌纤维的面积和肌肉的体积。但 NMES 不能改善肌肉某些等长收缩的特征指标,如收缩-峰值时间(twitch to peak time)和收缩-放松时间。

研究表明在周围神经损伤后立即给予 NMES 治疗,可以防止乙酰胆碱受体的加速退化,如果在受体变得不稳定后才进行 NMES 治疗,就很难逆转受体的退化。因此 NMES 治疗应尽早开始。但另一项研究显示在伤后 28 天开始用波宽 0.2ms、频率 25Hz 的双相方波脉冲电刺激,仍可以维持肌纤维的直径,诱导肌纤维转化为具有快和慢肌纤维特性的混合型纤维。

一些动物试验证明 NMES 具有促进周围神经再生、提高侧支萌出数量的作用。其机制包括神经趋化因素——提高神经营养素-4 (neurotrophin-

4),后者能促进神经轴突发芽;增加损伤处的血液灌注;改善轴浆流动,减少 Ca^{2+} 内流及降低其影响;提高再生轴突通过瘢痕组织的能力;促进施万细胞增殖及髓鞘再形成等。但在人体试验上还没有直接证据表明 NMES 能促进神经再支配,相反有些试验显示 NMES 可能抑制末梢神经发芽和再支配。

目前还没有公认的最佳参数,效果最好的参数应是能引起肌肉收缩的最短波宽、高电压或高电流强度,但患者往往难以忍受。肌电反馈型 NMES 的疗效比普通 NMES 好,其优点是:因为要患者主动收缩,所需的电刺激强度较小,不易出现肌肉过劳,起效快,治疗次数少。应根据患者神经损伤的程度而调节出治疗所需要的波形、刺激的脉宽、间隙时间及刺激强度等,使其对病变的神经肌肉发挥特有的刺激效应,而不引起正常神经肌肉过度收缩而出现疼痛,如图 3-2-1-9 所示,用三角波刺激的强度-时间曲线与方波不一样,对正常肌肉脉冲时间越长的三角波反而需要更大的刺激强度,曲线呈抛物线形,而失神经支配肌肉的曲线末端是平坦的,一定波宽的三角波可以选择性刺激失神经支配的肌肉而不刺激正常肌肉收缩。电流量以能引起肌肉收缩为度,能使受累肌得到适度的刺激,因为过弱的刺激仅能引起肌纤维的微弱收缩,起不到治疗作用,而过强的刺激则可破坏肌纤维。

