

功能性电刺激康复踏车改善卒中患者痉挛的研究

摘要 目的：探讨短期功能性电刺激辅助下肢驱动踏车运动是否可以减少卒中患者肢体痉挛程度。同时我们也将探讨在踏车运动基础上，功能性电刺激是否有额外的降低痉挛的效果。

研究设计：自身前后比较。**受试者：**大学附属医院收治的 17 例卒中后患者。**方法：**在椭圆形的轨迹上，患者驱动轮椅的方式分为三种：功能性电刺激辅助下肢踏车驱动、下肢踏车驱动和手动驱动方式。我们比较了治疗前后患者的肌张力（MAS 量表评估）、H 反射/最大 M 反应（H/M 比）和放松指数。MAS、H/M 比和放松指数三个指标的变化程度用来评估在踏车运动基础上，功能性电刺激是否有额外的降低痉挛的效果。**结果：**功能性电刺激辅助下肢踏车驱动和下肢踏车驱动方式都能有效降低 MAS、H/M 比，增加放松指数。对于高肌张力患者群，在踏车基础上，功能性电刺激有额外的降低 MAS、H/M 比，增加放松指数作用。

结论：短期的功能性电刺激辅助下肢踏车驱动和下肢踏车驱动方式都能有效降低痉挛程度。对于高肌张力患者来说，功能性电刺激有额外的降低痉挛的效果。

关键词：痉挛、功能性电刺激、踏车、轮椅、卒中

J Rehabil Med 2009; 41: 242–246

背景介绍

卒中患者由于瘫痪肢体的无力或痉挛，影响了他们的行动能力。多数患者在使用手动轮椅（manual wheelchairs, MW）来改善他们的移动能力和防止意外的跌倒。但是卒中后过高的肌张力影响了他们使用手动轮椅。患者在使用手动轮椅时，常常在向患侧改变行动方向时有困难。不对称的运动使得患者在驱动轮椅时躯干向患侧倾斜。这种不对称的姿势将引起异常的肌张力增高并影响患者的预后。由于这些原因，通常不鼓励患者在卒中后的早期就使用依靠自身力量驱动的轮椅。

目前已有利用下肢驱动的轮椅用于卒中患者。Makino 等学者研发了依靠双下肢驱动的脚踏轮椅。Tsai 等设计了两种依靠健侧下肢驱动的脚踏轮椅。这些研究发现下肢驱动轮椅有更高的效率。目前下肢驱动轮椅对于肌张力影响的研究还未见报道。

目前有许多方法包括运动疗法、电生理疗法用来降低痉挛。运动疗法中的踏车运动是降低痉挛有效的手段。在多发硬化化的患者中踏车运动可以有效降低痉挛。目前虽然已有两个研究报道了下肢踏车运动可以有效降低痉挛，但是这对于卒中患者是否也有效目前还未见报

道。有些研究指出反复的肢体被动活动可以增加卒中患者的关节活动度和改善关节僵硬。以上这些证据提示下肢的踏车运动对于卒中后患者的痉挛可能是有积极作用的。目前肌肉电刺激也广泛用于痉挛的治疗。有研究报道功能性电刺激（FES）可以改善功能、调节患者的肌痉挛程度。以上提及的这些研究都显示功能性电刺激对于脊髓损伤和卒中患者都有积极的作用。因此，FES 联合下肢踏车运动对于卒中患者痉挛的改善可能是一个有效的治疗方式。

我们研制了一种 FES 辅助下肢驱动踏车轮椅的装置，该装置可以通过电刺激辅助患侧肢体踏车。FES 辅助下肢驱动踏车轮椅虽然可以有效提高患者的行动能力，但是其对于卒中患者神经肌肉功能的影响目前还不清楚。本研究目的就是明确短期 FES 辅助下肢驱动踏车轮椅是否可以减少卒中患者肢体痉挛程度。同时我们也将探讨在踏车运动基础上，FES 是否有额外的降低痉挛的效果。

