

- measures predict hemiparetic gait velocity[J]. *Gait Posture*, 2006, 24(3):356-363.
- [13] Fuller EA. Center of pressure and its theoretical relationship to foot pathology[J]. *J Am Podiatr Med Assoc*, 1999, 89(6):278-291.
- [14] Lugade V, Kaufman K. Center of pressure trajectory during gait: a comparison of four foot positions[J]. *Gait Posture*, 2014, 40(4):719-722.
- [15] De Cock A, Vanrenterghem J, Willems T, et al. The trajectory of the centre of pressure during barefoot running as a potential measure for foot function[J]. *Gait Posture*, 2008, 27(4):669-675.
- [16] 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.
- [17] 南登昆. 康复医学[M]. 4 版. 北京: 人民卫生出版社, 2008: 159-161.
- [18] Tombaugh TN, McIntyre NJ. The mini-mental state examination: a comprehensive review[J]. *J Am Geriatr Soc*, 1992, 40(9):922-935.
- [19] Séléna L, Martina B, Rachid A, et al. Understanding spatial and temporal gait asymmetries in individuals post stroke[J]. *Int J Phys Med Rehabil*, 2014, 2(2):201.
- [20] Patterson KK, Gage WH, Brooks D, et al. Evaluation of gait symmetry after stroke: a comparison of current methods and recommendations for standardization[J]. *Gait Posture*, 2010, 31(2):241-246.
- [21] Kim CM, Eng JJ. Symmetry in vertical ground reaction force is accompanied by symmetry in temporal but not distance variables of gait in persons with stroke[J]. *Gait Posture*, 2003, 18(1):23-28.
- [22] Bowen A, Wenman R, Mickelborough J, et al. Dual-task effects of talking while walking on velocity and balance following a stroke[J]. *Age Ageing*, 2001, 30(4):319-323.
- [23] Chiu MC, Wu HC, Chang LY, et al. Center of pressure progression characteristics under the plantar region for elderly adults[J]. *Gait Posture*, 2013, 37(3):408-412.
- [24] Schmid M, Beltrami G, Zambambieri D, et al. Centre of pressure displacements in trans-femoral amputees during gait[J]. *Gait Posture*, 2005, 21(3):255-262.
- [25] Cau N, Cimolin V, Galli M, et al. Center of pressure displacements during gait initiation in individuals with obesity[J]. *J Neuroeng Rehabil*, 2014, 11(1):82.
- [26] Han TR, Paik NJ, Im MS. Quantification of the path of center of pressure (COP) using an F-scan in-shoe transducer[J]. *Gait Posture*, 1999, 10(3):248-254.
- [27] Jones R, Donaldson I, Parkin P. Impairment and recovery of ipsilateral sensory-motor function following unilateral cerebral infarction[J]. *Brain*, 1989, 112:113-132.
- [28] Kim SH, Pohl PS, Luchies CW, et al. Ipsilateral deficits of targeted movement after stroke[J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2003, 84(5):719-724.
- [29] Perry J, Garrett M, Gronley JK, et al. Classification of walking handicap in the stroke population[J]. *Stroke*, 1995, 26(6):982-989.
- [30] Patterson KK, Parafianowicz I, Danells CJ, et al. Gait asymmetry in community-ambulating stroke survivors[J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2008, 89(2):304-310.
- [31] Jorgensen L, Crabtree NJ, Reeve J, et al. Ambulatory level and asymmetrical weight bearing after stroke affects bone loss in the upper and lower part of the femoral neck differently: bone adaptation after decreased mechanical loading[J]. *Bone*, 2000, 27(5):701-707.

