

- 神经损伤[J].中国组织工程研究,2013,17(01):181—185.
- [30] 黄景辉.两种促神经损伤修复电刺激模式的建立及机制研究[D].西安:第四军医大学,2011.
- [31] 宋莉,刘慧,王泉云.经皮神经电刺激(TENS)的研究新进展[J].中国疼痛医学杂志,2006,12(5):300—302.
- [32] Liu JT, Lee JK, Tyan YS, et al. Change in cerebral perfusion of patients with coma after treatment with right median nerve stimulation and hyperbaric oxygen[J]. Neuromodulation, 2008, 11(4):296—301.
- [33] 白玉龙,胡永善,林伟平,等.定量评估经皮神经电刺激促进周围神经的再生和功能恢复[J].中国临床康复,2005,9(21):49—51.
- [34] 王倩倩.经皮三叉神经慢性电刺激对癫痫大鼠海马炎症反应的抑制以及对癫痫行为学的影响[D].合肥:安徽医科大学,神经病学,2014.
- [35] 南登崑.康复医学[M].第2版.北京:人民卫生出版社,2003.112.
- [36] 吴群,莫云长,黄陆平等.经皮穴位电刺激联合丙泊酚靶输注对开颅术围手术期应激反应的影响[J].中国中西医结合杂志,2013,33(12):1621—1625.
- [37] Toyota S, Satake T, Amaki Y. Transcutaneous electrical nerve stimulation as an alternative therapy for microlaryngeal endoscopic surgery[J]. Anesth Analg, 1999, 89(5): 1236—1238.
- [38] 唐朝正,贾杰.经皮电神经刺激在脑卒中后上肢功能障碍中的应用[J].中国康复理论与实践,2014,20(4):306—310.
- [39] 郑红,王少军,徐璐洁.经皮神经电刺激并超短波治疗偏瘫肩痛[J].中国康复,2005,20(5):302.
- [40] 陈丽贤,段俊峰,王育庆,等.针刺结合经皮神经电刺激治疗慢性腰痛的随机对照研究[J].颈腰痛杂志,2010,31(2):137—138.
- [41] 王强,王利民,韩济生.电针镇痛与经皮神经电刺激镇痛的比较[J].北京医科大学学报,1990,(6):430.
- [42] 刘艺,赵延欣,许云飞,等.经皮神经电刺激治疗脑卒中后尿失禁[J].同济大学学报(医学版),2012,33(3):105—108.

## ·综述·

# 经颅磁刺激在周围神经病变中的应用与研究进展\*

段强<sup>1</sup> 牟翔<sup>1</sup> 袁华<sup>1,2</sup> 惠楠<sup>1</sup>

经颅磁刺激(transcranial magnetic stimulation, TMS)是利用时变磁场作用于大脑皮质产生感应电流,改变皮质神经细胞的动作电位,从而影响脑内代谢和神经电活动的生物刺激技术。自20世纪80年代英国Shifield大学Barker等<sup>[1]</sup>首次用单脉冲经颅磁刺激(single-pulse transcranial magnetic stimulation, sTMS)引起大脑皮质细胞去极化并推荐应用临床以来,其应用领域在逐渐扩大。从诞生到现在的近30年时间里,随着研究的深入,TMS作为一种无创、少痛的新技术已经运用于临床神经学、神经康复学、精神心理学等领域<sup>[2]</sup>。在文献查阅发现,与脑卒中、脑外伤及脊髓病变导致的中枢神经损伤相关的TMS综述较多,但在周围神经病变中的应用报道不多。现将国内外磁刺激治疗周围神经的作用机制及其在常见周围神经病变中的应用作一综述。

## 1 TMS的概述

TMS的原理是法拉第电磁感应定律,即交变磁场可以感生出电场,当产生的电场(电流)超过组织的兴奋阈值时,则引起细胞膜局部去极化,引起组织兴奋<sup>[3]</sup>。与电刺激技术