方 法

受试者

本研究纳入 17 位卒中患者（男 12 例，女 5 例），平均年龄 56.4 岁（45-72 岁，标准差 7.3）。 纳入标准包括：1）偏瘫；2）患者肢体有痉挛，MAS 大于等于 1+级；3）可以理解测试指令；排除标准包括：1）视觉障碍；2）心衰，心律失常，或心绞痛患者；3）骨关节或其他神经疾患而不能驱动轮椅者。所有患者都在发病 5.1 周后进入本研究（标注差 2.2）。8 位患者右侧偏瘫，9 位患者左侧偏瘫。8 位患者脑出血，其余为脑梗死。患者的基本信息见表 1。所有患者受试前均充分告知本研究的目的及如何实施，本研究获得长庚大学附属医院伦理委员会同意。

Table I. *Characteristics of participants (n = 17)*

Variables	
Gender, men/women, <i>n</i>	12/5
Age, years, mean (SD)	56.4 (7.3)
Time after stroke, weeks, mean (SD)	5.1 (2.2)
Side of stroke, right/left, <i>n</i>	8/9
Pathology, ischaemia/haemorrhage, <i>n</i>	9/8
MAS, 0/1/1+/2/3/4	0/0/3/5/6/3
Brunnstrom stage, I/II/III/IV/V/VI	0/5/8/3/1/0

表 1：基本患者资料（n=17）

轮椅：

功能性电刺激辅助下肢驱动轮椅（FES-LW）包括了轮椅部分（LW）和功能性电刺激控

制部分（FES）。这个踏板模式的驱动轮椅装有踝足矫形器（AFOs），这样就可以避免下肢的意外滑脱和限制患侧髋关节的外展活动（图 1）。AFOs 是带有铰链的，这样患者在驱动轮椅时可以有踝关节的背屈和跖屈动作。通过健侧下肢控制连接于轮子的小杆装置实现轮椅的转向，因此我们有两台轮椅用来满足不同偏瘫侧患者的需求。FES 控制部分通过安装在踏板驱动轴上的一个角度感受器（MES-30-360P; Microtech, Laboratory Inc, Kanagawa, Japan）实时感知患侧下肢的位置。 0° 的定义是曲柄平行于地面，这个也是关节的起始位置。在患侧下肢运动过程中，曲柄在 50° - 180° 、 200° - 290° 的范围时分别给予股四头肌、腓绳肌的电刺激。刺激参数：双向方波，20Hz，脉冲持续时间 300 μ S。患者交替用健侧和患侧下肢驱动轮椅。这种有电刺激辅助驱动的轮椅就称之为 FES-LW。

对照组采用手动轮椅，即 MW（KM-8520; Karma Medical Products Co., Ltd, Chia-Yi, Taiwan）。手动轮椅组患者用健侧的上肢和下肢驱动轮椅。每个轮椅的后轮胎为 $24 \times 13/8$ 英寸的实心橡胶轮胎，并且每个轮椅的重量相等。

