

· 临床研究 ·

不同频率功能性磁刺激对脊髓损伤后尿潴留患者排尿功能的影响

宋晨 李江 韩超 韩婕 杨传美 徐子涵

青岛大学附属医院康复医学科, 青岛 266003

通信作者: 李江, Email: lijiaing_67@163.com

【摘要】 目的 观察不同频率功能性磁刺激(FMS)作用于骶3(S3)神经根对脊髓损伤后尿潴留患者排尿功能恢复的影响。**方法** 纳入45例脊髓损伤后神经源性膀胱的患者,根据患者选择治疗方法的不同,按随机数字表法分为5 Hz组(采用5 Hz频率FMS治疗)、20 Hz组(采用20 Hz频率FMS治疗)和假刺激组(采用与5 Hz组同参数同部位的假刺激治疗),每组15例,最终5 Hz组中有1例因患者原因退出,共44例完成本研究。3组患者均在常规膀胱功能干预的基础上给予不同频率下刺激S3神经根的FMS治疗,其中5 Hz组给予频率5 Hz FMS治疗,20 Hz组给予频率20 Hz FMS治疗,假刺激组给予与5 Hz组相同参数、相同部位的刺激,加用假刺激拍,3组刺激部位均为S3神经根区,每日治疗均为20 min,每周5 d,共治疗4周。分别于治疗前和治疗4周后(治疗后),分别给予患者膀胱压力容量评定、肌电图检查,并详细记录治疗期间的排尿日记。**结果** 治疗后,5 Hz组和20 Hz组患者的膀胱容量、膀胱压力、残余尿量、日均导尿次数、日均排尿次数、平均单次排尿量、H反射潜伏期和波幅、F波潜伏期和引出率均较组内治疗前均有明显改善($P<0.05$),假刺激组治疗前后差异无统计学意义($P>0.05$)。治疗后,5 Hz组和20 Hz组的膀胱容量、膀胱压力、残余尿量、日均导尿次数、日均排尿次数、平均单次排尿量、H反射潜伏期和波幅、F波潜伏期和引出率分别与假刺激组相比,组间差异有统计学意义($P<0.05$);治疗后,20 Hz组患者的残余尿量、日均排尿次数、平均单次排尿量、H反射潜伏期和波幅分别与5 Hz组比较,组间差异亦有统计学意义($P<0.05$)。**结论** 5 Hz和20 Hz的FMS作用于S3神经根均可有效改善脊髓损伤后神经源性膀胱患者的排尿功能,且20 Hz组的治疗效果明显优于5 Hz组。

【关键词】 脊髓损伤; 尿潴留; 功能性磁刺激; 膀胱压力容量评定; 肌电图

DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2022.01.011

Functional magnetic stimulation can improve the urination of persons with urine retention after a spinal cord injury

Song Chen, Li Jiang, Han Chao, Han Jie, Yang Chuanmei, Xu Zihan

Department of Rehabilitation Medicine, The Affiliated Hospital of Qingdao University, Qingdao 266003, China

Corresponding author: Li Jiang, Email: lijiaing_67@163.com

【Abstract】 Objective To observe any effect of functional magnetic stimulation (FMS) of the sacral 3 nerve root on relieving urine retention after a spinal cord injury. **Methods** Forty-four patients with neurogenic bladder disorders after a spinal cord injury were divided at random into a 5Hz group ($n=14$), a 20Hz group ($n=15$), and a sham stimulation group ($n=15$). In addition to conventional bladder control training, the 5Hz and 20Hz groups were given 20 minutes of FMS of the sacral 3 nerve root at the appropriate frequency five days a week for 4 weeks. The sham stimulation group was not given any stimulation. A detailed urination diary was kept during the treatment, and before and after the 4 weeks, everyone's bladder pressure volume was assessed and an electromyogram was recorded. **Results** After the treatment those in the 5Hz and 20Hz groups had improved significantly in terms of average bladder capacity, bladder pressure, residual urine volume, daily number of urethral catheterizations, daily micturition frequency, single urine output, H-reflex latency, and the amplitude and incubation period of the F wave. Those in the sham stimulation group showed no consistent improvement in any of these indicators. Moreover, the average residual urine volume, daily urination frequency and H-reflex latency and amplitude of the 20Hz group were significantly better than those of the 5Hz group. **Conclusions** Magnetic stimulation of the S3 nerve roots can effectively improve the urination of persons with neurogenic bladder disorders after a spinal cord injury. The preferred frequency is 20Hz.

