

· 临床研究 ·

体外冲击波联合本体感觉神经肌肉促进技术对卒中后足下垂患者下肢运动功能的影响

林少平 瞿代虎 黄玲 李奕凝 兰月

广州市第一人民医院康复医学科, 广州 510180

通信作者: 兰月, Email: bluemooning@163.com

【摘要】 目的 观察体外冲击波联合本体感觉神经肌肉促进(PNF)技术对卒中后足下垂患者下肢运动功能的影响。**方法** 将入选的 36 例脑卒中足下垂患者按随机数字表法分为冲击波组、PNF 组和联合治疗组三组, 每组 12 例。冲击波组只接受体外冲击波治疗, PNF 组只接受 PNF 技术治疗, 联合组同时接受体外冲击波和 PNF 技术治疗, 体外冲击波冲击压力强度 2.5 bar, 频率 10 Hz, 每块肌肉冲击 2000 次, 每周 2 次, 共治疗 4 周; PNF 技术治疗每周不少于 3 次, 每次 30 min, 共治疗 4 周。分别于治疗前和治疗 4 周后(治疗后), 采用改良 Ashworth 分级(MAS)、踝关节主动活动度、足偏角、10 m 步行时间(10 MWT)和下肢 Fugl-Meyer 运动功能量表(FMA)对 3 组患者的肌张力及下肢运动功能等指标进行治疗效果评定。**结果** ①治疗后, PNF 组和冲击波组分别出现 8 例和 9 例的小腿肌张力下降, 联合治疗组 12 例患者张力均出现下降; PNF 组、冲击波组和联合治疗组治疗后的肌张力评分分别为(1.25±0.62)、(1.17±0.58)和(0.33±0.49)分, 均较组内治疗前[PNF 组(1.92±0.67)分、冲击波组(1.83±0.83)分和联合治疗组(1.75±0.62)分]明显改善($P<0.05$), 且联合治疗组较另 2 组改善更为明显($P<0.05$)。②PNF 组和冲击波组治疗前后的踝关节主动活动度差异均无统计学意义($P>0.05$), 而联合治疗组治疗前后对比, 差异有统计学意义($P<0.05$)。③治疗后, 3 组患者的 10 m 步行时间及下肢 FMA 评分均有不同程度的改善, 与组内治疗前比较, PNF 组差异有统计学意义($P<0.05$), 冲击波组差异无统计学意义($P>0.05$), 联合治疗组差异有统计学意义($P<0.01$)。④3 组患者治疗后的足偏角[PNF 组(32.4±5.7)°、冲击波组(29.9±4.6)°、联合治疗组(20.9±5.9)°]较组内治疗前[PNF 组(40.3±6.4)°、冲击波组(39.0±5.6)°、联合治疗组(38.7±7.4)°]均有明显改善($P<0.01$), 且联合治疗组的改善程度明显优于 PNF 组和冲击波组($P<0.01$)。**结论** 体外冲击波联合 PNF 技术可有效改善脑卒中后足下垂患者的下肢运动功能。

【关键词】 体外冲击波; 本体感觉神经肌肉促进技术; 足下垂; 下肢运动功能

基金项目:国家重点研发计划专项项目(2017YFB1303200); 广州市卫生健康科技项目(20221A010004)

DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2023.03.005

Combining extracorporeal shock wave treatment with proprioceptive neuromuscular facilitation can improve the lower limb motor function of stroke survivors with foot drop

Lin Shaoping, Qu Daihu, Huang Ling, Li Yining, Lan Yue

Department of Rehabilitation Medicine, Guangzhou First People's Hospital, Guangzhou 510180, China

Corresponding author: Lan Yue, Email: bluemooing@163.com

【Abstract】 Objective To observe any effect of combining extracorporeal shock wave stimulation with proprioceptive neuromuscular facilitation (PNF) on the lower limb motor function of stroke survivors with foot drop. **Methods** Thirty-six stroke survivors with foot drop were randomly divided into an extracorporeal shock wave group, a PNF group and a combination group, each of 12. The extracorporeal shock wave group and PNF group were given those therapies alone, while the combination group was provided with both. The extracorporeal shock wave therapy protocol was 2000 times on each muscle at an intensity of 2.5 bar and a frequency of 10Hz, twice a week for 4 weeks, while the PNF was provided at least 3 times per week for 4 weeks. Before and after the intervention, all of the participants were evaluated using the modified Ashworth scale (MAS), the 10-metre walk test (10 MWT) and the Fugl-Meyer lower limb motor function scale (FMA). Active range of the ankle joint and toe out angle were also observed. **Results** After the intervention the lower limb muscle tone had decreased significantly in 8 of the PNF group members and in 9 of those in the extracorporeal shock wave group, but it has decreased signifi-

