

·综述·

## 倒走运动的生物力学特性的研究进展

韩东波<sup>1</sup> 徐冬青<sup>1,2</sup>

步行是人们日常生活中最基本的运动方式,快步走也是人们常用的健身方法。通常情况下,人们的前向运动居多,后向运动相对较少。因此,大多数研究也主要集中于前向运动对于人体功能的作用,而忽视了后向运动对人体的积极影响。国外相关的研究<sup>[1-5]</sup>表明:在同等条件下,相对于前向行走,倒走对人体的摄氧量、能量消耗和心率等方面的影响更明显,提示倒走可能会更充分地锻炼心肺功能和提高能量消耗从而发挥其健身效果。同时,倒走也被应用于人体组织损伤和慢性疾病的临床康复中。倒走运动对人体的积极影响与其独特的生物力学特性不无关系,国外学者对此已有一定的研究。但在国内,人们对这种反序运动的认识还远远不够,相关的研究也较少。本文通过检索MEDLINE和CNKI数据库中1979—2010年国内外相关文献,对倒走的运动模式、运动学特征、肌肉活动水平、步态以及动力学特征进行综述,以期为今后进一步的深入研究提供依据。

### 1 倒走的运动模式

运动模式是表示固有的中枢神经系统活动[如中枢模式发生器(central pattern generators, CPGs)的活动]与外在的感觉输入和生物力学表现之间的相互作用<sup>[6]</sup>。CPGs是产生动物节律运动行为的生物神经环路,它由一系列神经振荡器组成,是神经振荡器与多重反射回路系统集成在一起组成的一个复杂的分布式神经网络。

肢体运动的产生受CPGs的控制。Grillner<sup>[7]</sup>在对几种动物的运动进行研究后进一步推断每个肢体的运动是由CPGs单元组成的网络控制,每个CPGs单元可以驱动协同肌作用于特定的关节(如膝屈肌或踝伸肌),不同CPGs活动信号的耦合产生肢体最终的运动模式,倒走的产生是控制肢体不同关节的CPGs单元之间转换相位信号耦合的结果。Grasso等<sup>[8]</sup>也持相似的观点,他们认为倒走是通过控制正走的相位耦合信号的逆转产生的。从运动的中枢控制上来看,倒走和正走可能受相同的中枢神经控制,然而从外在的生物力学表现来看,倒走作为反常运动,较正走需具有更佳的平衡及运动控制的神经生理机制<sup>[9]</sup>,能更明显地激活下肢肌肉的活动,从而对中枢神经产生更强的刺激。

瓮长水等<sup>[10]</sup>对倒走锻炼应用于脑卒中患者下肢功能活

动的康复进行了初步的尝试,并取得了一定的效果。他们将下肢Brunnstrom分级为3或4级的26例脑卒中偏瘫患者随机分为对照组和实验组,对照组患者接受常规步行训练治疗,60min/次,实验组患者在接受常规步行训练治疗30min的基础上附加倒退步行训练治疗30min,每周5次,连续3周,结果表明实验组患者在下肢运动功能、平衡功能和步行速度上明显优于对照组。此结果也得到了Yang等<sup>[11]</sup>的研究证实。这提示倒走锻炼能有效地改善脑卒中患者下肢运动功能障碍。

从倒走对脑卒中的康复效果来看,倒走可能不只是控制正走的CPGs信号简单的逆转,倒走可能对中枢神经系统有更强的刺激,从而产生更多的动物节律运动行为的生物神经环路,而促进功能活动的恢复,但目前在此方面还未有直接的实验证据,因而有待进一步的深入探讨。