【Key words】 Spinal cord injury; Urine retention; Functional magnetic stimulation; Bladder pressure; Bladder volume; Electromyography

DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2022.01.011

神经源性膀胱是脊髓损伤的常见合并症之一^[1], 它可引起的尿潴留、尿失禁、肾积水、泌尿系感染以及后期发生的慢性肾功能衰竭, 而膀胱功能障碍引起的肾功能衰竭是脊髓损伤患者死亡的首要原因^[2]。重建膀胱功能是脊髓损伤患者康复治疗中的一项重要内容, 而脊髓损伤患者的主要危险是膀胱过度充盈而不是失禁^[3], 因此治疗脊髓损伤后尿潴留至关重要。有研究^[4]显示, 骶神经根磁刺激能促进神经源性膀胱患者排尿。

功能性磁刺激 (functional magnetic stimulation, FMS) 是通过线圈产生磁场, 当磁场作用于人体组织时, 它能够使神经组织去极化, 产生电流, 使机体组织兴奋^[5], 是一种无痛无创、易操作、舒适、可精准定位、一定程度上优于电刺激的治疗手段^[6]。根据目前已有的相关文献可知, FMS 可以改善脊髓损伤患者的膀胱功能, 但各研究用到的刺激部位、刺激强度、刺激方式以及刺激持续时间等不尽相同。Rodie 等^[7]用 20 Hz 的 FMS 行骶 3 (sacral 3, S3) 神经根刺激试验发现, 脊髓损伤患者在重复磁刺激后出现逼尿肌压力升高; 而 Tsai 等^[8]使用 5 Hz 刺激双侧 S3 神经根区域, 患者膀胱功能有所改善。目前尚鲜有对不同频率 FMS 改善神经源性膀胱效果优劣进行比较的文献报道, 因此, 本研究旨在比较 5 Hz 和 20 Hz 两种刺激频率对脊髓损伤后神经源性膀胱患者排尿功能的影响, 从而得出较理想的治疗方案, 为改进临床治疗神经源性膀胱提供可靠的参考依据。

资料与方法

一、研究对象及分组

入选标准: ①符合美国脊柱损伤协会制订的脊髓损伤诊断标准^[9], 并已结束脊髓休克期; ②有不同程度的尿潴留, 主要表现为膀胱胀满而无法排尿或尿频、尿不尽, 下腹胀满不适, 残余尿量 > 100 ml^[10]; ③留置尿管已拔出; ④完成膀胱压力容量评定及肌电图检查; ⑤签署知情同意书。

排除标准: ①骶髓损伤; ②严重尿路感染、肾脏疾病; ③有磁刺激、间歇性导尿禁忌证; ④依从性差, 不能遵照研究设计方案进行治疗; ⑤治疗部位直径 20 cm 范围内有金属内固定^[11]。

脱落标准: 若患者出现泌尿系感染, 给予相应治

疗, 如 1 周内可控制感染, 则继续完成实验, 若 1 周内仍不能控制感染, 则视为脱落; 因病情治愈无需再进行治疗而终止者不能纳入脱落范畴。

选取 2020 年 7 月至 2021 年 4 月在青岛大学附属医院西海岸院区康复医学科诊治且符合上述标准的脊髓损伤后神经源性膀胱患者 45 例, 根据患者治疗方法的不同, 按随机数字表法分为 5 Hz 刺激组、20 Hz 刺激组和假刺激组, 每组 15 例, 最终 5 Hz 组中有 1 例因患者原因退出, 共 44 例完成本研究。3 组患者的性别、平均年龄、平均病程及美国脊髓损伤协会损伤量表 (American Spinal Cord Injury Association impairment scale, AIS) 分级等一般临床资料经统计学分析比较, 组间差异均无统计学意义 ($P > 0.05$), 具有可比性, 详见表 1。本研究获青岛大学附属医院临床研究伦理委员会批准 (注册号为 QYFYWZLL26296)。