选载性电刺激原理是用长波宽的三角波可以选择性刺激失神经支配的肌肉而不刺激正常肌肉(图 3-2-1-9)。

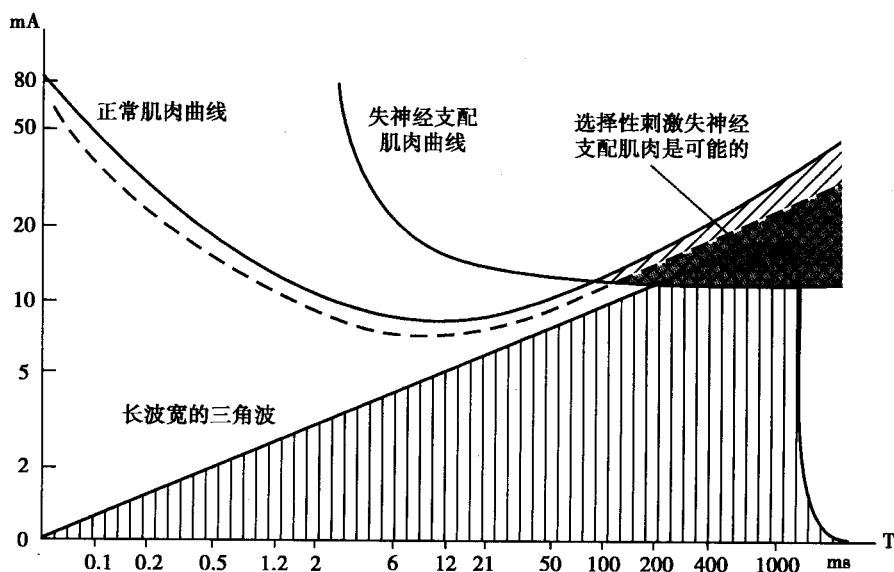


图 3-2-1-9 选载性电刺激原理

①波型:单脉冲刺激用指数波、三角波,脉冲群刺激用双相方波。②波宽:必须等于或大于失神经肌肉的时值,所以在治疗前有必要做时值测定。脉冲群的通断比应为1:4~5,每个收缩<5秒。单脉冲刺激治疗时,轻度神经损伤可选用脉宽50~100ms,中度神经损伤选用脉宽100~300ms,重度神经损伤选用脉宽300ms以上的三角波。③强度:应引起肌肉最大收缩,即所有肌纤维都收缩。如电流不够强,深部的肌纤维可能会刺激不到。④频率:10~25Hz,用于部分失神经肌肉时,由于波宽<0.5ms,故10~25Hz可引起强直收缩。⑤收缩类型:等长收缩。国外作者报道等长收缩的作用比等张收缩好,只要达到最大的等长收缩张力,治疗时间就可很短。因此治疗时要适当固定关节。⑥时间:受伤后越早治疗效果越好;每次治疗分为三段,每段为5~20个等长收缩,每天1~3次或4~6次;治疗中两段之间的休息时间5~10分钟。例如:每个刺激收缩5秒,间歇25秒,则每分钟有2个收缩,10个收缩即5分钟为1段,中间休息10分钟,2段共20分钟,等于每次治疗20分钟,每天1~3次。⑦电极:单极法主极置于肌肉上最易兴奋之处,大小1~2cm²,副极的大小应使患者不会感觉到电极下皮肤刺激,放置于远处。双极法主极同上,副极置于肌腱上。

仪器要求:频率、强度、通断比时间、间歇时间、波宽应能调节。

应用原则:波宽尽量短,但需能引起肌肉收缩;波形应尽量陡,但又不能太直,以避免刺激感觉神经;通断比为1:4~5,防止肌疲劳;强度达到中~强的肌肉收缩,又不能引起患者不适。

3)肌肉运动再学习和易化:运动再学习是指中枢神经系统损伤后运动功能的再次获得。1961年Liberson发现电刺激治疗偏瘫或颅脑损伤患者的下垂足时,于刺激停止后仍能持续一段时间患者感到足背屈较容易完成。Bishop认为中枢神经具有可塑性,即神经系统能不断适应环境的变化,发生结构和功能上的重组。促进这种重组的因素是肌肉的运动再学习,而有目的的主动重复运动训练是促进脑卒中后运动再学习的主要方式。此外,NMES介导的重复运动训练也能促进运动再学习,这项技术对于那些不能参加主动重复运动训练的严重偏瘫患者尤其有益。

多个研究提示经皮NMES有助于运动再学习,它对伤残较轻的患者的疗效好于较重的患者,能改

善手的专项或局部功能障碍但不能改善整体的功能障碍,对急性患者的疗效好于慢性患者。3项最近的研究发现经皮NMES有明确的短期疗效(<治疗后3个月),对运动功能障碍患者尤为明显。然而长期疗效(>治疗后6个月),还不肯定。已完成的一系列临床研究证明肌肉内肌电控制的NMES的疗效优于经皮NMES。

用NMES使肌肉易化的方法有两种:

模拟运动疗法中的促通技术:方法是电流强度较小而看不到肌肉收缩。但患者必须有“轻触”、“拍打”样感觉,类似促通技术中的轻抚、拍打等手法。

运动控制法:加大电流强度使肌肉收缩,向中枢传入大量的本体、运动和皮肤感觉信息,使中枢逐渐适应这种输入信号,帮助建立正常的运动模式。

电流通电时,患者应尽量自己收缩,不能完全靠电刺激收缩;电流中断时,患者必须放松肌肉。每次治疗时间不必太长,一般为15分钟。配合肌电生物反馈疗法效果更好。

4)增加或维持ROM:NMES作为一种辅助治疗手段,可增加或维持ROM。但它不能取代被动牵拉、主动运动等疗法。如果关节ROM只有一个方向受限,使用单通道的NMES就够了。如ROM有两个方向受限,可用双通道的仪器,但必须能交替输出。例如Colles骨折所致腕关节屈伸均受限,很适宜用这种双通道仪器治疗。要维持ROM,每天的治疗时间必须达到30分钟;要增加ROM,治疗时间必须更长。

5)治疗痉挛:1952年,Levine等报道给痉挛肌的拮抗肌以双相100Hz方波刺激引起强直收缩,治疗偏瘫、截瘫、多发性硬化等的痉挛状态。结果痉挛肌的张力下降,ROM增大。作者认为这是交互抑制的结果。从此以后,有很多报道用NMES治疗脑血管意外、脑外伤、脑瘫等所致的痉挛取得显著的近期效果,但远期效果尚不明确。治疗方法有:①单纯刺激拮抗肌。BakerLL等报道用33Hz、0.2ms、7秒:10秒的方波脉冲电流刺激有屈指肌痉挛的脑卒中患者的腕伸肌,每次30分钟,每日3次,结果患者的屈肌痉挛显著减轻,挛缩的发生率显著下降。②单纯刺激痉挛肌:这种方法多用于截瘫、多发性硬化。与增强肌力的电刺激相比,刺激痉挛肌的电流强度相对要小、脉冲群的斜升时间和治疗时间要长。③痉挛肌和对抗肌的交替刺激(Hufschmidt电疗法):这种方法的特点是将波宽和频率相同,先后出现的两组方波分别刺激痉挛肌和其对抗肌,使二者交替收

缩。两路电流可单独调节,前后错开的时间也可以调节。该方法的疗效较好,持续时间较长。其原理是先使痉挛肌强烈收缩,神经肌梭兴奋,通过反射使痉挛肌本身受到抑制;刺激对抗肌收缩,通过交互抑制使痉挛肌松弛。治疗时间10~15分钟,强度以引起肌肉明显收缩为准。④TES:主要用于儿童,在夜间患者睡觉后治疗,目前也用于治疗成人。一般刺激无痉挛的拮抗肌。近年有人观察用20Hz、0.1ms脉冲电流以感觉阈强度刺激痉挛肌10分钟,可以降低肌张力持续达30分钟以上。

NMES降低肌张力的机制可能有:①直接使痉挛肌强直收缩并疲劳;②使拮抗肌收缩产生交互抑制;③使肌肉收缩模仿正常的关节活动;④TES等感觉阈水平的电刺激能干扰伤害性信号的传入。

6)用于肌病:NMES同样可以增加肌力、耐力,减轻和延缓肌肉萎缩,但对肌力已经严重下降,不及正常的15%的肌肉,没有明显疗效。

7)预防压疮:给动物模型以10Hz每天8小时的NMES刺激,最早7天后可见毛细血管增加。人体试验50Hz、33%占空因素的电刺激可以增加坐骨结节部位的血液循环,对活动能力正常者的臀大肌NMES刺激,能改善坐位臀部压力分布,并改变臀部的形状更相似于站立位的形状,减少坐位时臀部组织的扭曲变形。目前正在对脊髓损伤患者研究。

8)促进昏迷患者的苏醒:有人用NMES刺激正中神经治疗颅脑损伤后植物状态患者,方法是将条状电极置于双侧腕关节掌面腕横纹上2cm处正中神经点,给予脉冲宽度10~20ms,频率45~55Hz,强度4~20mA的电流刺激(以引起拇指轻微抽动为宜),结果显示正中神经电刺激有较好的促醒作用。其机制可能为增加脑血流量,直接兴奋大脑皮层和脑干网状结构,影响神经递质的分泌。