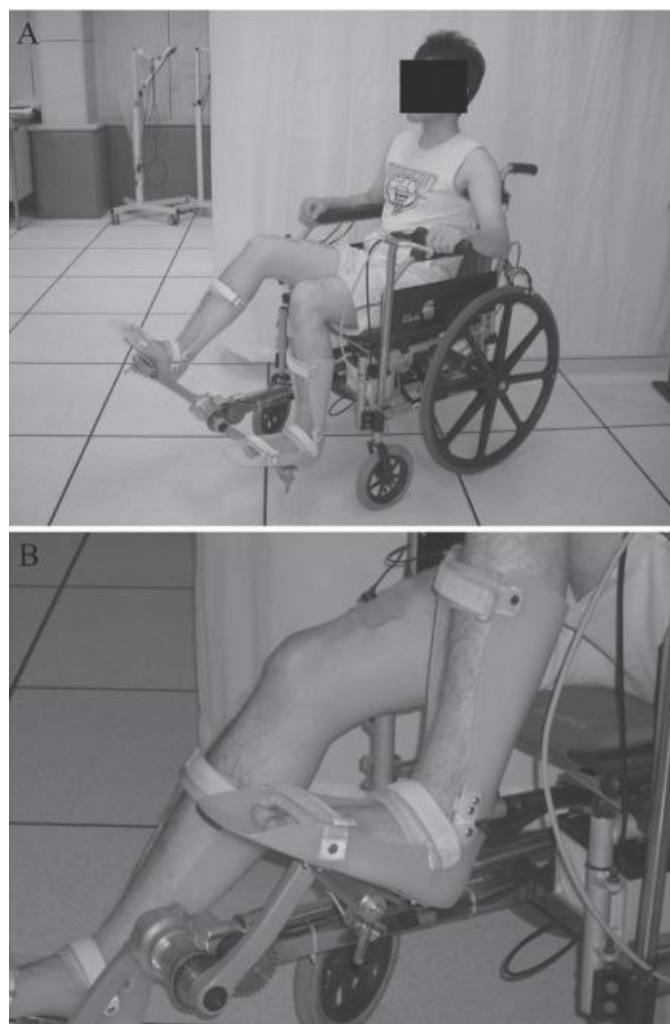


图 1：A，功能性电刺激辅助下肢驱动轮椅；B，铰链式的踝足矫形器

测试程序

实验开始前，有专门的物理治疗师对患者进行为期 2 周、隔日一次、每次 1 小时的轮椅的使用指导。FES-LW 的电刺激强度也是个性化的，针对每个患者进行调试以引起足够强度的肌肉收缩而又不产生疼痛。股四头肌的刺激强度是 40-58 毫安，腓绳肌刺激强度是 42-64 毫安。测试时，患者以一个舒适的速度驱动他们的轮椅在一个 100 米椭圆形轨迹上运动。一周运动完成以后，他们再反时针方向沿原运动轨迹运动一周。受试者在 10 天内共接受了 3 次测试，每次测试至少间隔一天。