cantly in all 12 members of the combination group. And the average magnitude of the improvement was also significantly greater in the combination group than in the other two groups. Moreover, significant differences were observed in the active range of the ankle joint after the treatment in the combination group, but not in the other two groups. After the intervention the average 10 MWT times and FMA scores of the PNF and combination groups had improved significantly, but not those of the extracorporeal shock wave group, but significant improvement in toe out angles was observed in all three groups, though the average improvement in the combination group was significantly greater than in the other 2 groups. **Conclusion** Combining extracorporeal shock waves with PNF can effectively improve the lower limb motor function of stroke survivors with foot drop.

[Key words] Extracorporeal shock wave therapy; Proprioceptive neuromuscular facilitation; Foot drop; Lower limb motor function

Funding: The National Key Research and Development Program (2017YFB1303200); a Guangzhou Health Science and Technology Project (20221A010004)

DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2023.03.005

脑卒中患者偏瘫侧肢体在恢复过程中约 20% 存在足下垂^[1],其主要原因来自下肢的痉挛和胫前肌的无力^[2];临床表现为步态异常、步速减慢和跌倒风险升高。因此,有效控制下肢痉挛兼顾胫前肌的激活显得尤其重要。临床上处理卒中后足下垂的疗法涵盖了药物、物理因子、手法治疗、支具佩戴等,但效果并不确切。体外冲击波最早用于体外碎石,康复临床常用于各类肌腱病的治疗^[3];近年来有研究^[4]表明,体外冲击波治疗中枢性疾病导致的肌痉挛效果显著,可用于改善患者下肢步行功能和日常生活自理能力。本体感觉神经肌肉促进 (proprioceptive neuromuscular facilitation, PNF) 技术运用人体力学的螺旋加对角模式^[5],加上调动主动肌与拮抗肌协调运动的特殊技术,在本体感觉和肌肉控制的训练方面有着独特的效果,可用于增强靶肌的肌力,提高神经肌肉控制效率效果确切^[6]。

目前针对卒中后足下垂的研究大多单一关注于激活胫前肌或降低下肢痉挛的程度^[7],很少有关于 PNF 技术增强下肢肌肉功能联合体外冲击波缓解痉挛对下肢运动功能影响的研究报道。本研究即采用体外冲击波联合 PNF 技术治疗脑卒中后足下垂患者,预测可以有效改善患者的足下垂,并提高下肢的运动功能,现报道如下。

对象和方法

一、研究对象及分组

入选标准:①符合全国第 4 次脑血管病学术会议制订的脑卒中诊断标准^[8],并经头颅 CT 或 MRI 检查证实;②初发脑卒中患者,病程 < 3 个月,年龄 20 ~ 75 岁;③患侧踝关节肌痉挛程度,根据改良 Ashworth 分级 (modified Ashworth scale, MAS)^[9] 为 1 ~ 3 级;④患侧胫骨前肌肌力 > 1 级;⑤患者可独自或辅助下步行超过 10 m;⑥步行时伴有足下垂;⑦病情稳定,无明显认知障碍;⑧患者或家属自愿签署知情同意书。

排除标准:①患侧下肢接受过肉毒素注射;②口服抗痉挛药物治疗;③冲击部位有皮肤破损;④合并结核、肿瘤或出血倾向疾病患者;⑤胫骨前肌、小腿三头肌有挛缩,影响踝关节活动者;⑥病情不稳定,不配合完成治疗者。

选择 2020 年 6 月至 2021 年 6 月广州市第一人民医院康复医学科收治且符合上述标准的脑卒中患者 36 例。按随机数字表法分为冲击波组、PNF 组和联合治疗组,每组 12 例。3 组患者的性别、平均年龄、平均病程及偏瘫侧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。本研究获广州市第一人民医院伦理委员会审批 (批件号 K-2021-116-01)。整个研究过程中,采用双盲法进行功能评定和治疗,仅研究负责人及参与的康复治疗师了解分组情况。