(4)常用设备:理想的NMES仪应该体积小、功能全、安全舒适、稳定可靠,各个参数应该有较大的范围调节,具有多通道输出。

电极的大小和放置原则:①对大肌肉和肌群,可用两个等大的大号电极,放在肌肉两端或肌腹两侧;②对小肌肉和单个肌肉,用一个小电极置于运动点上(失神经支配肌肉没有运动点,则放在获得最佳反应的点上),另一个较大的电极置于远端或肌腱上;③避开瘢痕、骨突位置;④两电极不能靠得太近,否则电流在皮肤表面短路。适当加大电极间距离,电流的作用加深;⑤两个电极通常应放在身体的同侧。

(5)操作步骤:①患者采取舒适体位,治疗前应

告诉患者正常的感觉,即有震颤感并可见明显的肌肉收缩;②检查机器各开关是否在零位,输出导线是否完整、接触良好;③将电极固定于治疗部位,可同时用多个通道治疗多块肌肉或肌群;④选好波型、频率、通断比时间、间歇时间、脉冲宽度、治疗时间,调节输出旋钮,逐渐增加电流量到所需强度;⑤治疗结束,关闭电流,取下并清洁电极。

(6)适应证:各种上下运动神经元麻痹,神经失用症,各种原因所致的失用性肌萎缩,肌腱移植术后,关节制动后,大型手术后为防止静脉血栓形成等。

(7)禁忌证:戴心脏起搏器者、恶性肿瘤部位、出血倾向等。

3. 功能性电刺激 功能性电刺激疗法(functional electrical stimulation, FES)是使用低频电流刺激失去神经控制的肌肉,使其收缩,以替代或矫正器官及肢体已丧失的功能。借助计算机技术的飞速发展,人们发明了更加复杂功能多样的程控化的FES系统,被称为功能性神经肌肉电刺激(functional neuromuscular stimulation, FNS)。目前FES的研究应用已涉及临床各个领域。除了用于四肢外,还用于许多内脏器官。如心脏起搏器用于心律失常和窦房结功能低下(病窦综合征);膈肌起搏器(膈神经刺激器)用于救治呼吸中枢麻痹、调整呼吸;通过植入电极控制膀胱功能;调整胃肠功能;多导人工耳蜗使完全丧失听力的聋人恢复听力等。

(1)物理特性:由于FES的应用范围非常广泛,所用的仪器和电流参数差异很大。在此仅介绍神经肌肉的FES电流的性能:

1)波型:双相指数波、方波。

2)波宽:0.3~0.6ms。

3)频率:20~100Hz。

4)脉冲群宽度:0.8~1.8秒。

5)调幅:用梯形波,斜升时间0.5~1.5秒,斜降时间0~1.0秒可调。

(2)FES的作用:

1)代替或矫正肢体和器官已丧失的功能,如偏瘫患者的足下垂、脊柱侧弯。

2)功能重建。FES在刺激神经肌肉的同时,也刺激传入神经,加上不断重复的运动模式信息,传入中枢神经系统,在皮层形成兴奋痕迹,逐渐恢复原有的运动功能。

(3)临床应用:

1)上运动神经元瘫痪:FES治疗的目的是帮助

患者完成某些功能活动,如步行、抓握,协调运动活动,加速随意控制的恢复。

理想的 FES 系统应具有界面友好、操作简单、安全、可靠、功能强大满足患者需要、价格适宜的优点,但目前的 FES 系统还难以达到。

I. 辅助站立和步行:最早应用单侧单通道刺激,用以纠正足下垂。其原理是:在患侧摆动相开始时,足跟离地,放在鞋后跟里的开关接通,电流刺激腓神经或胫骨前肌,使踝背屈。进入站立相后,开关断开,电刺激停止。

Janis J. Daly 等的临床研究结果显示,与单纯接受传统康复治疗(包括踏车训练、地面步行和减重踏车训练)相比,联合应用肌肉内电极 FES 和传统康复治疗可显著改善卒中患者的步态。FES 系统和电极植入约花费 4960 美元。使用表面电极未显示出对一个以上的下肢关节有作用,但是使用肌肉内电极的 FES 可提供髋、膝和踝关节接近正常的步态。