相比,它刺激的部位比电刺激深,约为2cm,在表面电场值相同的情况下,40mm深处磁感应电场值是表面电刺激产生电场值的10倍<sup>[4]</sup>;并且它与人体无接触,患者耐受好。不同的TMS激活神经元轴突后可产生不同的生物学效应。目前TMS共有三种主要的刺激模式:单脉冲TMS(single-pulse TMS, sTMS)、双脉冲TMS(double-pulse TMS, dTMS),以及重复性TMS(repetitive TMS, rTMS)。sTMS是由手动控制无节律脉冲输出,也可以激发多个刺激,但是刺激间隔较长,因此只需要一个刺激器,多用于常规电生理检查。dTMS需要一个刺激器在同一个刺激部位连续给予两个不同强度的刺激,或者在两个不同的部位应用两个刺激器(也称double-coil TMS, dTMS),刺激间隔时间极短,多用于研究神经的易化和抑制作用。这两种刺激模式也被称为功能性磁刺激。rTMS则需要特殊的设备在同一个刺激部位给出低频rTMS(1Hz或更低)或高频rTMS(5—25Hz),不同刺激参数(模式、频率、强度、间隔、持续时间等)的rTMS会产生不同的神经生理效应,临床上应用最为广泛。这三种刺激模式分别与不同的生理基础及脑内机制相关。sTMS产生的弱电流场

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2018.03.026

\*基金项目:科技部国际合作专项(DFA32610);陕西省国际合作项目(2015KW-035);军队创新工程(16CXZ022)

1 第四军医大学附属西京医院康复理疗科,西安,710032; 2 通讯作者

作者简介:段强,男,主治医师; 收稿日期:2016-11-24

可以引起皮质的去极化;dTMS中第一个刺激引起神经元的活化后,可以降低神经元对下一个刺激的反应阈;rTMS中的低频刺激模式趋向于引起皮质的抑制,高频刺激模式则引起兴奋。

磁刺激作为一种无创、安全的刺激方式,既可以作为一种治疗手段,也可以作为一种检测与评估方法应用于临床,现分别对其在周围神经病变中的治疗与检测应用进行阐述。

## 2 磁刺激在周围神经病变中的治疗应用

rTMS能够促进周围神经病变中神经的修复与再生。根据作用部位的不同大致可以分为两类:一类为局部磁刺激,即直接对损伤神经的出口或者神经根进行磁刺激<sup>[5-6]</sup>;另一类为作用在头颅特定区域的TMS,即采用强磁场经颅刺激中枢皮质,促进周围神经损伤修复后神经再生及传导功能的恢复<sup>[7]</sup>。不论哪种刺激部位,其促进神经恢复的作用或者是调节了神经元的电活动,或者是改善了脑部血流量,或者是调控了神经相关因子的表达等<sup>[8-9]</sup>。

### 2.1 周围性面神经麻痹

对于TMS治疗中枢性面瘫的报道屡见不鲜,关于TMS治疗周围性面神经麻痹临床也有报道<sup>[10]</sup>。如孙曼莉等<sup>[11]</sup>采用频率为1Hz,运动阈值为15%的rTMS刺激患侧耳前治疗10例儿童特发性面神经麻痹8周后发现,患儿面神经功能评分、面神经运动传导均明显改善,其显效率为100%。蓝少勇等<sup>[12]</sup>采用0.5Hz低频rTMS刺激患侧对侧运动皮质(M1)中下部分的面部区域治疗早期特发性面神经炎,明显优于假刺激组。国外的动物实验也发现<sup>[13]</sup>,非侵入性脉冲磁刺激面神经可以增加脑血流量。然而,相关的报道并不多见,其刺激参数、精确定位方法及具体机制有待进一步研究。

### 2.2 三叉神经损伤

此外,TMS治疗三叉神经痛国外早有报道,如Meyerson BA等<sup>[14]</sup>发现刺激大脑初级运动皮质可以缓解三叉神经痛,Saitoh等<sup>[15]</sup>报道高频TMS治疗三叉神经痛其有效率达60%。近年来,国内肖东升等<sup>[16]</sup>采用频率10Hz、110%静息阈值的导航下rTMS刺激三叉神经术后患者的初级运动皮质面部区域,治疗2周后其Barrow疼痛评分明显降低。目前多认为TMS缓解三叉神经痛可能与其抑制躯体感觉神经传入有关<sup>[17]</sup>。但关于磁刺激对单纯三叉神经损伤修复的治疗尚未见报道。