(修回日期:2015-10-13)

(本文编辑:汪 玲)

陆上运动与水中运动对脑卒中恢复期患者下肢肌肉功能恢复的影响

王轶钊 张玥 张琳瑛 黄力平 徐伟 周石

【摘要】目的 对比陆上运动训练与水中运动训练对脑卒中恢复期患者下肢肌肉力量及其表面肌电指标的影响。**方法** 初次发病的恢复期脑卒中患者 30 例,病程 2~6 个月,按随机数字表法分为陆上运动组和水中运动组,每组 15 例。陆上运动组在康复大厅进行陆上运动康复训练;水中运动组在水中运动池中进行水中运动康复训练。2 组患者均为每次治疗 30 min,每周 5 次,共观察 4 周。分别于训练前和训练 4 周后(训练后),记录 2 组患者下肢主要肌群的最大等长收缩(MIVC)力量,并同步监测其表面肌电,利用客观数据对比研究恢复期卒中患者的下肢肌肉功能。**结果** 训练后,陆上运动组患者的伸膝力矩以及水中运动组踝跖屈力矩、跖屈腓肠肌积分肌电(iEMG)、伸膝力矩、伸膝协同收缩率均较组内训练前明显改善,且差异有统计学意义($P < 0.05$);训练后,水中运动组患者的踝跖屈力矩[(8.9 ± 3.8) N·m]、跖屈腓肠肌 iEMG[(22.1 ± 11.3) μV·s]、伸膝力矩[(19.1 ± 11.5) N·m]、伸膝协同收缩率[(24.5 ± 7.3)%],均显著优于陆上运动组($P < 0.05$)。**结论** 与陆上运动相比,水中运动可显著提高脑卒中恢复期患者股直肌和腓肠肌的肌肉力量以及伸膝动作的协调性。

【关键词】 脑卒中; 水疗法; 表面肌电

DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2015.011.009

作者单位:300060 天津,天津市环湖医院康复医学中心(王轶钊、张玥、张琳瑛、徐伟);天津体育学院健康与运动科学系天津市重点实验室(王轶钊、黄力平);澳大利亚南十字星大学运动科学和体育管理系(周石)

通信作者:黄力平,Email:1330994263@qq.com

脑卒中又称脑血管意外,它可能造成肌肉力量减弱、神经控制障碍、步态异常等各类问题,严重影响患者的生存质量,因此脑卒中后的康复治疗非常必要^[1]。脑卒中康复治疗的方法除常规运动疗法外,水中运动训练法正在逐渐被人们接受与认可。水中运动训练法是指在水的特殊环境下,利用水的浮力、静水压力、温热效应等进行运动康复训练,以缓解患者症状或改善功能。据国外资料报道,水中运动训练对平衡能力的恢复具有良好的康复效果^[2]。目前国内关于水中运动训练的相关研究也多为平衡量表和步行量表的评价,利用数据进行客观评测的研究还比较少。本研究旨在定量观测和对比脑卒中恢复期患者陆上运动和水下运动对下肢肌肉力矩及表面肌电指标的影响。

对象与方法

一、研究对象

入选标准:①符合 1995 年全国第 4 届脑血管病学术会议制订的脑卒中诊断标准^[3],并经 CT 或 MRI 诊断证实;②初次发病,男性患者;③年龄 30~65 岁;④病程 2~6 个月,处于恢复期;⑤符合常规康复训练和水中运动训练条件,即无意识障碍,生命体征平稳,血压控制良好,具有一定的躯干控制能力,具备站立位静态平衡能力^[4],下肢 Brunnstrom 分期^[5]Ⅲ期及以上,下肢主要肌群肌力^[4]3 级及以上;⑥签署知情同意书。

排除标准:①水疗禁忌证,如肾功能代偿不全、恶性肿瘤、身体极度衰弱、各种出血倾向等;②严重认知障碍,不能理解并配合实验者;③严重言语障碍;④3 个月内有下肢损伤,影响膝、踝关节活动者;⑤跟腱挛缩,踝关节背屈受限者;⑥患有其他神经系统疾病,可能影响下肢肌力和活动者;⑦大小便失禁患者。