二、治疗方法

3 组患者均进行常规康复治疗,包括肌力训练、

表 1 3 组患者的一般资料

组别	例数	例数 (例)		平均年龄 (岁, $\bar{x} \pm s$)	平均病程 (d, $\bar{x} \pm s$)	偏瘫侧 (例)	
		男	女			左	右
冲击波组	12	4	8	60.08 ± 9.16	47.74 ± 13.46	6	6
PNF 组	12	7	5	58.42 ± 10.87	41 ± 13.61	7	5
联合治疗组	12	7	5	55.25 ± 9.71	40.75 ± 12.0	7	5

平衡训练、低频电刺激物理因子等治疗,每次治疗 40 min。在上述常规康复治疗的基础上,冲击波组加用体外冲击波治疗,PNF 组加用 PNF 技术治疗,联合治疗组加用体外冲击波联合 PNF 技术治疗。具体操作方法如下。

1.体外冲击波治疗^[10]:患者俯卧位,其小腿三头肌和胫骨后肌肌腹体表投影处涂耦合剂,采用瑞士 EMS 体外冲击波治疗仪(SwissClast 型)进行体外冲击波治疗,选用治疗探头直径 15 mm,冲击压力强度 2.5 bar,冲击的频率 10 Hz,每块肌肉冲击 2000 次,每周 2 次,连续 4 周。

2.PNF 技术治疗^[5]:分别给予患侧下肢屈曲-内收-外旋和屈曲-外展-内旋模式,各 3 组,每组 10 次,组间休息 30 s;髌屈膝体位下踝关节背伸的收缩-放松技术、收缩-保持和动态反转技术,各 3 组,每组 10 次,组间休息 30 s。每周不少于 3 次,每次 30 min,连续 4 周。

三、评定方法

分别于治疗前和治疗 4 周后(治疗后),对 3 组患者的肌张力、踝关节主动活动度、足偏角进行测评,并采用 10 m 步行时间(10-meter walk test,10 MWT)^[11]及简化 Fugl-Meyer 运动功能评定(Fugl-Meyer motor assessment,FMA)量表的下肢部分^[12]对 3 组患者的下肢运动功能进行评定。

1.肌张力 MAS 评定:患者仰卧位,下肢放松,治疗师采用被动活动患者踝关节,感受其踝关节肌张力;将肌张力分为 6 级,即 0、1、1⁺、2、3 和 4 级^[13]。由于入组患者肌张力 MAS 分级均在 3 级或以下,本研究给予重新赋值分别为 0、1、2、3、4 分。

2.踝关节主动活动度:①背伸——患者坐于床沿,屈膝 90°,下肢放松,量角器轴心紧靠足底,固定臂平行于腓骨,移动臂平行于第五跖骨,嘱患者完成背伸动作,测出移动角度;②外翻——患者坐于床沿,屈膝 90°,下肢放松,量角器轴心紧靠足底内侧面,固定臂平行于胫骨,移动臂置于足底,与第一跖骨相垂直,嘱患者完成外翻动作,测出移动角度^[14]。

3.足偏角:足部的矢量从踝关节中心到第二跖骨偏离前进方向的角度^[15]。患者患侧足底湿水,沿着设定的直线自然步行,取开始步行后的第 3~5 步的足印做足后跟到第二跖骨的连线 B,再画出患侧脚前进方向的直线 A,得出 AB 形成的夹角,算出 3 步的平均角度,即为足偏角(如图 1 所示)^[16]。

4.10 m 步行时间:患者在无帮助或少量辅助器具帮助下独立步行 14 m 距离,治疗师在患者步行 2 m 时和 12 m 时分别按下计时器,获取中间 10 m 的步行时间^[11],收集 3 次数据,取平均值。