### 2.3 坐骨神经损伤

坐骨神经损伤包括骨科术后伴随坐骨神经损伤及单纯坐骨神经牵拉伤。TMS对坐骨神经损伤的研究较多,从作用机制到刺激部位的选择均有报道。早期的动物实验研究发现,在对磁刺激部位选择上主要是患侧坐骨神经出口或腰4/5神经根,亦有将这两种不同刺激部位进行比较的研究<sup>[18]</sup>。王维

等<sup>[19]</sup>观察磁刺激对损伤大鼠坐骨神经神经传导速度及相应水平脊髓运动神经元内生长相关蛋白43表达的影响。在造模后24h,每天给予坐骨神经损伤局部进行0.09T的磁刺激治疗,检测脊髓L4/5运动神经元生长相关蛋白43(GAP43)表达,结果磁刺激组较模型对照组在第2、4、6、12周相应时间点明显增高;且造模后12周,检测患侧坐骨神经传导发现,磁刺激组再生神经传导速度加快,波幅升高,潜伏期缩短。结果表明磁刺激能提高损伤坐骨神经的传导速度,增加其对应脊髓节段运动神经元中生长相关蛋白43的表达,对大鼠损伤坐骨神经的修复起促进作用。胡永善等<sup>[20]</sup>对坐骨神经损伤模型大鼠采用电生理学和组织学方法分别观察磁刺激对损伤周围神经的潜伏期、波幅及神经传导速度和周围神经髓鞘结构和数目的变化,刺激部位为大鼠头颅正上方2cm处,刺激频率为6Hz,磁场强度为1T,并记录大鼠后肢小腿三头肌的动作电位,结果发现磁刺激组受损坐骨神经的潜伏期缩短,组织学观察可见大量新生髓鞘,其髓鞘的结构也较清晰完整,并且与局部磁刺激比较发现,经皮质磁刺激的坐骨神经潜伏期更短、新生髓鞘数目更多,表明TMS促进受损周围神经再生修复的作用更明显。国外Zhilovpov SA等<sup>[21]</sup>也从组织学结构研究发现3Hz的节律性磁刺激创伤性神经病变大鼠的坐骨神经,其髓鞘和轴索的数量明显增加;也有研究认为电磁刺激能通过Ca<sup>2+</sup>通道蛋白的表达来促进神经细胞的增殖,磁刺激亦可以影响DNA合成,RNA转录<sup>[22]</sup>,从而达到促进神经恢复的目的。现有的研究认为,高强度的磁刺激可以增加兴奋性突触后电位总和,引起刺激部位神经元过度兴奋,从而促进神经功能的恢复<sup>[23]</sup>。

### 2.4 神经根病变

此外,磁刺激还可以作为一种治疗手段,在神经根病变所致的疼痛中亦有较好的临床效果。如Lo等<sup>[24]</sup>采用频率为10Hz的脊髓磁刺激对20例腰椎退变根性疼痛患者的神经根出口处进行治疗发现,在刺激治疗后即刻和治疗后第4天患者的疼痛均明显降低,与安慰剂组(分别为6.1%和4.5%)相比,磁刺激组患者的即刻缓解率可达62.3%,治疗后第4天的疼痛平均缓解率为17.4%。国内王虹等<sup>[25]</sup>采用功能性磁刺激在腰骶神经根及坐骨神经干处刺激治疗腰椎间盘突出症患者,其疼痛也明显减轻。总之,磁刺激作为一种检测手段在神经根病变中具有定位/检测作用已得到公认,但在神经根病变中的治疗作用及作用机制,仍需要进一步研究。