典型的 2 通道 FES 步行系统刺激伸膝,4 通道系统刺激伸膝和屈髋。更多通道的系统须使用植入式肌肉内电极,以精确刺激。

对截瘫患者,可用 4 通道刺激。在双站立相(即双足同时站立时),刺激双侧股四头肌;在单侧站立相,一个通道刺激同侧股四头肌,同时对侧处于摆动相,一个通道刺激胫骨前肌。后来有人在此基础上,再增加了两个通道,分别刺激双侧臀中肌或臀大肌,控制骨盆活动。这样,患者使用 FES 可以站立、转移、行走。1987 年 Peckham 等成功设计了多达 26 通道的 FES 系统,控制整个下肢。它的程控化程度很高,能使患者独立上、下楼梯。

FES 步行系统的实际价值是有限的。一般步行速度只能达到 0.1~0.4m/s,步行距离数十米,尽管目前有些系统可以达到 0.7m/s、1000m,但仍很难达到社区行走的目的。一项调查显示,在某脊髓损伤治疗中心只有 10%的截瘫患者使用了 FES 步行系统,其中只有一半即 5%的患者学会了步行,并且仅 3%的患者回家后能最大限度地借助它完成一些功能活动。

截瘫患者适宜 FES 治疗的标准是 T₄~T₁₂ 损伤、无上肢损伤、年龄 18~50 岁。因为如果脊髓损伤在 T₁₂ 以下,大多数病例支配股四头肌的下运动神经元被损伤,这些患者并不适合进行下肢的功能性电刺激。由于需进行平衡的控制和从安全方面的考虑,在功能性电刺激下站立和行走时,患者必须具备一定的上肢力量。C₈ 到 T₄ 之间完全性损伤的患者

和颈部脊髓不完全损伤的患者可以在功能性电刺激下站立和行走。然而,这些患者躯干稳定性下降,易出现血压升高的自主反射功能亢进。

为了防止或减轻肌肉疲劳,①刺激强度不能过大,以能达到功能要求的最小强度为宜;②脉冲频率 15~50Hz,尽量用较低的频率;③用分散电极使肌肉或肌群的其他部分依次收缩;④配合使用机械助行器具,如助行架、RGO 支具等。可以减少能量损耗,提高步行速度和效率。

II. 控制上肢运动:上肢的运动比下肢复杂许多。应用 4~8 通道的 FES 系统刺激手和前臂肌肉,可使患者完成各种抓握动作。美国和以色列设计的 FES 系统,可以使四肢瘫患者重新恢复手的抓握、写字、吃饭、饮水、梳头等日常生活动作。因为手和前臂肌肉较小,一般用植入式电极,通过同侧肩部肌肉或对侧上肢来控制开关。

FES 应用后还能显著降低痉挛肌的肌张力。

2)呼吸功能障碍:用电刺激膈神经可以追溯到 1948 年,而用于控制和调节呼吸运动的 FES 系统——膈肌起搏器,直到 1983 年才开始应用。一对植入电极埋入双侧膈神经上(亦可用体表电极置于双侧颈部膈神经运动点上),与固定于胸壁上的信号接收器相连。控制器发出无线电脉冲信号,由接收器将其变为低频电流,经电极刺激膈神经,引起膈肌收缩。直接刺激膈肌也有效。膈肌起搏治疗时,电流参数的调节非常重要,否则可引起膈肌疲劳和损伤,加重病情。电刺激频率一般为 7~8Hz。

主要用于高位脊髓损伤、脑外伤、脑血管意外所致的呼吸肌麻痹和支气管哮喘。

3)排尿功能障碍:

I. 尿失禁:为尿液的不自主流出,是由于下运动神经元损伤,尿道括约肌和盆底肌无力,出现排尿淋漓不尽,腹压轻微增高就排尿;或膀胱无抑制性收缩使膀胱内压增加导致的尿液自尿道口溢出。圆锥上脊髓损伤在脊髓休克期过后,多发展为痉挛性膀胱,也可出现反射性尿失禁。

尿失禁成为了一个社会卫生问题,在美国每年的经济负担高达 100 亿美元。虽然外科手术依然是基本的治疗方法,但 FES 等保守治疗是很有前途的方法。

1963 年 Caldwell 首次报道用植入式电极的 FES 治疗尿失禁获得成功,1976 年英国 Brindley 将骶神经前根电刺激技术应用于人体,获得了良好的排尿效果。以后一系列用阴道电极或直肠电极治疗

压力性和急迫性尿失禁有效,配合盆底肌肉训练效果更好。大量研究表明 FES 治疗压力性尿失禁的治愈率为 30%~50%,有效率达 67%~90%。

FES 刺激尿道括约肌和盆底肌,增强其肌力。对男性患者可用体表电极或直肠电极;对女性患者可用阴道电极。低于 10Hz 的刺激可抑制膀胱收缩,10~50Hz 使尿道括约肌收缩,关闭尿道,对混合型尿失禁一般用 20Hz。波宽 0.1~5ms,通断比为 8 秒:15 秒,波型为交变的单相方波或双相方波。肌电生物反馈配合 FES 治疗效果更好,记录电极位尿道电极,插入尿道内,记录患者括约肌活动的肌电图改变,患者根据肌电图的变化,控制 FES 的电刺激和收缩尿道括约肌,明显提高盆底训练的功。

Okada N 等报道刺激大腿肌肉(20min/d,20 天)也可以治疗逼尿肌过度活跃和不稳定型膀胱。

II. 尿潴留:当脊髓排尿中枢遭到破坏或 S₂~S₄ 神经根损伤后,膀胱逼尿肌麻痹,出现尿潴留。如损伤部位在脊髓以上,则出现反射性膀胱,排尿不能受意识控制。由于早期用表面电极治疗脊髓损伤后尿潴留的疗效不佳,FES 对尿潴留的治疗大多是采用植入式电极刺激逼尿肌,使其收缩,并达到一定的强度,克服尿道括约肌的压力,使尿排出。电极植入的位置和刺激部位有几种:植入膀胱壁,直接刺激逼尿肌;刺激脊髓圆锥排尿中枢;刺激单侧骶神经前根;刺激骶神经;刺激盆底括约肌的神经。典型的刺激参数是频率 20Hz,脉冲宽度 1ms。为了防止电刺激时尿道括约肌反射性活跃,一种新的 FES 系统获得成功,该系统 1 个刺激信号包括 2 种独立波型用 2~3 个电极刺激骶神经根,使膀胱逼尿肌收缩的同时能选择性抑制尿道外括约肌。

用表面电极治疗产后尿潴留、术后尿潴留可以收到满意的效果。

4) 特发性脊柱侧弯:本病常见于青少年,病因不明。传统治疗方法是戴脊柱矫形器和手术矫治。但因穿戴时间太长(每天需 23 小时)、矫形器限制患者的活动,不舒服,影响患者形象,患者往往不愿戴从而使治疗半途而废。20 世纪 70 年代开始用电刺激替代矫形器的研究。这种能替代矫形器的 FES 称为“电子矫形器”(electrical orthosis)。

方法:用双通道仪器,电极置于侧弯的两个曲线最高的顶椎旁,刺激髂肋肌、最长肌、棘肌,如图 3-2-1-10 所示。每晚睡觉后治疗,每天 8~10 小时。电流强度以引起肌肉强收缩而又不引起疲劳为限。电流参数:推荐频率 25~35Hz,脉冲宽度 0.2ms,通断