### 2 倒走时身体的运动特征

身体的运动特征是从几何的角度来描述和研究人体位置随时间的变化规律。对比和分析正走和倒走时身体的运动特征,有助于我们认识和理解倒走的运动规律。

吕晓梅<sup>[12]</sup>分析反向走的生物力学特点,发现倒走时头与躯干晃动的范围比正走时小,提示倒走时上体的稳定性较好。同时,倒走时还表现出更小的躯干与水平面前夹角,表明倒走时身体重心比正走时靠前,这就需要躯干后仰,腰部肌肉拉紧,增强了腰部肌肉的活动。这个研究结果提示倒走可能对腰部肌肉功能紊乱的病症有一定的康复治疗意义。

在下肢关节的运动方面,Thorstensson<sup>[13]</sup>研究分析了5名成年受试者在速度为1—2m/s的跑台上进行正走和倒走时下肢的运动情况,结果发现两种运动情况下,下肢的运动轨迹成镜像的关系,髋、膝和踝关节的运动范围也基本相似。Winter等<sup>[14]</sup>对6名健康受试者正走和倒走时下肢关节的活动角度、关节力矩和肌肉的活动进行了研究,同样证实正走和倒走时髋和膝关节的运动范围相似。然而,Grasso等<sup>[8]</sup>的研究却得出不同的结论,他们对7名健康受试者以不同自选速度进行正走和倒走时的步态研究时,发现髋关节的运动呈镜面关系,膝关节和踝关节的运动则表现为倒走时活动角度相对较小。我国学者研究30名正常人在自然步速情况下正走和倒走的步态特征,发现倒走时髋、膝、踝关节的活动范围比

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2011.10.027

1 天津体育学院健康与运动科学系,天津,300381; 2 通讯作者  
作者简介:韩东波,男,硕士研究生; 收稿日期:2010-11-14

正走时都要大<sup>[12]</sup>。

目前对于正走和倒走时下肢关节的活动范围,研究结论不尽相同。这可能与不同研究采用了不同步行速度有关。另外,部分研究中样本量较小,也可能是影响研究结果的因素之一。这对我们更深入地研究倒走运动对人体功能的作用有一定的影响,需要进一步地探讨和分析。

### 3 倒走时肌肉活动的特征

肌肉活动是步行动力的基础因素,是肌肉收缩和力量产生的原因。表面肌电信号能间接地反映肌肉的活动情况,因而通过对倒走时下肢肌肉肌电信号的观察和分析,能够获知倒走运动的肌肉活动特征。目前的研究表明倒走与正走相比不仅肌肉活动模式有所不同,在肌肉的活动水平和活动顺序上也存在很大的差异。

关于下肢肌肉活动的模式,学者有不同的见解。Thorstenson<sup>[13]</sup>利用肌电研究显示倒走这种运动模式的产生不是靠肌肉活动简单的逆转,而是需要对正走步行模式程序的改变。然而Winter等<sup>[14]</sup>对此却持不同观点,他们基于关节动力学的研究分析了正走和倒走的相似点和不同点,结果显示倒走的各种特征95%是正走的逆转,他们认为相似的肌肉激发模式能产生正走和倒走两种运动模式,通过肌肉向心和离心收缩产生的正走和倒走,这只是一简单的时序上的逆转。

Grasso等<sup>[8]</sup>在对人体正向运动和背向运动的步态运动模式的研究中,采集了7名健康受试者正走和倒走时的臀大肌、股二头肌(长头)、股直肌、股外侧肌、腓肠肌和胫骨前肌的肌电信号,结果发现正走和倒走时,所有肌肉的活动情况都显著不同。在分析支撑相和摆动相不同时期肌肉的活动情况时发现,正走时臀大肌(伸髋肌)的肌电活动水平在支撑相早期骤增,而在支撑相中期退回基线水平,在支撑相后期再次出现一个骤增。相比而言,倒走时臀大肌在支撑相中期活动水平最大,在支撑相后期接近基线水平;相似的差异出现在股直肌(屈髋和伸膝肌)和股外侧肌的活动上,正走时两块肌肉主要都是在支撑相早期和摆动相活动,然而在倒走时,它们主要是在支撑相早期和中期活动;腓肠肌(伸踝肌)主要在正走时的支撑相中期活动,而在倒走时主要是支撑相的早期和后期活动;胫骨前肌在正走时的支撑相早期和摆动相期间活动,倒走时只在整个支撑相期间活动。从肌电的平均值分析,该研究还发现无论是正走还是倒走,整个步态周期中肌电的平均值随运动速度的增大而成指数性的增加,但是,倒走时肌电水平的增长率比正走时高。而且在同样的速度下,倒走时肌电水平有比正走高的趋势。此研究分析了正倒走时支配下肢关节活动主要的几块肌肉的活动情况,表明正走和倒走时下肢肌肉的活动顺序是不同的,并且在步态周期不同的时相中肌肉的参与和贡献亦不同。在同等条件下,