选取 2009 年 9 月至 2013 年 9 月天津市环湖医院康复医学中心收治且符合上述标准的脑卒中恢复期男性患者 30 例。患者通过抽签的方式随机分为陆上运动组和水下运动组,每组 15 例,2 组患者的年龄、病程、身高、体重、卒中类型及患肢侧别等临床资料经统计学分析比较,差异无统计学意义($P>0.05$),具有可比性,详见表 1。

二、治疗方法

2 组患者采取不同介质环境中的下肢专项训练:陆上运动组在陆地上康复大厅训练;水中运动组在水中运动治疗池中训练。2 组患者治疗均为每次 30 min,5 次/周,共 4 周。

1. 陆上运动训练:根据患者的不同功能状态,可安排在康复大厅进行陆上运动训练。①上下楼梯训练(力量及姿势控制训练)——治疗师扶持或患者自己扶持栏杆完成,注意膝关节保护;②垫上训练(姿势控制训练)——患者可练习翻身、爬行、跪行、四点支撑、三点支撑等;③平衡板训练(平衡训练)——患者站立平衡板上,左右位及前后位转移重心;④Bobath 球训练(平衡及姿势控制训练)——患者可坐在球上,或俯卧、仰卧于球

上,在治疗师指导下进行各种姿势维持或转换;⑤跑台步行训练(步行能力训练)——患者根据自身情况可逐渐增加跑台速度以及倾斜角度,治疗师注意纠正步态。

2. 水中运动训练:在 FERNO 水中运动治疗池(美国, Totally Hayward 公司)中进行水中运动,该水中运动治疗池具有恒温、自动消毒过滤、涡流增压、透明池壁可视观察、水中设步行器可进行步行训练等功能。水深 1.3~1.4 m,水温 37~38℃,室温 25~26℃。主要动作包括:①双腿蹲起(力量训练)——患者双手扶持保护杠,双腿屈膝屈髋,下蹲时水位至下颌,之后站起;②单腿蹲起(力量及平衡训练)——患者双手扶持保护杠,健侧腿抬起,患侧腿屈膝屈髋,下蹲时水位至下颌,之后站起。治疗师提醒患者保持平衡,并保护患者防止溺水;③原地大幅度踏步(平衡、协调性及姿势控制训练)——患者双手扶持保护杠,单腿站立,另一条腿屈膝屈髋 90°,之后两腿交替完成踏步动作;④水中台阶训练(力量及膝关节控制训练)——患者单手扶持保护杠,可先在深水区练习上下台阶,之后逐渐过渡到浅水区练习;⑤水中旋转训练(姿势控制训练)——患者可分别围绕横轴、矢状轴、纵轴旋转,之后可以练习综合旋转。该项练习的前提是患者学会水中憋气与换气;⑥水下跑台训练(步行能力及协调性训练)——患者双手扶持保护杠或在治疗师保护下进行水下跑台训练。训练速度由慢到快,治疗师注意纠正步态。

三、测试方法

于训练前和训练 4 周后(训练后),分别测试 2 组患者踝跖屈、踝背屈、伸膝、屈膝四个动作的最大等长收缩(maximum isometric voluntary contraction, MIVC),并同步采集力量及表面肌电指标。所有测试均由对分组不知情的同一康复医师完成。

1. MIVC 时的力量采集:使用自行设计力量测试装置及 MedLab-U/8C 生物信号采集处理系统(型号 MY8C0031,南京美易科技有限公司生产)测试患者 MIVC 时的峰值力矩。测试前给予患者熟悉实验过程的指导和试行性训练。测试时患者取坐位,乘坐自动升降椅,调整适宜高度并固定座椅及患者,防止其代偿用力。测试患腿,将患腿髋关节与膝关节均呈屈曲 90°位固定于力量测试装置上,调整拉力传感器力线与力矩轴一致,以保证力量测试的准确性。嘱患者放松(以 MedLab 基线水平无波动为准,然后调零;示波器上信号位于基线),之后发口令,要求患者对抗拉力计最大用力,用语言鼓励患者持续用力 3~5 s;每个动作测试 3 次,取最大值。根据公式(1)计算出各个动作 MIVC 时的峰值力矩:

$$\text{力矩}(\text{N} \cdot \text{m}) = \text{力量}(\text{N}) \times \text{力臂}(\text{m}) \quad (1)$$