比 6 秒:12 秒(有文献推荐用 5 秒:25 秒),斜升时间 1.5 秒,斜降时间 0.8 秒,强度 60~80mA。连续治疗 6~42 个月,或直到患者的骨骼成熟为止。

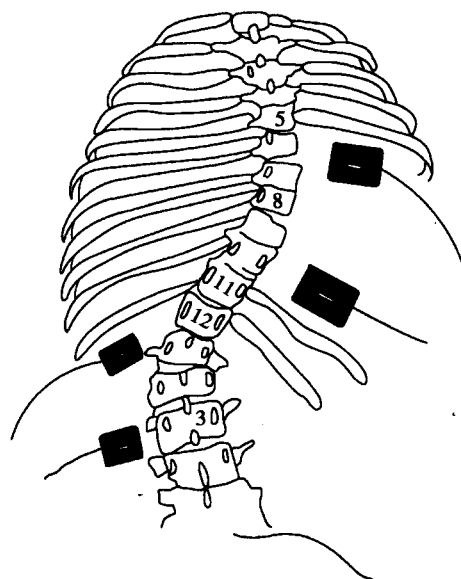


图 3-2-1-10 治疗脊柱侧弯电极的放置位置

疗效:一些研究显示与 Milwaukee 矫形器的效果一致。但荟萃分析结果提示 FES 治疗后的结局与保守观察的自然结局一样,患者的年龄、弯曲的位置和程度、是否有并发症,能影响疗效。因此,FES 的应用价值仅限于那些不能耐受矫形器的弯曲度(Cobb 角)在 20°~40°之间的患者。

5) 肩关节半脱位:肩关节半脱位常见于脑血管意外、四肢瘫、吉兰-巴雷综合征。是由于冈上肌、三角肌无力所致。可出现疼痛、上肢肿胀等症状。治疗多用支具、吊带来托住上肢,但这会限制上肢活动。

FES 可以替代支具、吊带,而不影响上肢运动。Baker LL 最早报道用 FES 治疗,效果优于肩吊带和轮椅臂托,但对缓解疼痛无明显效果。方法是用双相方波刺激冈上肌和三角肌后部(图 3-2-1-11)。FES 频率为 20Hz,波宽 0.3ms,通断比为 1:3。逐渐增大电流强度和治理时间。

David Yu 等报道,肌内功能性神经肌肉电刺激可以明显减少长期偏瘫患者肩不全脱位的疼痛感,并可以进一步改善肩关节的功能。经皮肌内电极被植入 8 例患者的受累肌肉,每天治疗 6 小时,共 6 周。结果显示,FES 可以降低肩关节不全脱位的发生率、缓解疼痛并增加患者肩关节的活动范围,改善肩关节的功能。

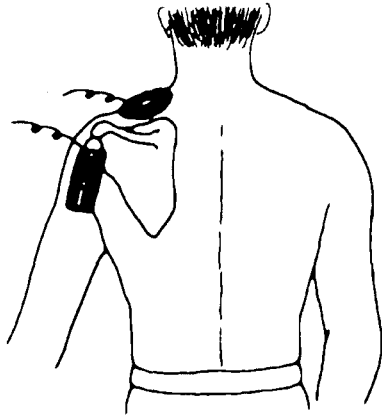


图 3-2-1-11 治疗肩关节半脱位的电极放置位置

(4)设备和方法:FES治疗仪有多种多样。在医疗机构使用的一般是大型精密的多通道仪器。电极的放置和仪器操作较复杂。便携式治疗仪一般为单通道或双通道输出,患者可以戴着仪器回家治疗或一边工作一边治疗。FES通常为微处理器的控制系统,系统按其结构分为控制命令发生器、控制器、刺激器、电极和传感器5部分。系统的植入方式可为无创式、半植入式和植入式等。无创式采用表面电极,控制器、刺激器和电极均位于体外。半植入式是将电极植入体内,而控制器和刺激器放在体外,易于实现对肌肉的精确控制。植入式是将刺激器和电极都植入体内,控制器以无线电频率向体内的刺激器供能和进行控制,可靠性更高。