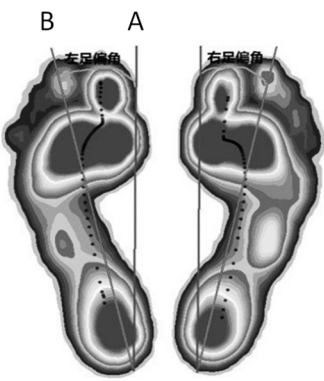


图 1 足偏角示意图

5.下肢 FMA 评分:简化的 FMA 量表下肢部分包括 17 个小项,每个小项 0~2 分,最高 34 分,得分越高,下肢的运动功能越好^[12]。

四、统计学方法

使用 Excel 2010 版和 SPSS 20.0 版统计软件对所得数据进行统计学分析处理。各组患者的年龄、病程、肌张力、足偏角、10 m 步行时间的组内治疗前后数据采用配对 *t* 检验;3 组数据的组间比较采用单因素方差分析,当差异有统计学意义时,两两之间比较采用 Bonferroni 法校正。*P*<0.05 认为差异有统计学意义。

结 果

一、3 组患者治疗前后的肌张力比较

治疗后,PNF 组和冲击波组分别出现 8 例和 9 例的小腿肌张力下降,联合治疗组 12 例患者肌张力均出现下降,3 组治疗后的肌张力评分均较组内治疗前明显改善(*P*<0.05),且联合治疗组较另 2 组改善更为明显(*P*<0.05)。具体数据详见表 2。

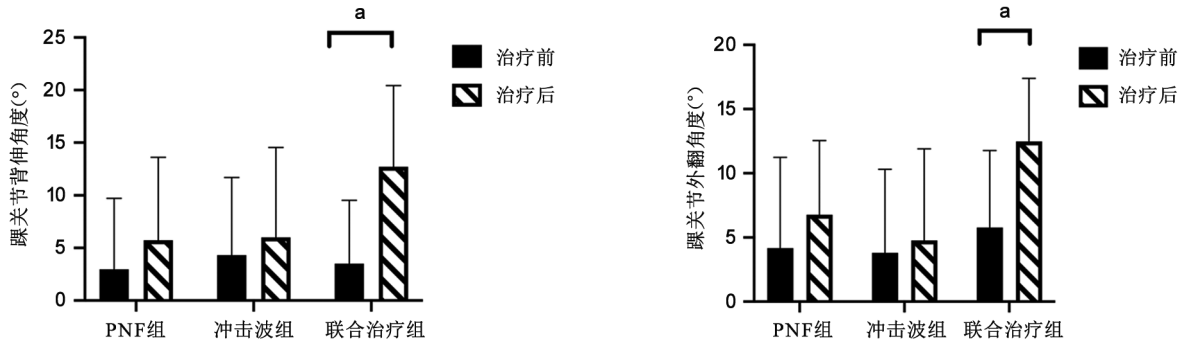
表 2 3 组患者治疗前后的肌张力评分比较(分, $\bar{x} \pm s$)

组别	例数	治疗前	治疗后
联合治疗组	12	1.75±0.62	0.33±0.49 ^a
PNF 组	12	1.92±0.67	1.25±0.62 ^{bc}
冲击波组	12	1.83±0.83	1.17±0.58 ^{bc}

注:与组内治疗前比较,^a*P*<0.01,^b*P*<0.05;与联合治疗组治疗后比较,^c*P*<0.05

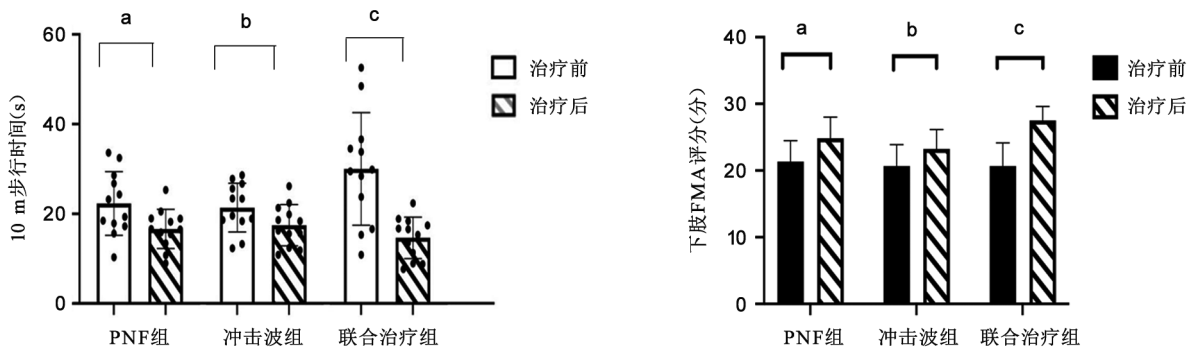
二、3 组患者治疗前后的踝关节活动度比较

治疗前,3 组患者踝关节的关节活动度组间差异均无统计学意义(*P*>0.05)。PNF 组和冲击波组治疗前后组内比较,差异亦无统计学意义(*P*>0.05);联合治疗组治疗前后组内对比,差异有统计学意义(*P*<0.05)。治疗后,PNF 组踝关节背伸角度及其外翻角度的改善均优于冲击波组,但 2 组间差异并无统计学意