### 2.5 其他

由于磁刺激技术是无创的,它在神经肌肉恢复的临床作用已越来越受到人们的关注。Lin等<sup>[26]</sup>用功能磁刺激在胸2—胸12脊髓平面进行20Hz高频刺激改善高位颈髓损伤患者(颈4—颈7)的呼吸功能,提高有效的咳嗽能力;Lissens等<sup>[27]</sup>讨论了膈神经的功能磁刺激对呼吸肌功能的作用,Zhang

等<sup>[28]</sup>采用高频刺激脊髓水平(C7—T1可以增加吸气和T9—T10可以增加呼气)对四肢瘫痪伴有呼吸功能障碍患者,能够改善其呼吸功能;有人<sup>[29]</sup>已成功地利用外周磁刺激来消除骨骼肌疼痛。卢祖能等<sup>[30]</sup>对18例呼吸功能障碍患者进行膈神经的磁刺激,发现膈运动诱发电位(motor evoked potential, MEP)技术可用来评价呼吸肌中枢运动的传导功能和完整性,结合膈神经传导速度检查可以判断睡眠呼吸暂停综合征的病变类型。

总之,磁刺激在周围神经病变中的应用报道相对较少,但其有效的治疗作用与潜在的临床价值已逐渐显现,其具体作用机制及相关参数仍需进一步深入研究。

### 3 磁刺激在周围神经病变中的检测与定位应用

磁刺激作为一种观察与检测手段已广泛运用于临床,它作用于运动皮质,可在靶肌肉引出MEP,运动传导通路的异常可以引起MEP发生改变,因此记录TMS刺激后MEP,分析MEP的潜伏期、波幅及波形的变化,可以评价皮质脊髓束的兴奋性和皮质脊髓束传导的完整性。这些对于评价运动传导通路及功能损伤程度,帮助发现中枢及周围神经系统的病变,有着重要的临床价值。

#### 3.1 脑神经检测

早期研究中发现,TMS在面神经中的应用,扩大了电生理检查方法在评价面神经的功能及判断预后<sup>[31]</sup>。即磁刺激MEP通过颅骨磁刺激近端神经纤维,用肌电图仪收集面肌复合肌肉动作电位(compound muscle action potentials, CMAPs),以测定近端到远端的运动传导,可以检测到面神经颅内段的传导通路,可以连续地刺激面神经从皮质至末梢,并且可以有效地反映脑干功能,也用来鉴别中枢和周围面神经损伤。还有学者<sup>[32]</sup>对面神经周围病变(如听神经瘤、腮腺肿瘤)手术后的患者进行经颅磁刺激测试,以判断面神经功能状态、损伤部位及预后的报道。但因TMS刺激部位的精确性难以把控及损伤定位存在争议等原因,现多采用电刺激瞬目反射和面神经肌电图检查。TMS在三叉神经损伤中的应用主要体现在检测手段上,即体感诱发电位(somatosensory evoked potentials, SEP),现临床主要采用表面电刺激即可反应出其面部感觉传导通路的完整性,且多与面神经结合检查,如瞬目反射已在临床广泛运用。

#### 3.2 脊神经根病变

神经根病变多由于颈、腰椎病变致神经根受压或神经嵌压,磁刺激主要通过SEP及MEP进行定位诊断、判断转归,但大部分研究表明,SEP的阳性率不及MEP,这可能与其侧重的神经传导通路相关。SEP主要反映躯体深感觉传导通路的功能,它可对累及体感通路的病变进行定位,峰潜伏期和波幅的改变分别反映神经髓鞘及轴突受损情况<sup>[33]</sup>。关于