2. MIVC 时的表面肌电指标:使用 Noraxon 表面肌电图遥测系统(型号 Noraxon TeleMyo® 2400T/R,美国 Noraxon 公司生产)测试患者 MIVC 时的积分肌电值(integrated electromyography, iEMG)及协同收缩率(co-contraction ratio, CR)。表面电极为 AgCl 心电监护电极,导电区直径 10 mm;电极的贴放位置原则上

表 1 2 组患者的一般临床资料

组别	例数	平均年龄 (岁, $\bar{x} \pm s$)	平均病程 (月, $\bar{x} \pm s$)	平均身高 (cm, $\bar{x} \pm s$)	平均体重 (kg, $\bar{x} \pm s$)	卒中类型(例)		患肢(例)	
						脑出血	脑梗死	左侧	右侧
陆上运动组	15	44.3 ± 15.3	4.5 ± 1.1	174.2 ± 7.9	74.8 ± 8.5	5	10	8	7
水中运动组	15	46.5 ± 17.8	4.7 ± 1.4	173.7 ± 6.7	73.5 ± 8.2	4	11	6	9

是以肌肉定位点为中心,沿肌肉纤维走行方向贴放,两电极间距 20 mm,依胫骨前肌、腓肠肌外侧头、股直肌、股二头肌长头的顺序依次固定 1~4 号电极。具体如下:①胫骨前肌——近端电极中心放于相当于“足三里”穴的位置,远端电极放于其远侧;②腓肠肌外侧头——近端电极中心放于腓横纹外侧末端点下 4 cm 处,远端电极放于其远侧;③股直肌——近端电极中心放于髌前下棘与髌骨连线中点,远端电极放于其远侧;④股二头肌长头——近端电极中心放于坐骨结节与腓窝外侧连线中点,远端电极放于其远侧;⑤参考电极置于患侧腓骨头。测试前,先用专用的细砂纸打磨角质层后用酒精棉球擦拭,保证测试部位皮肤电阻值小于 5 k Ω 。正式测试前要求被测试患者尽可能放松,以示波器上没有肌电信号为标准。表面肌电采用前置放大,增益 1000,输入阻抗 >100 M Ω ,共模抑制比 >100 dB,灵敏度 1 μ V,通道 10~500 Hz 滤波,采集频率 3000 Hz。采用美国 Noraxon 公司专用信号处理软件 MyoResearch 分析数据。表面肌电采集与力量测试同步进行,同样为 3 次,取最大值。每个动作同时采集主动肌与拮抗肌的 iEMG 信号,根据公式(2)计算出每个动作的协同收缩率^[6]:

$$\text{协同收缩率} = \frac{\text{拮抗肌 iEMG}}{\text{主动肌 iEMG} + \text{拮抗肌 iEMG}} \times 100\% \quad (2)$$

四、统计学方法

所有数据使用 SPSS 17.0 版统计软件包进行统计学分析处理,计量资料以($\bar{x} \pm s$)表示。2 组患者的一般资料比较,采用独立样本 t 检验。组内训练前、后比较,采用配对 t 检验。组间训练前、后比较,若训练前两组患者基础值无差异,采用独立样本 t 检验;若基础值有差异,则以此作为协变量,进行协方差分析。 $P < 0.05$ 认为差异有统计学意义。

结 果

训练后,水中运动组患者的踝跖屈力矩与腓肠肌 iEMG 较组内训练前以及陆上运动组训练后均有显著提高,且差异有统

计学意义($P < 0.05$)。详见表 2。

训练后,2 组患者的伸膝力矩均较训练前有明显提高,且差异有统计学意义($P < 0.05$);水中运动组相比于陆上运动组亦有显著提高,差异有统计学意义($P < 0.05$);水中运动组患者的伸膝协同收缩率较组内训练前以及陆上运动组训练后均有明显下降,且差异有统计学意义($P < 0.05$)。详见表 3。