注:联合治疗组治疗前后比较,^a $P < 0.05$

图2 3组患者治疗前后的踝关节背伸和外翻角度变化



注:各组内治疗前后比较,^a $P < 0.05$,^b $P > 0.05$,^c $P < 0.01$

图3 3组患者治疗前后的10 m步行时间及下肢FMA评分变化

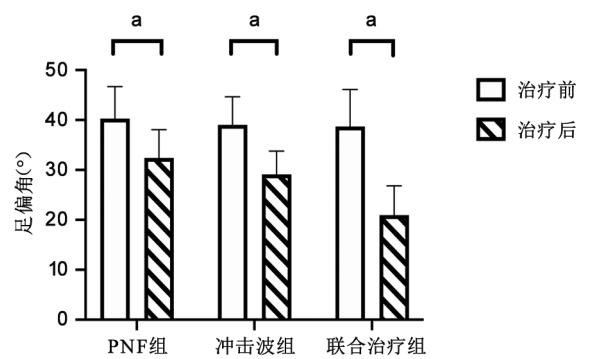
义($P > 0.05$);而联合治疗组治疗后踝关节背伸角度及其外翻角度的改善程度明显优于PNF组和冲击波组($P < 0.05$)。详见图2。

三、3组患者治疗前后的10 m步行时间及下肢FMA评分比较

治疗前,3组患者的10 m步行时间及下肢FMA评分组间比较,差异均无统计学意义($P > 0.05$)。治疗后,3组患者的10 m步行时间及下肢FMA评分均有不同程度的改善,分别与组内治疗前比较,PNF组差异有统计学意义($P < 0.05$),冲击波组差异无统计学意义($P > 0.05$),联合治疗组差异有统计学意义($P < 0.01$)。详见图3。

四、3组患者治疗前后的足偏角比较

治疗前,3组患者的步行足偏角组间比较,差异无统计学意义($P > 0.05$)。治疗后,PNF组、冲击波组和联合治疗组的足偏角 $[(32.4 \pm 5.7)^\circ$ 、 $(29.9 \pm 4.6)^\circ$ 和 $(20.9 \pm 5.9)^\circ]$ 均较组内治疗前 $[(40.3 \pm 6.4)^\circ$ 、 $(39.0 \pm 5.6)^\circ$ 和 $(38.7 \pm 7.4)^\circ]$ 有明显改善($P < 0.01$),且联合治疗组的改善程度明显优于PNF组和冲击波组($P < 0.01$),足偏角更加接近正常。详见图4。



注:各组内治疗前后比较,^a $P < 0.01$

图4 3组患者治疗前后的足偏角变化

讨 论

本研究结果显示,联合治疗组踝关节的肌张力下降最为明显,这种肌张力的变化加上关节本体感觉的促进,直接表现在平衡功能的改善上,特别是10 m步行时间,联合治疗组表现出更加大的进步空间。由于平衡和步行速度的提升,患者患侧下肢的足偏角明显变小,改善了划圈步态,提高了运动能力。本研究,PNF组和冲击波组在10 m步行时间和下肢FMA评分

组内对比未表现出显著差异,但都有改善的趋势,主要可能是样本量不足的原因。Khan 等^[17]研究发现,健康人群随着步行速度的加快,下肢的足偏角也会随着变小。下肢运动机能的退化和平衡功能的下降,足偏角及足间夹角均会上升,步态趋于外八字^[18]。而脑卒中患者下肢常伴有外旋,下肢的外旋与足跟的内翻、胫骨外旋同属于一个闭合动力链^[19],脑卒中患者在步行过程中往往步速下降、足偏角增大。