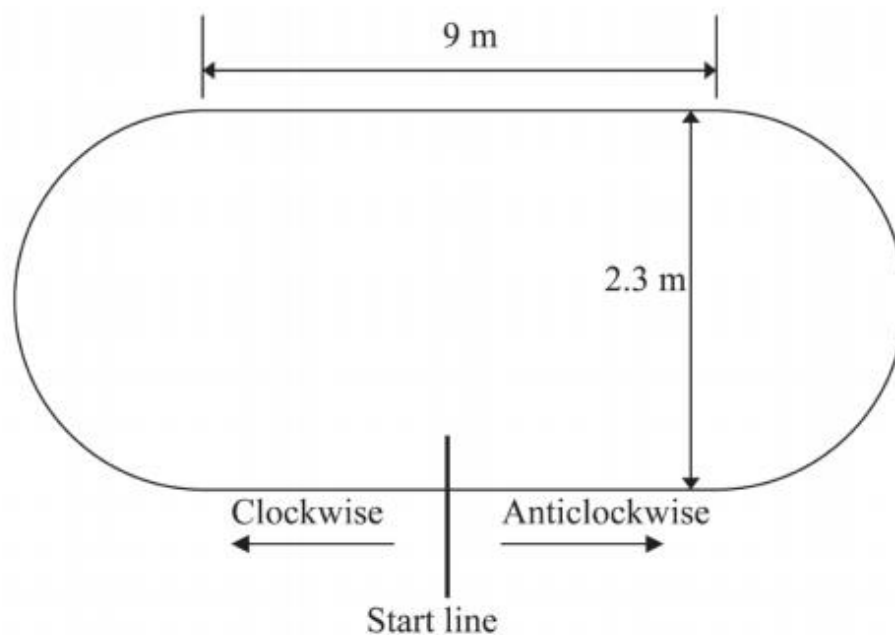


图 2：椭圆形的测试通道。受试者在起跑线处开始按照顺时针、逆时针方向驱动轮椅。

每次测试开始前和结束后即可测试患者的肌张力。所有测试都是随机的，包括 MAS 评估、H 反射（踝关节痉挛的定量测试）和钟摆实验（膝关节痉挛的评估）。

MAS 评估：采用 6 级 MAS 评估法，0 级代表没有痉挛，4 代表严重痉挛、肢体僵硬无法完成屈伸动作。只有一个有经验的治疗师完成了所有患者的 MAS 评估，该治疗师不知道患者的治疗情况。

H 反射评估：患者在伸膝、踝关节中立位的体位下进行比目鱼肌的 H 反射测试。用 1ms 的方波电刺激诱发 H 反射和 M 反应（Model S88; Grass Technologies, Astro-Med, Inc., West Warwick, RI, USA）。阴极贴在患侧下肢的髌骨，阳极贴在腘窝处胫伸行走位置。2 个直径 20mm 的银-氯电极分别贴在腓肠肌下方 2-3cm 处的比目鱼肌处和外踝上方。电极连接放大器（Model 7P511; Grass Technologies），放大器连接示波器以实时显示。刺激强度调整到诱

发出最大的峰-峰波幅的未校正 M 反应 (M_{max})。随后行小的 M 反应 ($10 \pm 3\% M_{max}$) 与 H 反射检查同时检测以保持神经刺激的一致性。我们进行了 3-5 次没有背景肌电信号的 H 反射测试。H 反射的最大的峰-峰波幅除以 M_{max} 得出的值记作 H/M 比值。

钟摆实验: 受试者坐位, 下肢悬空以获得膝关节最大自由程度的屈伸。然后膝关节被动伸直然后自由落下直至停止运动。膝关节角度用贴在膝关节的电子角度测量器测量 (S700 Joint Angle ShapeSensor; Measurand Inc., Fredericton, NB, Canada), 其测量值通过模拟数字转换器输出 (USB-6008; National Instruments, Austin, TX, USA)。共进行 2-4 次可信的坠落实验。开始的角度记作初始角度, 震荡运动终止时的角度记作静止角度。放松指数 (relaxation index, RI) 是 (初始屈曲角度 - 初始角度) 和 (静止角度 - 初始角度) 的比值

统计分析

通过治疗前后 MAS, H/M 比值和 RI 的比较, 分析不同方式轮椅驱动后对肌张力的影响。通过比较 FES-LW 和 LW 两组患者的 MAS 变化值 (MAS_c), H/M 变化值 (H/M_c) 和 RI 变化值 (RI_c) 的差异来分析 FES 对减少痉挛的作用。 MAS_c 通过治疗前 MAS 减去治疗后 MAS 获得。 H/M_c 和 RI_c 都是通过治疗前的值减去治疗后的值再除以治疗前的值获得。等级资料用 Wilcoxon 秩检验, 连续性的数据用配对 t 检验。统计软件用 SPSS 12 (SPSS, Chicago, IL, USA)。 $P < 0.05$ 表示有统计学意义。

结果

对痉挛的即刻效应

FES-LW 和 LW 两组患者的 MAS 在治疗后都明显下降 (FES-LW 组 $p=0.005$, LW 组 $p=0.008$) 而 MW 组没有变化 ($p=0.083$, 表 2)。H/M 比值在 FES-LW ($p<0.001$) 和 LW ($p<0.001$) 操作后都明显下降, 而 MW 组没有变化 ($p=0.148$)。RI 在 FES-LW ($p<0.001$) 和 LW ($p<0.001$) 操作后都明显增高, 而 MW 组没有变化 ($p=0.699$)。总的来说, FES-LW 和 LW 操作后 MAS, H/M 比值和 RI 的变化都提示肌张力的明显改善。