二、治疗方法

3 组患者均给予常规膀胱功能干预, 包括间歇导尿^[12]、手法排尿 (扳机点叩击法^[13]) 治疗; 在此基础上, 5 Hz 组和 20 Hz 组分别增加 5 Hz 和 20 Hz 不同频率下的 S3 神经根 FMS 治疗, 对照组则给予 S3 神经根假磁刺激治疗。

FMS 治疗: 采用武汉伊瑞德设备公司的 CCY-1A 型经颅磁刺激治疗仪, 以线圈直径为 12.5 cm 的圆形线圈进行刺激。治疗时患者取俯卧位, 利用超声确定 S3 神经孔, 约在骶骨上缘和尾骨连线的中点向左右各旁开一横指。圆形线圈与 S3 神经孔表面相切, 中点对准刺激靶点, 采用单个脉冲刺激观察磁刺激反应, S3 神经根有效磁刺激时可见双侧足趾收缩, 患者有明显的肛门收缩感, 即开始治疗^[14]。

各组具体实施方案: ①5 Hz 组——强度 70% 最大磁强度, 频率 5 Hz, 每个序列 50 个脉冲, 共 24 个序列, 每个序列的持续时间为 10 s, 序列间隔时间为 40 s, 总治疗时间为 20 min, 刺激部位为 S3 神经根区; ②20 Hz 组——强度 70% 最大磁强度, 频率 20 Hz, 每个序列 40 个脉冲, 共 30 个序列, 每个序列的持续时间为 2 s, 序列间隔时间为 38 s, 总治疗时间为 20 min, 刺激部位为 S3 神经根区; ③假刺激组——使用与 5 Hz 组相同参数、相同部位的刺激, 加用假刺激拍, 噪声放电与 5 Hz 组相似。3 组患者的治疗时间均为每日 1 次, 每周 5 d, 共 4 周 20 次。

表 1 3 组患者的一般临床资料

组别	例数	性别 (例)		平均年龄 (岁, $\bar{x} \pm s$)	平均病程 (月, $\bar{x} \pm s$)	AIS 分级 (例)			
		男	女			A	B	C	D
假刺激组	15	13	2	34.47 ± 6.22	2.15 ± 0.75	4	5	4	2
5 Hz 组	14	11	3	35.5 ± 9.85	2.54 ± 0.60	4	4	4	2
20 Hz 组	15	11	4	36.27 ± 9.22	2.27 ± 0.64	2	4	5	4

三、观察指标及疗效评定方法

分别治疗前和治疗 4 周后(治疗后),对所有患者进行膀胱压力容量评定(包括最大膀胱测压容量、残余尿量和膀胱压力等)和肌电图检查,并详细记录排尿日记(包括导尿次数、排尿次数、排尿量)和计算其平均值,

1.膀胱压力容量评定:使用膀胱压力容量评定系统(SY-PY500 型,江苏苏云公司提供),测定患者初感尿意的膀胱容量、最大膀胱容量、残余尿量、膀胱压力。膀胱压力容量评定技术是运用膀胱压力容量评定系统中压力传感器,测定膀胱在储尿期与排尿期内压的变化,通过计算机软件界面观察膀胱储尿期压力与容量关系,报告评估膀胱功能。

2.H 反射的检查:在腘窝处刺激胫神经,阴极朝向近端,从较低刺激强度开始。患者取俯卧位,两腿伸直,在小腿下放一垫子,使小腿充分放松。H 反射记录电极为皮肤表面电极,记录点放在腓肠肌内侧头肌腹上,参考电极放在腓肠肌内侧头肌腱上,地线放在记录电极和刺激电极之间。H 反射是一个正-负-正三相波,检查时,通常连续做几个 H 反射,每次大约间隔 3~5 s,选潜伏时间最短的波形测量,为 H 反射的潜伏期。要两侧对比,而且两侧刺激点到记录点的距离要相等。患侧 H 反射潜伏期较健侧延长 ≥ 1.5 ms 为异常;或两侧 H 反射潜伏期 ≥ 35 ms 为异常;H 波形缺失为异常^[15]。