MEP在对肢体运动通路进行检测的临床报道较多<sup>[34-35]</sup>,其在腰骶神经根病变患者中的患侧MEP表现中异常率可达94.3%,明显高于节段性皮神经刺激SEP的异常率,证明MEP对诊断腰骶神经根病比较敏感,有助于临床定位诊断。Yang等<sup>[36]</sup>通过建立神经根慢性嵌压动物模型,观察神经病理组织学改变来量化MEP,并将神经损伤程度分为I—V度,I度病理损伤时受损神经出现某种感觉障碍和异常,而MEP表现正常;II度损伤时单纯的潜伏期延长,包括F波的延长;在此基础上出现波幅下降,尤其是出现波距加宽,波形分化不清时,神经损伤已达III度;IV度损伤的突出特征是波幅低平,同时潜伏期进一步延长;V度损伤时多有MEP消失或部分电位成分消失。并根据这种特征性表现形式选择保守或手术治疗指征,指导临床治疗。也有人用磁刺激腰骶部运动神经传导时间(motor nerve conduction time, MNCT)与磁刺激腓窝F波相结合测定运动神经根传导时间(motor root conduction time, MRCT)的方法,评估30例S1神经根受损患者S1神经根功能发现,磁刺激MNCT明显异常,异常率为87%,明显高于F波潜伏期的异常率73%<sup>[37]</sup>。关于神经根型颈椎病的MEP检测临床也有报道,董艳娟等<sup>[38]</sup>对12例颈椎椎病性脊髓病及神经根病患者进行磁刺激MEP测定,记录电极分别放置在三角肌、肱二头肌、股四头肌上。结果发现MEP的主要异常为在C6潜伏期延长,并且MEP异常与影像学及临床表现是一致的,提示MEP对神经根型颈椎病的诊断及预后也有意义。总而言之,在评价根性损害时,一般先进行神经传导检测以排除周围神经病,包括H反射、F波等,H反射异常仅提示S1神经根病变,F波可反映传导的延迟,但对于神经根的早期病变有一定的局限<sup>[39]</sup>;SEP与神经根损害有一定相关性,但其准确性和敏感性较低,MEP对神经根病变的定位价值毋庸置疑<sup>[40]</sup>。

#### 3.3 多发神经病变

**3.3.1 吉兰·巴雷综合征(Guillain-Barre syndrome, GBS):**磁刺激MEP是用于检测运动系统传导功能状态的新型神经电生理诊断技术,不仅能分段检测运动神经通路不同部位的传导功能状态,而且可直接作用于神经根,研究周围神经近侧段病变。TMS检测与诊断GBS有其独特优越性,已有较多相关报道<sup>[41-42]</sup>。国内杨林萍等<sup>[43]</sup>对15例GBS患儿应用磁刺激分段测定(C6/7, L4/5, 肘和腓窝)周围运动传导通路功能,分别在上肢拇短展肌和下肢拇展肌肌腹处记录。结果MMEP阳性率93%,周围传导时间(peripheral conduction time, PCT)异常率35%。重症GBS MMEP电位消失或呈异常低波幅的多相波形伴潜伏期显著延长。表明动态检测MMEP可提高GBS的诊断阳性率,PCT可能有助于提示近端神经,尤其是神经根脱髓鞘病变。刘英等<sup>[44]</sup>对20例GB患者进行磁刺激MEP检测,分别刺激皮质、C6/7、T12、L4/5、

Erb点、肘部及腓窝以测定中枢及周围神经传导时间,并与20例健康正常人作对照。结果显示GBS患者中枢及周围神经传导时间明显长于对照组,MEP异常率为85%。表明MEP对GBS的早期诊断有重要价值。

**3.3.2 糖尿病性神经病变:**糖尿病并发神经系统病变是糖尿病常见的临床并发症之一,以糖尿病周围神经病变最多见,神经电生理学是临床常用的检查方法之一<sup>[45]</sup>,包括神经传导速度(nerve conduction velocity, NCV)、H反射、F波、SEP、定量感觉检查(quantitative sensory testing, QST)、瞬目反射等,临床也有采用磁刺激诱发H反射进行神经根功能检测<sup>[46]</sup>。Wang<sup>[47]</sup>采用磁刺激胫1神经根及腓窝胫神经,记录M波、H波对糖尿病近端、远端神经传导功能进行了对比研究发现,82条糖尿病胫神经中,在胫1 H反射、窝H反射和末端感觉传导速度几种不同检测方法的对比研究中,腓窝刺激H反射潜伏期延长高达54.9%,阳性率最高,可能与神经根和近端神经病变均可影响到经典H反射潜伏期有关,为糖尿病神经病变现有神经电生理检测中最为敏感的一种方法。