	FES-LW	LW	MW
MAS 0/1/1+/2/3/4, mean (SD)	0/0/3/5/6/3		
Pre-test			
Post-test	0/1/3/10/3/0	0/1/3/6/7/0	0/0/3/4/5/5
p-value	0.005*	0.008*	0.083
H/M ratio, mean (SD)			
Pre-test	0.67 (0.21)	0.66 (0.21)	0.65 (0.020)
Post-test	0.54 (0.19)	0.56 (0.18)	0.68 (0.19)
p-value	<0.001*	<0.001*	0.148
RI, mean (SD)			
Pre-test	1.06 (0.24)	1.02 (0.24)	1.07 (0.27)
Post-test	1.25 (0.22)	1.13 (0.22)	1.08 (0.27)
p-value	<0.001*	<0.001*	0.699

表 2: FES-LW, LW 和 MW 操作前后 MAS,H/M 比值和 RI 的变化, *表示 $p<0.05$

FES 在下肢踏板车中的作用

FES-LW 和 LW 两组间的 MASc 没有差异 ($p=0.102$, 表 3)。FES-LW 组的 H/Mc 低于 LW 组, Rlc 高于 LW 组, 但是未见统计差异 (H/Mc 比较的 $P=0.139$, Rlc 比较的 $p=0.055$)。然而我们对患者进行分层: A: 较低痉挛组 ($n=8$, MAS 为 1+或 2), B: 较高痉挛组 ($n=9$, MAS 为 3 或 4)。A 组患者中, FES-LW 和 LW 两组间的 MASc、H/Mc、Rlc 没有差异。B 组患者中, FES-LW 和 LW 组相比, MASc 降得更低 ($P=0.046$), H/Mc 也更低 ($p=0.030$) 而 Rlc 更高 ($p<0.001$)。这表明在较高肌张力的患者群中, FES-LW 组的肌张力改善优于 LW 组。

	FES-LW	LW	p-value
Lower muscle tone group ($n=8$)			
MASc	-11	-7	0.102
H/Mc, %, mean (SD)	-19.74 (9.49)	-14.19 (8.67)	0.139
Rlc, %, mean (SD)	18.70 (8.21)	9.24 (6.41)	0.055
Higher muscle tone group ($n=9$)			
MASc	-9	-5	0.046*
H/Mc, %, mean (SD)	-25.44 (9.63)	-10.00 (5.55)	0.030*
Rlc, %, mean (SD)	38.10 (17.98)	17.74 (14.94)	<0.001*
*Significant difference between the FES-LW and the LW, $p<0.05$.			

表 2: FES-LW 和 LW 操作前后 MASc,H/Mc, 和 Rlc 的变化, *表示 $p<0.05$ 。

讨 论

FES-LW (功能性电刺激辅助的下肢驱动轮椅) 旨在利用 FES (功能性电刺激) 增加卒中患者的移动能力。在我们以前的研究中, 我们比较了 FES-LW 和 MW (上肢驱动轮椅)

两种轮椅的临床疗效。结果显示 FES-LW 组的患者的行动速度、生理效率和机动性都由于 MW 组。本研究主要讨论轮椅不同的驱动模式对神经肌肉的影响。我们使用 MAS, H/M 比值和 RI 评价对痉挛对直接影响。治疗前后的数据比较发现: FES-LW 和 LW 组患者的 MAS, H/M 比值和 RI 都明显变化, 但在 MW 组未见明显变化。结果表明短期的 FES-LW 和 LW 明显降低了卒中患者的肌肉痉挛。此外, 对于具有较高的肌肉张力受试者, FES-LW 组和 LW 组相比, H/Mc 值明显降低, Ric 值明显增高, 因此 FES 有减少痉挛附加效果。