四、统计学方法

使用 SPSS 22.0 版统计学软件对所得数据进行统计学分析处理,计数资料进行正态性分布检验,若符合正态分布,则所得计量资料用($\bar{x}\pm s$)表示,组内治疗前后比较采用配对样本 t 检验,多组间比较采用单因素方差分析,后续两两比较采用最小显著差异法(least-

significant difference, LSD)分析;若不符合正态分布,则所得计量资料采用 $M(P_{25}\sim P_{75})$ 表示,组内治疗前后比较采用 Wilcoxon 符号平均秩检验,多组间比较采用 Kruskal-Wallis H 检验,后续两两比较采用 Nemenyi 法分析, $P<0.05$ 认为差异有统计学意义。

结 果

一、3 组患者治疗前后的膀胱压力容量指标及排尿次数比较

治疗前,3 组患者的膀胱容量、残余尿量、膀胱压力、日均导尿次数以及日均排尿次数和平均单次排尿量组间比较,差异均无统计学意义($P>0.05$);治疗后,5 Hz 组和 20 Hz 组的上述临床指标均较组内治疗前有明显改善($P<0.05$),而假刺激组治疗前后差异均无统计学意义($P>0.05$)。治疗后两两比较,5 Hz 组和 20 Hz 组的上述临床指标与假刺激组相比,组间差异均有统计学意义($P<0.05$);且 20 Hz 组治疗后的残余尿量、日均排尿次数和平均单次排尿量与 5 Hz 组相比,组间差异亦有统计学意义($P<0.05$),详见表 2。

二、3 组患者治疗前后的电生理学指标比较

治疗前,3 组患者肌电图检查中 H 反射的潜伏期和波幅、F 波的潜伏期和引出率组间比较,差异均无统计学意义($P>0.05$);治疗后,5 Hz 组和 20 Hz 组患者的上述电生理学指标均较组内治疗前明显改善($P<0.05$),而假刺激组治疗前后差异无统计学意义($P>0.05$)。治疗后两两比较,5 Hz 组和 20 Hz 组的电生理学指标与假刺激组相比,组间差异均有统计学意义($P<0.05$);且 20 Hz 组治疗后的 H 反射潜伏期及其波幅与 5 Hz 组相比,组间差异亦有统计学意义($P<0.05$),详见表 3。

表 2 3 组患者治疗前后的膀胱压力容量及各项排尿指标比较

组别	例数	膀胱压力容量指标 ($\bar{x}\pm s$)			日均导尿次数 (次, $\bar{x}\pm s$)	日均排尿次数 [次, M (P ₂₅ ~ P ₇₅)]	平均单次排尿量 [ml, M (P ₂₅ ~ P ₇₅)]
		膀胱容量 (ml)	残余尿量 (ml)	膀胱压力 (mmH ₂ O)			
假刺激组							
治疗前	15	368.67±54.10	361.33±49.55	29.00±5.25	4.63±0.64	0.00(0.00~2.41)	0.00(0.00~42.52)
治疗后	15	382.00±53.61	350.00±68.66	30.07±4.64	4.55±0.71	0.00(0.00~2.80)	0.00(0.00~45.57)
5 Hz 组							
治疗前	14	377.14±53.27	353.57±47.81	25.14±5.45	4.28±0.72	0.00(0.00~1.40)	0.00(0.00~27.47)
治疗后	14	448.57±49.44 ^{ab}	294.29±48.47 ^{ab}	33.71±3.77 ^{ab}	2.98±1.66 ^{ab}	3.20(1.44~4.12) ^{ab}	69.08(47.00~86.65) ^{ab}
20 Hz 组							
治疗前	15	353.33±58.51	341.33±62.66	27.60±5.05	4.14±0.82	0.00(0.00~3.11)	0.00(0.00~37.19)
治疗后	15	433.33±61.02 ^{ab}	234.67±72.00 ^{abc}	35.60±2.72 ^{ab}	3.27±1.50 ^{ab}	4.32(3.27~5.62) ^{abc}	83.97(58.11~180.64) ^{abc}

注:与组内治疗前比较,^a $P<0.05$;与假刺激组比较,^b $P<0.05$;与 5 Hz 组比较,^c $P<0.05$

表 3 3 组患者治疗前后的电生理学指标比较($\bar{x}\pm s$)