总之,在多发周围性神经病变中,磁刺激主要是作为一种检测手段应用于临床,具有一定的临床意义。

#### 4 问题与展望

综上所述,经颅磁刺激作为一种无创、无痛、安全可靠的现代脑科四大电生理技术之一,通过其不同频率刺激对皮质产生兴奋或抑制的作用特点,在临床已经取得了显著成果。同时也存在一些问题:①在颅神经核下病变中主要作为一种损伤程度定位或预后判断方法,缺少直接治疗作用,这可能与线圈的大小、作用深度及作用部位导致线圈作用面积大,聚焦性小,难以准确达到治疗靶点有关<sup>[48]</sup>;②关于采用计算机辅助的无框架立体定位导航式TMS以提高TMS刺激部位的准确性的研究尚不够深入<sup>[49]</sup>;③TMS的生理作用机制仍不清楚,对周围神经及脑血流量的影响、神经组织的病理生理改变等诸多方面仍需进一步探讨;④缺少周围神经损伤病变的大样本研究;⑤对于部分疾病的参数设置、治疗时程和功效的评定尚未达成统一标准。此外,采用功能性磁共振成像(functional magnetic resonance imaging, fMRI)与脑电图(electroencephalogram, EEG)结合TMS从时间与空间方面形象、直观地研究神经损伤与修复的动态变化等也需要进一步研究。

#### 参考文献

[1] Barker AT, Jalinous R, Freeston IL. Non-invasive magnetic stimulation of human motor cortex[J]. *Lancet*, 1985, 1(8437): 1106.  
[2] Griskova I, Höppner J, Ruksenas O, et al. Transcranial magnetic stimulation: the method and application[J]. *Medicina*

(Kaunas), 2006, 42(10):798—804.

- [3] Málly J, Stone TW. New advances in the rehabilitation of CNS diseases applying rTMS[J]. *Expert Rev Neurother*, 2007, 7(2):165—177.  
[4] Roth BJ, Saypol JM, Hallett M, et al. A theoretical calculation of the electric field induced in the cortex during magnetic stimulation[J]. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, 1991, 81(1):47—56.  
[5] Wilson DH, Jagadeesh P, Newman PP, et al. The effects of pulsed electromagnetic energy on peripheral nerve regeneration[J]. *Ann N Y Acad Sci*, 1974, (238):575—585.  
[6] Kolosova LI, Akoev GN, Ryabchikova OV, et al. Effect of low-intensity millimeter-range electromagnetic irradiation on the recovery of function in lesioned sciatic nerves in rats [J]. *Neurosci Behav Physiol*, 1998, 28(1):26—30.  
[7] Blankenburg F, Ruff CC, Bestmann S, et al. Studying the role of human parietal cortex in visuospatial attention with concurrent TMS-fMRI[J]. *Cereb Cortex*, 2010, 20(11):2702—2711.  
[8] Longo FM, Yang T, Hamilton S, et al. Electromagnetic fields influence NGF activity and levels following sciatic nerve transection[J]. *J Neurosci Res*, 1999, 55(2):230—237.  
[9] Beaulieu LD, Schneider C. Effects of repetitive peripheral magnetic stimulation on normal or impaired motor control A review[J]. *Clinical Neurophysiology*, 2013,43(4):251—260.  
[10] Hur DM, Kim SH, Lee YH, et al. Comparison of transcranial magnetic stimulation and electroneurography between bell's palsy and ramsay hunt syndrome in their acute stages [J]. *Ann Rehabil Med*, 2013, 37(1):103—109.  
[11] 孙曼莉,肖农,刘玲,等.重复经颅磁刺激治疗儿童特发性面神经麻痹中的临床研究[C].全国小儿脑瘫康复学术会议暨国际学术交流会议.2012.  
[12] 蓝少勇,吴传喜,林东,等.经颅磁刺激治疗早期特发性面神经炎的临床疗效分析[J].*临床医学工程*,2016,23(7):905—906.  
[13] Borsody MK, Yamada C, Bielawski D, et al. Effect of pulsed magnetic stimulation of the facial nerve on cerebral blood flow[J]. *Brain Res*, 2013, 1528(5):58—67.  
[14] Meyerson BA, Lindblom U, Linderöth B, et al. Motor cortex stimulation as treatment of trigeminal neuropathic pain [J]. *Acta Neurochir Suppl (Wien)*, 1993, 58(58):150.  
[15] Saitoh Y, Hirayama A, Kishima H, et al. Stimulation of primary motor cortex for intractable deafferentation pain[J]. *Acta Neurochir Suppl*, 2006, 99(99):57—59.  
[16] 肖东升,杜薇,陶蔚,等.导航下重复经颅磁刺激治疗三叉神经术后非典型面痛[J].*中国疼痛医学杂志*,2014,20(8):561—564.  
[17] De Ridder D, Vanneste S, Van Laere K, et al. Chasing map plasticity in neuropathic pain[J]. *World Neurosurg*, 2013, 80(6):1—5.  
[18] Williams JA, Imamura M, Fregni F. Updates on the use of non-invasive brain stimulation in physical and rehabilitation medicine[J]. *J Rehabil Med*, 2009, 41(5):305—311.  
[19] Wang Wei, Yuan xiuhua, et al. Effects of magnetic stimula-