倒走时下肢肌肉的活动相对要强于正走,这可能是倒走时的能量消耗高于正走的原因之一。

Masumoto等<sup>[15]</sup>在水下跑台上进行正走和倒走的研究也证实了上述研究的部分结论。该研究采集了受试者右侧的臀中肌、股内侧肌、股二头肌长头、胫骨前肌、腓肠肌外侧头、腹直肌以及竖脊肌的肌电,结果显示倒走时股内侧肌、胫骨前肌和竖脊肌的活动水平明显比正走时高。另有在地面上的研究<sup>[16]</sup>也表明倒走时股直肌和股内侧肌的肌电活动水平比正走高很多。

此外,吕晓梅等<sup>[12]</sup>对正常人正走、倒走时腰部竖脊肌的活动水平进行了对比分析,发现倒走时腰部竖脊肌的积分肌电值明显高于正走。他们认为倒走能增加腰背部肌肉的活动,加速局部血液循环,从而改善腰背部肌肉内部的协调性。这提示倒走可能对一些腰部疾病有一定的疗效。有研究<sup>[17-18]</sup>运用倒走训练结合其他治疗方法对腰椎间盘突出患者进行综合地治疗,取得了显著的疗效。以上两个研究一致认为倒走时腰部大部分肌肉需进行大幅度的收缩和松弛运动,这对于腰部的血液循环有良好的促进作用,进而改善腰部肌肉的营养,以达到康复的效果。

总之,在肌肉活动情况方面,倒走与正走相比存在很大的差异。研究普遍认为倒走时肌肉的活动水平要比正走高,这可能是倒走比正走有更好的锻炼和康复效果的原因之一。

### 4 倒走的步态特征

从步态特征上也能反映倒走运动的独特性。人体正常向前行走时,摆动相过渡到支撑相的模式是脚跟触地—脚尖离地,而倒走时是脚尖触地—脚跟离地的过渡模式。针对正走和倒走在时间和空间的步态特征,目前的研究表明也存在一定的差异。

在支撑相和摆动相的持续时间上,Nilsson等<sup>[19]</sup>发现步行时支撑相和摆动相占整个步态周期的时间比值与运动方向没有关系。另外在倒跑的研究中,Devita等<sup>[20]</sup>观察了5名受试者在固定速度下的步态,结果显示倒跑时的摆动相和支撑相持续时间所占整个步态周期的比值与正跑时表现相似。这两个研究提示在支撑相和摆动相的持续时间上,正走、正跑和倒走、倒跑时没有差别。

在步长和步频上,Grasso等<sup>[8]</sup>在观察7名健康受试者以不同自选速度正走和倒走时步态模式的研究中,结果也显示倒走时的平均步长比正走时要小,而且在大于0.7m/s某个特定的速度下,倒走相对于正走,步态节奏趋于过快,而步长也趋于更短。另外,Laufer<sup>[9]</sup>对正走和倒走步态时空特性的研究结果也证实倒走时步长相对于正走要小,步速也比正走要慢。