组别	例数	H 反射		F 波	
		潜伏期(ms)	波幅(mV)	潜伏期(ms)	引出率(%)
假刺激组					
治疗前	15	31.10±1.80	1.05±0.52	54.69±3.00	61.40±18.76
治疗后	15	31.12±1.77	1.02±0.48	54.12±3.13	65.33±18.29
5 Hz 组					
治疗前	14	30.71±1.45	1.04±0.52	54.51±2.69	53.14±17.30
治疗后	14	29.92±1.19 ^{ab}	1.42±0.37 ^{ab}	51.02±2.59 ^{ab}	77.57±12.48 ^{ab}
20 Hz 组					
治疗前	15	30.77±1.48	1.23±0.60	56.15±2.26	56.47±15.12
治疗后	15	28.87±1.03 ^{abc}	1.79±0.47 ^{abc}	50.83±2.84 ^{ab}	79.20±13.35 ^{ab}

注:与组内治疗前比较,^a $P<0.05$;与假刺激组比较,^b $P<0.05$;与 5 Hz 组比较,^c $P<0.05$

讨 论

本研究结果显示,治疗后 5 Hz 组和 20 Hz 组患者的临床指标及电生理学指标与组内治疗前相比均有显著改善,且差异有统计学意义($P<0.05$);与 5 Hz 组比较,20 Hz 组治疗后的残余尿量、日均排尿次数、平均单次排尿量、H 反射潜伏期、波幅等指标的组间差异均有统计学意义($P<0.05$),提示 5 Hz 和 20 Hz 的 FMS 均可有效改善脊髓损伤后患者的排尿功能,且 20 Hz 的治疗效果优于 5 Hz。

已发表的 FMS 应用于脊髓损伤后神经源性膀胱的临床研究中,对于治疗的有效频率尚无统一,目前常用频率在 5~20 Hz。Reitz 等^[16]以不同的频率对脊髓损伤后神经源性膀胱患者进行连续磁刺激研究发现,在 5 Hz 至 10 Hz 之间的 FMS 对于膀胱逼尿肌为抑制作用,20 Hz 主要引起尿道括约肌收缩;而使用 5 Hz FMS 治疗尿潴留的研究认为,使用 5 Hz 刺激 S3 神经根时,引起膀胱逼尿肌抑制,刺激停止后,抑制作用消失,逼尿肌收缩,膀胱压力升高,促使患者排尿。周宁等^[17]采用 5 Hz FMS 对 20 例神经源性膀胱患者先刺激 S3 神经根后刺激膀胱区,患者膀胱功能得到提高。Tsai 等^[8]对 20 例女性患者,使用 5 Hz 磁刺激,刺激双侧 S3 神经根区域,患者膀胱容量和膀胱压力均明显改善。Habashy 等^[18]对 40 例多发性硬化后神经源性膀胱患者,使用 5 Hz 磁刺激,分别刺激 M1 区和 S3 神经根区域,逼尿肌无力患者的膀胱功能均有所改善。这些研究均证明了 5 Hz 刺激 S3 神经根对治疗神经源性膀胱有效。而在使用 20 Hz 治疗尿潴留的研究中,延迟性反弹性收缩^[19]是该试验设计的理论基础,该理论认为,当磁刺激 S3 神经根时,逼尿肌和尿道周围括约肌均收缩,然而在刺激结束时,尿道括约肌会立即放松,而逼尿肌仍有明显的张力,膀胱和尿道之间产生的压力梯度使尿液流出。Kirkham 等^[20]对 10 例脊髓损伤后神经源性膀胱患者和 10 例健康人,使用 20 Hz 磁

刺激刺激 S3 神经根,所有受试者均出现尿道外括约压力升高,但仅脊髓损伤患者在刺激停止后出现逼尿肌压力升高。Bycroft 等^[19]研究发现,当 15 Hz FMS 停止后,逼尿肌出现延迟反弹性收缩,逼尿肌在刺激终止后更缓慢地收缩并维持较长时间。Tai 等^[21]研究发现,15~20 Hz 刺激 S3 神经根是引起括约肌收缩的最佳频率。