讨 论

MIVC 是肌肉长度不变下的最用力收缩,峰力矩是肌肉收缩产生的最大力矩输出^[7]。MIVC 时产生的峰力矩是反映肌力情况的黄金指标,具有较高的准确性和可重复性,也是目前国外常用的评价方法^[8-9]。表面肌电图兼备无创性、实时性、操作简单等优点^[10],是评定肌肉协同收缩较为理想和可信的方法^[11]。近年来,iEMG 越来越多地应用于肌肉功能的评定^[12-15],而 iEMG 的派生指标协同收缩率,可反映某动作主动肌与拮抗肌的协调关系。

分析本研究水中运动组患者的腓肠肌和股直肌力量显著增长的 3 个原因:①借助水的浮力,可使下肢肌力不足无法支撑站立的患者,比陆上更早的练习站立和行走。研究显示,水深齐胸骨剑突水平大约可减轻 60%~70% 体重^[16],且水中运动疗法为均匀减重,较陆地减重步行更具优势^[17-18];②本研究应用 37~38 $^{\circ}\text{C}$ 温热水,具有良好的镇痛及缓解肌张力效果;Becker 指出无论对中青年或老年患者,温热水浸泡均可取得良好的减压、止痛及肌肉放松效果^[19-20],其机制为温热效应平衡了交感神经与副交感神经,降低了交感神经的兴奋性,并提高了痛阈。下肢伸肌(尤其是腓肠肌)在陆上训练时,治疗师害怕引起痉挛而很少训练,而在水中利用水的温热效应则可解痉止痛。因此在相同训练时间下,水中运动组患者的下肢伸肌得到了更加充分以及有效的锻炼,力量增长显著^[21],这在我们之前的研究中已有所阐述;③利用水的阻力,进行抗阻训练;Ayán 等^[22] 研究显示水中抗阻训练可显著改善帕金森患者的运动功能与生活质量。水

表 2 2 组患者训练前、后踝背屈和踝跖屈 MIVC 时的力矩及表面肌电比较($\bar{x} \pm s$)

组别	例数	力矩(N·m)		胫骨前肌的 iEMG(μV·s)		腓肠肌的 iEMG(μV·s)		协同收缩率(%)	
		踝背屈	踝跖屈	踝背屈	踝跖屈	踝背屈	踝跖屈	踝背屈	踝跖屈
陆上运动组									
训练前	15	3.9±2.7	5.8±4.3	50.7±39.7	9.2±3.9	5.7±2.4	10.0±6.9	13.3±7.6	51.3±19.8
训练后	15	4.1±3.3	5.4±4.1	56.7±27.9	10.8±5.1	7.6±4.3	12.1±7.8	13.7±8.7	50.2±18.9
水中运动组									
训练前	15	5.5±5.5	7.1±3.9	72.7±72.4	11.4±8.6	13.3±13.9	18.9±10.5	16.6±9.9	44.3±16.1
训练后	15	5.7±5.4	8.9±3.8 ^{ab}	85.6±81.6	13.1±8.8	13.9±11.4	22.1±11.3 ^{ab}	15.0±9.0	39.0±15.8

注:与组内训练前比较,^a $P < 0.05$;与陆上运动组训练后比较,^b $P < 0.05$

表 3 2 组患者训练前、后伸膝和屈膝 MIVC 时的力矩及表面肌电比较($\bar{x} \pm s$)