- tion on nerve conduction velocity and the expression of growth associated protein 43 in rats after sciatic nerve injury. *Journal of Clinical Rehabilitative Tissue Engineering Research*[J]. 2011,15(46):8617—8619.
- [20] 胡永善,白玉龙,林伟平等. 经颅磁刺激促进周围神经再生的实验研究[J]. *中华物理医学与康复*,2003,5(23):267—269.
- [21] Zhivolupov SA, Rashidov NA, Onishchenko LS, et al. The comparative pattern of neuromidin and magnetic stimulation influence on neuroplasticity in experimental traumatic neuropathy[J]. *Zh Nevrol Psikhiatr Im S S Korsakova*, 2014, 114(6):57—62.
- [22] Ito A, Ino K, Hayashida M, et al. Novel methodology for fabrication of tissue-engineered tubular constructs using magnetite nanoparticles and magnetic force[J]. *Tissue Eng*, 2005, 11(9—10):1553—1561.
- [23] Klomjai W, Katz R, Lackmy-Vallée A. Basic principles of transcranial magnetic stimulation (TMS) and repetitive TMS (rTMS)[J]. *Ann Phys Rehabil Med*, 2015, 58(4):208—213.
- [24] Lo YL, Fook-Chong S, Huerto AP, et al. A randomized, placebo-controlled trial of repetitive spinal magnetic stimulation in lumbosacral spondylotic pain[J]. *Pain Med*, 2011, 12(7):1041—1045.
- [25] 王虹. 功能性磁刺激联合腰牵治疗腰椎间盘突出症的疗效观察[C]. *中华医学会第十五次全国物理医学与康复学学术会议论文集*. 2014.
- [26] Lin VWH, Singh H, Chitkara RK, et al. Functional magnetic stimulation for restoring cough in patients with tetraplegia [J]. *Archives of Physical Medicine & Rehabilitation*, 1998, 79(5):517.
- [27] Lissens MA. Motor evoked potentials of the human diaphragm elicited through magnetic transcranial brain stimulation[J]. *J Neurol Sci*, 1994, 124(2):204—207.
- [28] Zhang X, Plow E, Ranganathan V, et al. Functional Magnetic stimulation of inspiratory and expiratory muscles in subjects with tetraplegia[J]. *PMR*, 2016, 8(7):651—659.
- [29] Rollnik JD, Wüstefeld S, Däuper J, et al. Repetitive transcranial magnetic stimulation for the treatment of chronic pain - a pilot study[J]. *Eur Neurol*, 2002, 48(1):6—10.
- [30] 卢祖能,汤晓芙. 电刺激膈神经传导及磁刺激膈运动诱发电位正常值研究[J]. *卒中与神经疾病*,1995,(3):119—122.
- [31] Yamakawa T, Yoshikawa H, Arai A, et al. A clinical study on the magnetic stimulation of the facial nerve[J]. *Laryngoscope*, 1999, 109(3):492—497.
- [32] Kotterba S, Tegenthoff M, Malin JP. Perioperative lesions of the facial nerve: follow-up investigations using transcranial magnetic stimulation[J]. *Eur Arch Otorhinolaryngol*, 1997, 254(3):140—144.
- [33] Dikmen PY, Oge AE. Diagnostic use of dermatomal somatosensory-evoked potentials in spinal disorders: Case series[J]. *J Spinal Cord Med*, 2013, 36(6):672—678.