本研究中,5 Hz 组与 20 Hz 组 FMS 刺激 S3 神经根治疗脊髓损伤后尿潴留的相关指标均有明显改善,这可能是因为:①使用 5 Hz 刺激 S3 神经根时,引起膀胱逼尿肌抑制,刺激停止后,抑制作用消失,逼尿肌反弹性收缩,膀胱压力升高,促使患者排尿;②使用 20 Hz 刺激 S3 神经根时,主要引起尿道括约肌收缩,刺激停止后,尿道括约肌松弛,逼尿肌收缩,使尿液排出,这可一定程度上证明延迟性反弹性收缩理论的正确性。本研究中,在残余尿量、日均排尿次数、平均单次排尿量方面 20 Hz 组明显优于 5 Hz 组,这可能是因为刺激停止后,5 Hz 只引起逼尿肌收缩而对尿道括约肌无影响,然而 20 Hz 在逼尿肌收缩的同时有尿道括约肌松弛现象,这使得逼尿肌与括约肌可更协调地利于患者排尿,从而导致 20 Hz 组患者的残余尿量减少,日均排尿次数增多及单次排尿量增加。另外,在电生理指标方面,与假刺激组相比,5 Hz 组和 20 Hz 组的 H 反射潜伏期缩短、波幅升高,且 F 波潜伏期缩短、引出率增加,说明 FMS 可促进神经修复,促进神经传导^[14,22],增强神经的感觉传入与运动传出,从而促进排尿;与 5 Hz 相比,20 Hz FMS 在促进神经损伤的修复、促进神经传导方面效果更好;治疗后,20 Hz 组的 F 波潜伏期与 5 Hz 组比较,组间差异无统计学意义($P>0.05$),而 5 Hz 组与 20 Hz 组治疗后 H 反射潜伏期的组间差异有统计学意义($P<0.05$)。究其原因可能是,F 波是用来评估神经近端的功能,而 H 反射与 F 波不同,它为真正意义上的反射,其由感觉神经纤维传入、经由突触、运动神经纤维传出,H 反射的潜伏期在上运动神经

元病变时延长^[23],评估内容的差异导致最终结果的不同,而本研究中的样本量较小,也可能对最终的评估结论产生差异。

综上所述,在使用 FMS 刺激 S3 神经根治疗脊髓损伤后尿潴留时,5 Hz 和 20 Hz 均有效,而且 20 Hz 刺激 S3 神经根对于促进脊髓损伤后尿潴留的恢复效果最好,提示 FMS 刺激 S3 神经根可能是改善脊髓损伤后神经源性膀胱患者排尿功能的有效手段。由于本试验样本量较少,所以尚未根据 AIS 分级的不同将研究对象进行分层分析,探讨不同损伤程度对 FMS 的治疗效果的影响。因此,为了得出更加客观、准确、真实的结论,需要进行多中心、大样本、随机、双盲、对照的临床试验来进一步探讨脊髓损伤后膀胱功能恢复的相关机制,从而更好地指导临床应用。