组别	例数	力矩(N·m)		股直肌的 iEMG(μV·s)		股二头肌的 iEMG(μV·s)		协同收缩率(%)	
		伸膝	屈膝	伸膝	屈膝	伸膝	屈膝	伸膝	屈膝
陆上运动组									
训练前	15	15.3 ± 11.2	9.3 ± 5.5	55.3 ± 32.5	16.0 ± 9.8	29.2 ± 17.3	27.8 ± 5.6	34.5 ± 14.9	36.2 ± 15.3
训练后	15	18.9 ± 12.9 ^a	10.2 ± 7.4	59.7 ± 27.3	14.1 ± 7.2	29.8 ± 18.3	27.8 ± 5.7	32.9 ± 14.6	33.5 ± 14.1
水中运动组									
训练前	15	15.5 ± 10.0	11.9 ± 8.1	65.6 ± 32.3	13.1 ± 8.5	26.4 ± 30.7	45.2 ± 49.9	28.6 ± 9.9	29.1 ± 14.6
训练后	15	19.1 ± 11.5 ^{ab}	14.4 ± 8.3	67.2 ± 34.1	10.4 ± 8.3	21.8 ± 24.7	48.6 ± 47.3	24.5 ± 7.3 ^{ab}	24.2 ± 13.4

注:与组内训练前比较,^a $P < 0.05$;与陆上运动组训练后比较,^b $P < 0.05$

中抗阻的最大特点是速度依赖,阻力与运动速度成正相关,当速度越快的时候相应的阻力也会越大。这样患者可以根据自身情况随时控制阻力的大小,达到最佳训练效果,优于普通陆上训练。

本研究观察发现,水中运动组患者训练后的伸膝协同收缩率显著下降,分析原因主要与水中步行训练有关。有研究表明,水下行走可在地面反作用力减少、受损关节冲击力减弱的情况下完成,对运动机能进行良好的恢复和保持,并促进脊髓步行中枢模式发生器(central pattern generator, CPG)的发生^[23-24]。患者在水下行走时为了对抗水中的湍流避免跌倒,必须时刻努力控制姿势、维持平衡,这就需要拮抗肌间的不断调节与配合;于是经过反复配合,患者用力更加协调,协同收缩率降低,动作效率提高。

本研究的不足主要有:①由于训练周期比较长,且需要患者配合训练与测试,最终符合条件的观察例数比较少;②患者病程处于恢复期(2~6个月),这并不是卒中康复的黄金时期,所以该时期患者的一些指标训练前后并没有变化;然而,同时期的患者配合水中运动治疗之后,下肢伸肌力量与协调性显著改善,说明水中运动治疗的独到之处;③水中运动促进下肢肌肉恢复的其他机制有待进一步探讨;如 Bieuzen 等^[25]指出水中运动可加速肌肉乳酸清除可能为水中运动对肌肉恢复的另一种效果,本研究中并未涉及,有待于后续进一步观察研究。

综上所述,本研究中水中运动组所用运动方案利用水的特性,对脑卒中恢复期患者针对性地设计了肌肉力量、平衡功能、下肢屈伸肌控制能力和步行训练等方法。该水中运动方法安全有效,增强了在陆地上效果欠佳的伸肌肌力,改善了伸膝动作控制力与动作的协调性,促进了下肢功能恢复,为卒中恢复期患者的治疗提供了一种新方式。