脑卒中患者出现足下垂是影响步态的重要因素,它能影响摆动期的廓清能力,导致身体失衡^[20],严重影响患者的步行速度;其起因较为复杂,胫骨前肌、腓骨长短肌激活不足和废用性萎缩^[21]、小腿三头肌过度紧张、胫骨后肌痉挛^[15]等都是导致足下垂的原因。Cheng 等^[2]利用表面肌电图发现,70%的脑卒中患者胫骨前肌没有或仅有低幅度活动,50%的患者表现出比目鱼肌过早或过度激活。为减少下肢共同运动影响踝关节的活动度测量,本研究采用屈膝体位下测量踝关节的活动度变化。

PNF 技术下肢模式运用螺旋加对角运动模式配合特殊技术,能有效增强胫前肌、腓骨长短肌肉的肌力。针对胫前肌无力的研究,功能性电刺激(functional electrical stimulation, FES)是研究最多的干预手段^[22],也有研究直接采用踝足矫形器(ankle foot orthosis, AFO)固定踝关节在中立位,帮助下肢完成摆动^[23]。本研究采用的 PNF 技术有利于激发整个下肢肌肉的协调收缩,特别是胫骨前肌和腓骨长短肌。Nelson 等^[24]研究显示,PNF 技术在增强肌力方面的有效性类似于抗阻训练,由于训练过程促进了下肢各肌群的协同收缩,特别是胫前肌的参与,PNF 组的垂直跳跃高度和投掷距离比抗阻训练组增加了两倍多。FES 和 AFO 是一种替代治疗,而 PNF 技术旨在直接激活踝关节背伸的功能,更能增加治疗效果的持久性。同时步行属于全身运动,并不是单一肌肉的收缩完成。PNF 相比常规的局部肌力训练利用了螺旋对角的运动模式,调动更多的肌群参与协调运动,对步态的恢复更加整体全面。Caplan 等^[25]对 18 例职业橄榄球运动员进行为期 5 周 PNF 技术干预后,下肢运动功能(如步速和步长)都有显著增加,这与本研究结果一致。

单一对胫前肌的肌力诱发与增强对解决临床脑卒中后足下垂效果并不稳定,完成一个正常的关节活动需要足够的肌力、关节活动度,还需要本体感觉参与的关节控制。Geurts 等^[26]研究发现,脑卒中患者出现下肢本体感觉的缺失影响步态的平衡和姿势的控制;而穿戴 AFO 可限制踝关节的活动,影响本体觉的输入,从而降低患者的行走体验^[23,27]。PNF 技术操作中通过大量闭链练习,能有效强化脑卒中患者下肢髌-膝-

踝关节的本体感觉,改善下肢的运动功能。国内孙孟凡等^[28]在对踝关节进行 PNF 技术干预的随机对照研究发现,干预组的踝关节位置觉有明显改善。周越等^[29]研究发现,对受试者进行 PNF 治疗,可有效提高受试者的平衡能力,缩短 10 m 步行时间和起立-行走测试时间,这也与本研究结果一致。

本研究采用瑞士 EMS 体外冲击波治疗仪(Swiss-Clast 型)对痉挛的小腿三头肌和胫骨后肌进行冲击波治疗,结果显示,9 例出现肌张力下降,而联合治疗组则全部出现肌张力下降。痉挛最常见的是反射过度 and 过度紧张,从而导致肌肉伸展的速度依赖性阻力^[30];降低痉挛更有利于 PNF 技术的有效实施。而体外冲击波通过高频的机械应力作用于人体,改善身体组织的微循环和分离高密度组织,从而降低肌张力^[31];而且冲击波可以刺激一氧化氮的合成,促进正常的神经系统传导功能^[32]。Dymarek 等^[33]对脑卒中后上肢痉挛患者进行体外冲击波治疗,发现痉挛程度明显下降,并有效改善肌肉的营养情况。国内宋小慧等^[4]对 20 例脑梗死患者胫骨后肌和小腿三头肌进行体外冲击波治疗亦发现,患者下肢的痉挛程度明显下降。

本研究的不足之处:①由于疫情影响,入组病例数还不够多,导致对照组在部分评估项目表现出数据绝对值的改善,差异却无统计学意义;②没有横向对比临床常见的理疗与体外冲击波的抗痉挛疗效。未来将继续体外冲击波对比其它疗法的即时和持续抗痉挛疗效随机对照研究。