- [34] Corneffjord M, Olmarker K, Otani K, et al. Effects of diclofenac and ketoprofen on nerve conduction velocity in experimental nerve root compression[J]. *Spine*, 2001, 26(20):2193—2197.
- [35] Troni W, Di Sapio A, Berra E, et al. A methodological reappraisal of non invasive high voltage electrical stimulation of lumbosacral nerve roots[J]. *Clin Neurophysiol*, 2011, 122(10):2071—2080.
- [36] Yang dazhi,Xiao deming,Zhen wanxin,et al. Application of MEP induced by magnetic stimulation in the evaluation of severity of compressive nerve root injury in cat [J]. *Chin J PhysMed Rehabil*,2004,26(9):517—520.
- [37] Yang Zhe, Cheng Junchang, Zhao Longzhu,et al. Diagnostic significance of magnetic stimulationmotor evoked potential in S1radiculopathy[J]. *Journal of clinical brain electrical* [J].2007.6(1):7—9.
- [38] 董艳娟,汤晓芙,杜华,等. 磁刺激运动诱发电位在颈脊椎病性脊髓病及神经根病变中的应用[J]. *中国老年学杂志*,1997,(3):150—151.
- [39] 焦劲松,严莉,汪仁斌,等. 腰骶神经根病的神经传导研究[J]. *中日友好医院学报*,2009,23(6):323—326.
- [40] Zhang shumun,Yin jianhua. et al, Diagnostic Values of nerve electrophysiology insection in lumbosacral radiculopathy. *Chin J of Pratical Nervous Diseases* Nov[J].2013,16(21):100—102.
- [41] Takada H, Ravnborg M. Magnetically evoked motor potentials in demyelinating and axonal polyneuropathy: a comparative study[J]. *Eur J Neurol*, 2000, 7(1):63—69.
- [42] Inaba A, Yokota T, Saito Y, et al. Proximal motor conduction evaluated by transcranial magnetic stimulation in acquired inflammatory demyelinating neuropathies[J]. *Clin Neurophysiol*, 2001, 112(10):1936—1945.
- [43] 杨林萍. 磁刺激运动诱发电位对小儿格林—巴利综合征的评估[J]. *中国临床康复*,2002,9(6):1283.
- [44] 刘英,邹艺,胥勋成,等. MEP在吉兰—巴雷综合征患者中的应用价值[J]. *临床神经电生理学杂志*,2005,14(1):21—24.
- [45] Richards TA, Curtin CM. Posterior interosseous nerve: an alternative to sural nerve biopsy[J]. *Plast Reconstr Surg*, 2010, 126(4):213—221.
- [46] 张逢,张永莉. 糖尿病周围神经病变检测方法的研究进展[J]. *疑难病杂志*,2013,12(9):713—718.
- [47] Wang R, Liu X, Guo Y. Hoffmann reflex elicited by magnetic stimulation of S1 nerve roots in the diagnosis of diabetic radiculopathy[J]. *Zhonghua Yi Xue Za Zhi*, 1998, 78(7):501—503.
- [48] Grafman J, Pascual-Leone A, Alway D, et al. Induction of a recall deficit by rapid-rate transcranial magnetic stimulation[J]. *Neuroreport*, 1994, 5(9):1157—1160.
- [49] Ruohonen J, Ravazzani P, Grandori F, et al. Theory of multichannel magnetic stimulation: toward functional neuromuscular rehabilitation[J]. *IEEE Trans Biomed Eng*, 1999, 46(6):646—651.