倒走表现出相对更小的步长和步速特点,可能更适合纠正老年人摆动能力下降、摆动幅度减小、足背不屈的步态

改变<sup>[21]</sup>。张胜年等<sup>[21]</sup>的研究证实了这个观点,该研究对实验组老年人进行为期12周,每周3次,每次40min的倒走训练,结果表明倒走训练可以有效地提高老年人正常行走中的摆膝高度和足前部最大离地高度,同时双侧步长的均衡性也有一定程度的改善。

## 5 倒走的动力学特征

### 5.1 地面反作用力、剪力和力矩的特征

目前的研究表明,正走和倒走在地面反作用力、剪力和力矩等这些动力学特征上有一定的差异,主要表现在受力的方向、大小以及力的作用时间等方面。

Grasso等<sup>[8]</sup>的研究结果显示倒走过程中脚尖触地时的地面垂直反作用力比脚跟离地时要大,然而正走过程中这两个相似时相时的地面反作用力却几乎相等。研究还发现剪力的指向在正走和倒走时是相反的。确切地说,就是正走时,在支撑相早期和重心减速阶段,剪力的方向是向后的,在支撑相中后期,剪力的方向又变为向前。而倒走时,在支撑相早期和脚尖触地时期,剪力的方向是向前的,在支撑相中期,剪力变为零,在脚跟离地时剪力的方向向后。该研究分析了正走、倒走步态中对应时相的地面反作用力和剪力的受力特点,但并未比较两种步行模式下平均地面反作用力和剪力的大小,这有待我们今后深入地研究分析。

Devita<sup>[20]</sup>对5名健康男性倒跑时的下肢关节力矩和肌肉力量的研究中发现,在以相同的速度正跑和倒跑时,受试者倒跑时的平均地面反作用力的垂直冲量比其正跑时的低14%。Threlkeld等<sup>[22]</sup>观察了倒跑时的地面冲击力,该研究将受试者分为两组,实验组每天进行倒跑训练,对照组进行正跑训练,8周后分析在3.5m/s的速度下正跑和倒跑时的地面冲击力,结果显示实验组的最大垂直力和冲量分别比对照组低6%和30%。这些研究表明倒跑时下肢对地面的冲击力相对正跑较小,倒跑时下肢对地面反作用力有更好的缓冲,有利于避免地面反作用力对下肢的损伤。

在髌股关节的压力方面,Flynn等<sup>[23]</sup>做了相关的研究,他们对比分析了5名男性慢跑者以自选速度正跑和倒跑时髌股关节处的压力,结果显示正跑和倒跑时的髌股关节压力峰值分别为 $4253 \pm 1292\text{N}$ 和 $2277 \pm 192\text{N}$ ,而且在到达压力峰值的时间上,倒跑比正跑要长,这说明以自选速度倒跑在一定程度上可以减少髌股关节的压力。

倒走和倒跑相对于正走和正跑表现出较小的受力特征提示其可能更适合于一些下肢的关节和组织损伤或术后的临床康复中,但这还有待进一步的研究证实。

### 5.2 足底压力分布特征

人体行走时,足是与外界接触的唯一部位,足部产生的力是人体向前行走的动力来源。研究正走和倒走时足底压

力分布的差异,有利于人们进一步理解这两种相反方向行走模式的神经肌肉控制,指导合理的运动锻炼和康复治疗。

郝卫亚等<sup>[24]</sup>研究了儿童倒走足底压力的分布特征。研究采集了12名健康男性小学生正、倒走时的足底压力,将足底分为十个压力区并对这十个区的最大压力和冲量进行了分析。结果显示正走、倒走时左足足底最大压力差异明显,主要表现为正走时大拇指、第2—5脚趾、第1、2跖骨、足跟内侧压力明显高于倒走,正走时第4、5跖骨、足弓部、足跟外侧压力明显低于倒走;左足正、倒走时足底冲量差异显著,主要表现为正走时大拇指、第2—5脚趾、第1、2跖骨高于倒走,正走时第4、5跖骨、足弓部、足跟内、外侧低于倒走。赵焕彬等<sup>[25]</sup>运用相似的方法对48名老年人倒走时的足底压力与步态特征进行了研究,结果显示倒走时第2跖骨、第1跖骨、第2—5趾骨处的冲量小于正走,足跟、第4跖骨、第5跖骨、足弓处的冲量大于正走,差异具有显著性意义;倒走时第2跖骨、第3跖骨、第4跖骨处的最大压强小于正走,足跟与第1跖骨处的最大压强大于正走,差异具有显著性意义。