参 考 文 献

- [1] Yildiz N, Akkoç Y, Erhan B, et al. Neurogenic bladder in patients with traumatic spinal cord injury: treatment and follow-up[J]. *Spinal Cord*, 2014, 52(6):462-467. DOI:10.1038/sc.2014.41.
- [2] Elmelund M, Klarskov N, Biering-Sørensen F. Prevalence of urinary incontinence in women with spinal cord injury[J]. *Spinal Cord*, 2018, 56(12):1124-1133. DOI:10.1038/s41393-018-0157-0.
- [3] Nassiri N, Maas M, Chopra S, et al. Urinary retention in spinal cord injury[J]. *Urology*, 2020, 141:e7. DOI:10.1016/j.urology.2020.04.060.
- [4] Nardone R, Versace V, Sebastianelli L, et al. Transcranial magnetic stimulation and bladder function: a systematic review[J]. *Clin Neurophysiol*, 2019, 130(11):2032-2037. DOI:10.1016/j.clinph.2019.08.020.
- [5] Gad P, Choe J, Shah P, et al. Sub-threshold spinal cord stimulation facilitates spontaneous motor activity in spinal rats[J]. *J Neuroeng Rehabil*, 2013, 10:108. DOI:10.1186/1743-0003-10-108.
- [6] Fergany LA, Shaker H, Arafa M, et al. Does sacral pulsed electromagnetic field therapy have a better effect than transcutaneous electrical nerve stimulation in patients with neurogenic overactive bladder[J]. *Arab J Urol*, 2017, 15(2):148-152. DOI:10.1016/j.aju.2017.01.007.
- [7] Rodic B, Schlapfer A, Curt A, et al. Magnetic stimulation of sacral roots for assessing the efferent neuronal pathways of lower urinary tract[J]. *Muscle Nerve*, 2002, 26(4):486-491. DOI:10.1002/mus.10234.
- [8] Tsai PY, Wang CP, Hsieh CY, et al. Long-term sacral magnetic stimulation for refractory stress urinary incontinence[J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2014, 95(12):2231-2238. DOI:10.1016/j.apmr.2014.07.010.
- [9] 李建军,王方永.脊髓损伤神经学分类国际标准(2011年修订)[J].*中国康复理论与实践*, 2011, 17(10):963-972. DOI:10.3969/j.issn.1006-9771.2011.10.009.
- [10] Boulis NM, Mian FS, Rodriguez D, et al. Urinary retention following routine neurosurgical spine procedures[J]. *Surg Neurol*, 2001, 55(1):23-38. DOI:10.1016/s0090-3019(01)00331-7.
- [11] 张怀期.骶神经根磁刺激对脊髓损伤后神经源性膀胱的疗效观察[D].*中国医科大学*, 2019.
- [12] Lucas E. Medical management of neurogenic bladder for children and adults: a review[J]. *Top Spinal Cord Inj Rehabil*, 2019, 25(3):195-204. DOI:10.1310/sci2503-195.
- [13] Hall B, Woodward S. Pelvic floor muscle training for urinary incontinence postpartum[J]. *Br J Nurs*, 2015, 24(11):576-579. DOI:10.12968/bjon.2015.24.11.576.
- [14] Lim R, Liong ML, Leong WS, et al. Magnetic stimulation for stress urinary incontinence: study protocol for a randomized controlled trial[J]. *Trials*, 2015, 16:279. DOI:10.1186/s13063-015-0803-1.
- [15] Hofstoetter US, Freundl B, Binder H, et al. Recovery cycles of posterior root-muscle reflexes evoked by transcutaneous spinal cord stimulation and of the H reflex in individuals with intact and injured spinal cord[J]. *PLoS One*, 2019, 14(12):e0227057. DOI:10.1371/journal.pone.0227057.
- [16] Reitz A, Knapp PA, Frey S, et al. Functional magnetic stimulation of the spinal cord: a urodynamic study in healthy humans[J]. *Neurourol Urodyn*, 2004, 23(2):148-153. DOI:10.1002/nau.20014.
- [17] 周宁,陆敏,黄晓琳,等.功能性磁刺激对神经源性膀胱患者的疗效追踪[J].*中国康复*, 2005, 30(1):17-18. DOI:10.3870/j.issn.1001-2001.2005.01.006.
- [18] El-Habashy H, Nada MM, Maher EA, et al. The effect of cortical versus sacral repetitive magnetic stimulation on lower urinary tract dysfunction in patients with multiple sclerosis[J]. *Acta Neurol Belg*, 2020, 120(1):141-147. DOI:10.1007/s13760-019-01257-6.
- [19] Bycroft JA, Craggs MD, Sherif M, et al. Does magnetic stimulation of sacral nerve roots cause contraction or suppression of the bladder[J]. *Neurourol Urodyn*, 2004, 23(3):241-245. DOI:10.1002/nau.20009.
- [20] Kirkham AP, Knight SL, Craggs MD, et al. Neuromodulation through sacral nerve roots 2 to 4 with a Finetech-Brindley sacral posterior and anterior root stimulator[J]. *Spinal Cord*, 2002, 40(6):272-281. DOI:10.1038/sj.sc.3101278.
- [21] Tai C, Booth AM, de Groat WC, et al. Colon and anal sphincter contractions evoked by microstimulation of the sacral spinal cord in cats[J]. *Brain Res*, 2001, 889(1-2):38-48. DOI:10.1016/s0006-8993(00)03095-x.
- [22] Awad BI, Carmody MA, Zhang X, et al. Transcranial magnetic stimulation after spinal cord injury[J]. *World Neurosurg*, 2015, 83(2):232-235. DOI:10.1016/j.wneu.2013.01.043.
- [23] Stutzig N, Siebert T. Assessment of the H-reflex at two contraction levels before and after fatigue[J]. *Scand J Med Sci Sports*, 2017, 27(4):399-407. DOI:10.1111/sms.12663.

(修回日期:2021-12-03)

(本文编辑:汪 玲)