我们的研究发现, MW 组训练前后的 MAS, H/M 比值和 RI 没有变化, 相反该组患者有 3 例患者肌张力增高。从观察中我们发现, 该组患者倾向于用健侧的手和健侧的下肢驱动轮椅。这种不对称的推进模式迫使患者躯干偏向患侧, 导致不平衡的态势。此外, 该组患者用力前后摆动他们的躯干以获得最大化轮椅推进, 从而产生在动态不稳定姿势。不平衡和不稳定的躯干姿势是增加即刻异常肌张力的重要原因。相比较而言, FES-LW 和 LW 组患者没有发现明显的痉挛。对称的双侧下肢驱动轮椅, 使得患者可以维持平衡躯干姿势, 同时还可以防止引起肌张力异常的增高。

MAS, H/M 值的降低和 RI 值的增高, 提示在 FES-LW 和 LW 组短期的驱动后患者下肢痉挛即刻降低。当患者用双下肢驱动轮椅时, 膝关节进行往复性的屈伸运动。有学者研究发现, 膝关节被动往复性的屈伸运动的模式可以通过反射性和机械性的机制降低卒中患者肌痉挛。通过 AFO 的铰链, 患者的踝关节也进行背屈/跖屈往复运动。有学者也发现这种踝关节的运动模式可以降低肌张力和踝关节背屈的弹性和粘性。先前的研究报道发现, 正常人的比目鱼肌的 H 反射在下肢踏车运动后即可下降。类似的结果在多发性硬化症患者中也有发现。Rosche 等学者发现, 下肢被动的踏车运动可以降低多发性硬化症患者的下肢肌张力并且降低 F 波的波幅。这些研究证明下肢的踏车节律运动可以改变肌肉和软组织的张力和患侧肢体神经的兴奋性。踏车运动是抗痉挛的有利因素。

目前很少有关于卒中后患者用功能性电刺激驱动联合下肢踏车运动改善肌张力的研究。Janssen 等学者在慢性卒中患者中开展了一项用下肢踏车运动联合电刺激的研究。他们发现踏车运动可以即可改善患者的肌张力, 而电刺激在此基础上没有额外的作用。在本研究中, 我们发现 FES-LW 和 LW 组患者有即刻的肌张力改善, 而这种改善在 FES-LW 和 LW 组之间没有差异。但是当把患者分成高、低肌张力组分别进行分析时, 在高肌张力的患者群众, FES-LW 组比 LW 组有更加明显的 MASc、H/Mc 值降低和 Ric 值的增高。这意味着在 FES 用于高肌张力组患者的股四头肌和腓绳肌时, 患侧肢体通过踏车运动可以明显降低膝关节和踝关节周围的肌张力。可能的机制是, 电刺激不但可以导致脊髓的全面脱敏, 减少痉挛肌肉

的痉挛程度，而且可以通过更高的中枢作用，促进神经肌肉活动的重组。

FES 为了诱发足够强度的肌肉收缩，需要有足够的电流强度，这可能会引起患者的不适或者疼痛，这是 **FES** 应用的一个局限性。这个情况在保留部分感觉的患者如不完全性脊髓损伤和卒中患者中可能出现。在我们的研究中，我们用较低的电流强度以减少患者疼痛。电流强度调整到恰好引起足够的肌肉收缩而又不引起患者的疼痛。由于可兴奋的神经有限，所以限制了 **FES** 的作用。这或许也解释了 **FES** 在痉挛程度高的患者中降低痉挛的作用明显。

综上所述，**FES-LW** 可以增加卒中患者行动能力，给患者提供了自己驱动轮椅的机会。据我们所知，这是第一个联合应用 **FES** 和下肢踏车运动驱动轮椅降低卒中患者肌痉挛的研究。短期的 **FES** 辅助下肢踏车运动驱动轮椅和单纯下肢踏车运动驱动轮椅可用来降低卒中患者的下肢肌张力。同时，在下肢踏车运动驱动的基础上联合 **FES**，在高肌张力组患者中有额外的降低肌痉挛作用。

致谢

本研究获得台湾科学研究基金资助（NSC 94-2614-B-006-002）。