参 考 文 献

- [1] Johnson CA, Burridge JH, Strike PW, et al. The effect of combined use of botulinum toxin type A and functional electric stimulation in the treatment of spastic drop foot after stroke: a preliminary investigation [J]. Arch Phys Med Rehabil, 2004, 85(6): 902-909. DOI: 10.1016/j.apmr.2003.08.081.
- [2] Cheng PT, Chen CL, Wang CM, et al. Leg muscle activation patterns of sit-to-stand movement in stroke patients [J]. Am J Phys Med Rehabil, 2004, 83(1): 10-16. DOI: 10.1097/01.PHM.0000104665.34557.56.
- [3] Moon SW, Kim JH, Jung MJ, et al. The Effect of extracorporeal shock wave therapy on lower limb spasticity in subacute stroke patients [J]. Ann Rehabil Med, 2013, 37(4): 461-470. DOI: 10.5535/arm.2013.37.4.461.
- [4] 宋小慧, 纵亚, 崔立军, 等. 分散式体外冲击波疗法对脑梗死患者下肢痉挛和步行的影响 [J]. 解剖学研究, 2020, 42(3): 253-257.
- [5] Adler SS, Beckers D, Buck M. PNF in practice [M]. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2008: 11.
- [6] Sandel ME. Dr. Herman Kabat: neuroscience in translation... from bench to bedside [J]. PM R, 2013, 5(6): 453-461. DOI: 10.1016/j.pmrj.2013.04.020.
- [7] 欧海宁, 沈建虹, 陈红霞, 等. 超声引导和徒手肌肉定位法用于 A 型肉毒毒素治疗脑卒中患者痉挛性足下垂内翻的临床效果 [J].