参 考 文 献

- [1] Vluggen TP, van Haastregt JC, Verbunt JA, et al. Multidisciplinary transmutal rehabilitation for older persons with a stroke; the design of a randomised controlled trial[J]. BMC Neurol, 2012, 12(1):164.
- [2] Avelar NC, Bastone AC, Alcántara MA, et al. Effectiveness of aquatic and non-aquatic lower limb muscle endurance training in the static and dynamic balance of elderly people[J]. Rev Bras Fisioter, 2010, 14(3):229-236.
- [3] 缪鸿石,朱镛连. 脑卒中的康复评定和治疗[M]. 北京:华夏出版社, 1996:141-148.
- [4] 恽晓平. 康复疗法评定学[M]. 北京:华夏出版社, 2005:107-247.
- [5] 南登崑. 康复医学[M]. 4 版. 北京:人民卫生出版社, 2008:159-161.
- [6] Yan T, Hui-Chan CW, Li LS. Functional electrical stimulation improves motor recovery of the lower extremity and walking ability of subjects with first acute stroke: a randomized placebo-controlled trial[J]. Stroke, 2005, 36(1):80-85.
- [7] 夏联富,王晓东. 跳高、排球运动员膝关节屈伸肌群生物力学的特征[J]. 体育学刊, 2009, 16(3):105-107.
- [8] Canning CG, Ada L, O'Dwyer N. Slowness to develop force contributes to weakness after stroke[J]. Arch Phys Med Rehabil, 1999, 80(1):66-70.
- [9] Lienhard K, Lauermaun SP, Schneider D, et al. Validity and reliability of isokinetic, isokinetic and isoinertial modalities for the assessment of quadriceps muscle strength in patients with total knee arthroplasty[J]. J Electromyogr Kinesiol, 2013, 23(6):1283-1288.
- [10] Chang KM, Liu SH, Wu XH. A wireless sEMG recording system and its application to muscle fatigue detection[J]. Sensors, 2012, 12(1):489-499.
- [11] Choi H. Quantitative assessment of co-contraction in cervical musculature[J]. Med Eng Phys, 2003, 25(2):133-140.
- [12] Onishi H, Yagi R, Akasaba K, et al. Relationship between EMG signals and force in human vastus lateralis muscle using multiple bipolar wire electrodes[J]. J Electromyogr Kinesiol, 2000, 10(1):59-67.
- [13] Fuglevand AJ, Winter DA, Patla AE. Models of recruitment and rate coding organization in motor-unit pools[J]. J Neurophysiol, 1993, 70(6):2470-2488.
- [14] Saito A, Akima H. Knee joint angle affects EMG-force relationship in the vastus intermedius muscle[J]. J Electromyogr Kinesiol, 2013, 23(6):1406-1412.
- [15] Li X, Shin H, Zhou P, et al. Power spectral analysis of surface electromyography (EMG) at matched contraction levels of the first dorsal interosseous muscle in stroke survivors[J]. Clin Neurophysiol, 2014, 125(5):988-994.
- [16] Barela AM, Stolf SF, Duarte M. Biomechanical characteristics of adults walking in shallow water and on land[J]. J Electromyogr Kinesiol, 2006, 16(3):250-256.
- [17] Eversden L, Maggs F, Nightingale P, et al. A pragmatic randomised controlled trial of hydrotherapy and land exercises on overall well being and quality of life in rheumatoid arthritis[J]. BMC Musculoskelet Disord, 2007, 8:23.
- [18] 徐伟,范金涛,张琳瑛,等. 水中运动训练与减重步行训练对脑卒中偏瘫患者步行能力的影响[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2011, 33(6):469-470.
- [19] Becker BE, Hildenbrand K, Whitcomb RK, et al. Biophysiological effects of warm water immersion[J]. IJARE, 2009, 3:24-37.
- [20] Becker BE. Aquatic therapy: scientific foundations and clinical rehabilitation applications[J]. PM R, 2009, 1(9):859-872.
- [21] 王铁钊,黄力平,张琳瑛,等. 水中运动训练对恢复期脑卒中患者下肢肌肉力量和步行能力的影响[J]. 中国康复医学杂志, 2013, 28(10):929-933.
- [22] Ayón C, Cancela J. Feasibility of 2 different water-based exercise training programs in patients with Parkinson's disease: a pilot study[J]. Arch Phys Med Rehabil, 2012, 93(10):1709-1714.
- [23] Masumoto K, Applequist BC, Mercer JA. Muscle activity during different styles of deep water running and comparison to treadmill running at matched stride frequency[J]. Gait Posture, 2013, 37(4):558-563.
- [24] Hauptenthal A, Fontana Hde B, Ruschel C, et al. Ground reaction forces in shallow water running are affected by immersion level, running speed and gender[J]. J Sci Med Sport, 2013, 16(4):348-352.
- [25] Bieuzen F, Bleakley CM, Costello JT. Contrast water therapy and exercise induced muscle damage: a systematic review and meta-analysis[J]. PLoS One, 2013, 8(4):e62356.

(修回日期:2015-10-20)

(本文编辑:汪 玲)