以上两个研究结果表明正走和倒走时的足底压力分布有很大的差异。两个研究中足底各个区域的压力和冲量在正走和倒走时的差异结果基本相似,同时他们都发现倒走时足底各部位压力较正走更均匀,而且倒走时足底压力中心较正走变化范围大,这是由于倒走为了达到更高的平衡能力要求,增加全脚触地时间而产生的,这提示倒走可能对提高平衡能力有一定的效果。

人体足底压力分布特征可反映有关足的结构、功能及整个身体姿势控制等情况,对足执行生理功能、临床诊断及康复研究等均有重要意义<sup>[26-27]</sup>。测试和分析倒走时足底压力分布特征可以获取人体倒走时的力学和功能参数,对全面了解倒走时足底压力的变化,以及指导倒走在健身锻炼和临床康复上的应用均有重要意义。

## 6 小结

倒走在运动模式、身体的运动特征、肌肉活动特征、步态特征以及动力学特征上与正走存在一定的差异和独特性。这些独特的生物力学特性对于增强下肢肌力,改善平衡和关节受力以及促进下肢运动功能的康复等方面有独特的效果,但是,对于倒走时运动强度、运动频率的控制以及运动时间的安排,目前相关的研究还较少。另外,虽然倒走已被尝试应用于一些下肢组织损伤术后的临床康复中,但应用还不够广泛,相关的研究也不够深入,这些问题将是我们今后进行倒走运动研究的方向。

## 参考文献

- [1] Hooper TL, Dunn DM, Props JE, et al. The effects of graded forward and backward walking on heart rate and oxygen con-