- 中国康复医学杂志, 2011, 26(8): 728-733. DOI: 10.3969/j.issn.1001-1242.2011.08.008.
- [8] 中华神经科学会, 中华神经外科学会. 各类脑血管疾病诊断要点 [J]. 中华神经科杂志, 1996, 29(6): 379-380.
- [9] 李亚梅, 张晶, 黄林, 等. 体外冲击波对脑卒中患者小腿三头肌痉挛的影响 [J]. 中华物理医学与康复杂志, 2018, 40(4): 272-277. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2018.04.007.
- [10] Santamato A, Notarnicola A, Panza F, et al. SBOTE study: extracorporeal shock wave therapy versus electrical stimulation after botulinum toxin type a injection for post-stroke spasticity: a prospective randomized trial [J]. *Ultrasound Med Biol*, 2013, 39(2): 283-291. DOI: 10.1016/j.ultrasmedbio.2012.09.019.
- [11] Duncan RP, Combs-Miller SA, McNeely ME, et al. Are the average gait speeds during the 10meter and 6minute walk tests redundant in Parkinson disease [J]. *Gait Posture*, 2017, 52(1): 178-182. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2016.11.033.
- [12] 游国清, 燕铁斌, Christina WY, 等. 功能性电刺激改善脑卒中早期患者偏瘫下肢功能的随机对照研究 [J]. 中国康复医学杂志, 2007, 22(10): 867-870. DOI: 10.3969/j.issn.1001-1242.2007.10.010.
- [13] Yoon SH, Shin MK, Choi EJ, et al. Effective site for the application of extracorporeal shock-wave therapy on spasticity in chronic stroke: muscle belly or myotendinous junction [J]. *Ann Rehabil Med*, 2017, 41(4): 547-555. DOI: 10.5535/arm.2017.41.4.547.
- [14] 王玉龙. 康复功能评定学 [M]. 北京: 人民卫生出版社, 2013: 220-222.
- [15] Shull PB, Silder A, Shultz R, et al. Six-week gait retraining program reduces knee adduction moment, reduces pain, and improves function for individuals with medial compartment knee osteoarthritis [J]. *J Orthop Res*, 2013, 31(7): 1020-1025. DOI: 10.1002/jor.22340.
- [16] 赵滢, 陆阿明. 不同步行和跑步速度对后足角度和足偏角的影响 [J]. 体育科研, 2017, 38(6): 93-100.
- [17] Khan SS, Khan SJ, Usman J. Effects of toe-out and toe-in gait with varying walking speeds on knee joint mechanics and lower limb energetics [J]. *Gait Posture*, 2017, 53(2): 185-192. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2017.01.022.
- [18] 顾琳燕, 邱华平, 张晟宇, 等. 正常人群步行足偏角与年龄特征分析 [J]. 生物医学工程学杂志, 2018, 35(1): 45-48. DOI: 10.7507/1001-5515.201606082.
- [19] Sell KE, Verity TM, Worrell TW, et al. Two measurement techniques for assessing subtalar joint position: a reliability study [J]. *J Orthop Sports Phys Ther*, 1994, 19(3): 162-167. DOI: 10.2519/jospt.1994.19.3.162.
- [20] Karunakaran KK, Pilkar R, Ehrenberg N, et al. Kinematic and functional gait changes after the utilization of a foot drop stimulator in pediatrics [J]. *Front Neurosci*, 2019, 13(3): 732. DOI: 10.3389/fnins.2019.00732.
- [21] 刘刚, 吕长生, 袁立霞. 脑卒中足下垂及足内翻的足底生物力学特征研究 [J]. 中华中医药学刊, 2010, 29(7): 1444-1446.
- [22] Rushton DN. Functional electrical stimulation and rehabilitation: an hypothesis [J]. *Med Eng Phys*, 2003, 25(1): 75-78. DOI: 10.1016/S1350-4533(02)00040-1.
- [23] 王宏图, 黄东锋, 丁建新, 等. 早期使用踝足矫形器对脑卒中偏瘫患者步行周期及时相的影响 [J]. 中国康复医学杂志, 2006, 21(7): 582-584. DOI: 10.3969/j.issn.1001-1242.2006.07.008.
- [24] Nelson AG, Kokkonen J, Arnall DA. Acute muscle stretching inhibits muscle strength endurance performance [J]. *J Strength Cond Res*, 2005, 19(2): 338-343. DOI: 10.1519/R-15894.1.
- [25] Caplan N, Rogers R, Parr MK, et al. The effect of proprioceptive neuromuscular facilitation and static stretch training on running mechanics [J]. *J Strength Cond Res*, 2009, 23(4): 1175-1180. DOI: 10.1519/JSC.0b013e318199d6f6.
- [26] Geurts ACH, de Haart M, van Nes IJW, et al. A review of standing balance recovery from stroke [J]. *Gait Posture*, 2005, 22(3): 267-281. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2004.10.002.
- [27] 董晓琼, 吴月峰, 范虹, 等. 步行支持带联合常规康复治疗脑卒中患者步态的疗效观察 [J]. 中华物理医学与康复杂志, 2020, 42(6): 528-532. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2020.06.010.
- [28] 孙孟凡, 扈盛. 本体感觉神经促进技术联合核心稳定性训练对功能性踝关节不稳患者下肢功能康复的影响 [J]. 中华物理医学与康复杂志, 2017, 39(11): 834-838. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2017.11.009.
- [29] 周越, 朱悦彤, 王紫敏, 等. 神经肌肉关节促进法踝关节模式对健康青年男性平衡功能的影响 [J]. 中国康复理论与实践, 2021, 27(1): 107-110. DOI: 10.3969/j.issn.1006-9771.2021.01.016.
- [30] Falisse A, Bar-On L, Desloovere K, et al. A spasticity model based on feedback from muscle force explains muscle activity during passive stretches and gait in children with cerebral palsy [J]. *PLoS One*, 2018, 13(12): e0208811. DOI: 10.1371/journal.pone.0208811.
- [31] Othman AM, Ragab EM. Endoscopic plantar fasciotomy versus extracorporeal shock wave therapy for treatment of chronic plantar fasciitis [J]. *Arch Orthop Trauma Surg*, 2010, 130(11): 1343-1347. DOI: 10.1007/s00402-009-1034-2.
- [32] Mariotto S, Cavalieri E, Amelio E, et al. Extracorporeal shock waves: from lithotripsy to anti-inflammatory action by NO production [J]. *Nitric Oxide*, 2005, 12(2): 89-96. DOI: 10.1016/j.niox.2004.12.005.
- [33] Dymarek R, Taradaj J, Rosińczuk J. Extracorporeal shock wave stimulation as alternative treatment modality for wrist and fingers spasticity in poststroke patients: a prospective, open-label, preliminary clinical trial [J]. *Evid Based Complement Alternat Med*, 2016, 2016: 4648101. DOI: 10.1155/2016/4648101.

(修回日期: 2023-02-20)

(本文编辑: 汪 玲)