4. 感觉阈电刺激 感觉阈电刺激(threshold electrical stimulation, TES, ThES)在以前也称为治疗性电刺激(therapeutic electric stimulation, TES),是由Karen Pape在NMES的基础上发展的一种低电流强度、长时间治疗(多在夜间睡觉时治疗)的方法。最初用于脑瘫和脊髓损伤儿童的肌痉挛和严重肌肉萎缩无力的治疗,尽管TES的作用仍有争议性,近年来也用于成人痉挛、大小便失禁的治疗。

TES的出现是偶然性事件。一名女性患儿在出生时发生高位颈髓不完全性损伤,将近3岁时其运动功能很差,不会爬,坐和站立功能只达到3~4个月龄婴儿水平。在35月龄时接受NMES治疗,计划每次20~30分钟,每日2次,每周6次。但患者每次只能忍受2分钟的电刺激,然后就极力反抗不能配合治疗。治疗人员更改了方案,基本参数不变,电流强度减小到感觉阈水平,治疗时间改为晚上睡眠时,持续治疗数小时,以使患者能接受同样的刺激量。电极放置于肩胛带、腰、腹部。

治疗取得了意想不到的效果,患者能配合治疗,睡眠也改善了。治疗5周后运动功能好转,12个月后能借助步行架步行,3年后能独立步行,目前能自理生活。

Pape KE等以双胞胎或三胞胎的脑瘫儿童作为配对观察对象,用0.3ms,35~45Hz,小于10mA的脉冲电流刺激胫骨前肌或股四头肌。偏瘫患者每晚刺激偏瘫严重侧的肢体,双下肢瘫患者隔晚交替刺激双下肢。结果显示TES治疗6个月后患者的粗大和精细运动功能显著好转,停止治疗6个月后这些功能明显减退,再治疗6个月,患者的粗大、精细运动功能和平衡功能又显著好转。Steinbok等观察了TES治疗选择性脊神经后根切断术后的痉挛型脑瘫儿童的疗效,认为“TES能令人满意地显著改善痉挛型脑瘫儿童的运动功能”。TES配合肉毒素注射、巴氯芬泵等抗痉挛疗法,能产生协同治疗作用。一研究显示肉毒素注射后继以TES治疗,可以将肉毒素注射的间隔从3~6个月延长到9~12个月。

但Sommerfelt等观察了TES治疗(0.3ms,40Hz,小于10mA,刺激下肢痉挛肌的拮抗肌)和常规康复训练对4~12岁能步行的痉挛型脑瘫儿童的疗效,发现TES对改善客观的临床指标(步态分析、肌力、运动发育量表等)无明显效果,而患者的父母评价TES治疗有效。

近年来发现脊髓损伤截瘫患者TES治疗6~12个月后大小便功能改善,甚至少部分患者的性功能也得到改善。治疗电极放置于下腹部、腰骶部、臀部。

TES治疗仪有2个输出通道,治疗时电极放置较远,电流刺激的范围大,往往是整个协同肌群。但治疗痉挛时,也可只刺激痉挛肌或其拮抗肌(多刺激拮抗肌)。电极放置应避开运动点,因为长时间刺激运动点患者会不适。可以将主电极置于肌肉上,辅电极置于身体远端。

先天性臂丛神经损伤的恢复常需要数年的时间,有些患者肌力恢复后仍出现运动不能(失用症),这是由于患儿的大脑发育过程中没有学习到正常运动模式所致。TES可作为首选的疗法。

TES的作用机制可能与改善局部血液循环、长期的感觉输入有关。

TES与NMES的波型和脉冲参数相同,区别在于电流强度和治疗时间不同(表3-2-1-3)。而与TENS的区别在于脉冲参数不同。