- sumption[J]. J Orthop Sports Phys Ther, 2004, 34(2):65—71.
- [2] Williford HN, Olson MS, Gauger S, et al. Cardiovascular and metabolic costs of forward, backward, and lateral motion[J]. Med Sci Sports Exerc, 1998, 30(9):1419—1423.
- [3] Flynn TW, Connery SM, Smutok MA, et al. Comparison of cardiopulmonary responses to forward and backward walking and running[J]. Med Sci Sport s Exerc, 1994, 26(1):89—94.
- [4] Clarkson E, Cameron S, Osmon P, et al. Oxygen consumption, heart rate, and rating of perceived exertion in young adult women during backward walking at different speeds[J]. J Orthop Sports Phys Ther, 1997, 25:113—118.
- [5] Chaloupka EC, Kang J, Mastrangelo MA, et al. Cardiorespiratory and metabolic responses during forward and backward walking[J]. J Orthop Sports Phys Ther, 1997, 25(5):302—306.
- [6] Pearson KG. Common principles of motor control in vertebrates and invertebrates[J]. Annu. Rev Neurosci, 1993, 16:265—297.
- [7] Grillner S. Control of locomotion in bipeds, tetrapods, and fish. In: Handbook of Physiology[M]. Bethesda, MD: Am. Physiol. Soc, 1981, II, 1179—1236.
- [8] Grasso R, Bianchi L, Lacquaniti F. Motor patterns for human gait; backward versus forward locomotion[J]. J Neurophysiology, 1998, 80(4):1868—1885.
- [9] Laufer Y. Effect of age on characteristics of forward and backward gait at preferred and accelerated walking speed[J]. J Gerontol A Biol Sci Med Sci, 2005, 60:627—632.
- [10] 瓮长水, 王军, 潘小燕, 等. 倒退步行平板训练对脑卒中患者下肢功能的影响[J]. 中华医学杂志, 2006, 86(37):2635—2638.
- [11] Yang YR, Yen JG, Wang RY, et al. Gait outcomes after additional backward walking training in patients with stroke: a randomized controlled trial[J]. Clin Rehabil, 2005, 19(3):264—273.
- [12] 吕晓梅, 赵焕彬, 张海涛. 健身反向走的生物力学分析[J]. 中国体育科技, 2008, 44(4):139—143.
- [13] Thorstensson A. How is the normal locomotor program modified to produce backward walking?[J]. Exp Brain Res, 1986, 61(3):664—668.
- [14] Winter DA, Pluck N, Yang JF. Backward walking: a simple reversal of forward walking?[J]. J Mot Behav, 1989, 21(3):291—305.
- [15] Masumoto K, Takasugi S, Hotta N, et al. A comparison of muscle activity and heart rate response during backward and forward walking on an underwater treadmill[J]. Gait Posture, 2007, 25(2):222—228.
- [16] Flynn TW, Soutas-Little RW. Mechanical power and muscle action during forward and backward running[J]. J Orthop Sports Phys Ther, 1993, 17(2):108—112.
- [17] 曹利民. 磁极针、手法加倒走治疗腰椎间盘突出症120例临床观察[J]. 针灸临床杂志, 2004, 20(5):38—39.
- [18] 王良兴. 针刺、牵引结合倒走锻炼治疗腰椎间盘突出80例[J]. 福建中医药, 2010, 41(3):37.
- [19] Nilsson J, Thornstenson A, Halbertsma J. Changes in leg movements and muscle activity with speed of locomotion and mode of progression in humans[J]. Acta Physiol Scand, 1985, 123:457—475.
- [20] Devita P, Stribling J. Lower extremity joint kinetics and energetics during backward running[J]. Med Sci Sports Exerc, 1991, 23(5):602—610.
- [21] 张胜年, 林中宝, 袁咏虹, 等. 背向行走训练对老年人静态平衡能力及步态的影响[J]. 中国运动医学杂志, 2008, 27(3):304—307.
- [22] Threlkeld AJ, Horn TS, Wojtowicz G, et al. Kinematics, ground reaction force and muscle balance produced by backward running[J]. J Orthop Sports Phys Ther, 1989, 11(2):56—63.
- [23] Flynn TW, Soutas-Little RW. Patello-femoral joint compressive forces during forward and backward running[J]. J Orthop Sports Phys Ther, 1995, 21(5):277—282.
- [24] 郝卫亚, 陈严, 胡水清. 儿童倒走足底压力的分布特征研究[J]. 力学与实践, 2008, 30(3):56—59.
- [25] 赵焕彬, 霍洪峰, 张静, 等. 老年人健身背向走的足底压力与步态特征[J]. 中国康复医学杂志, 2010, 25(5):435—438.
- [26] 李海, 周安艳, 黄东锋, 等. 痉挛型脑瘫儿童步行时的动态足底压力特征[J]. 中国康复医学杂志, 2007, 22(1):44—47.
- [27] 高军艳, 李树屏. 糖尿病患者足底压力研究进展[J]. 中国康复医学杂志, 2009, 24(9):861—864.

·综述·

## 我国传统音乐治疗的临床应用进展

李航<sup>1</sup> 胡春雷<sup>1,2</sup>

作为我国传统的怡情养性和养生之法,音乐治疗现已成为一门集音乐、医学和心理学为一体的综合性学科,是音乐跨越传统的艺术审美领域,与人本精神和生命科学相结合的新发展。国外早已将其作为一种治疗方法而广泛应用于精神病医院、老年疗养院和儿童特殊教育部门中,而目前音乐疗法也正逐渐成为我国临床医学界和心理学界备受关注的

研究课题。现将近年来关于我国传统音乐治疗的现代应用方法和临床研究进展作一综述。

### 1 我国传统音乐治疗的现代应用方式

#### 1.1 感受式治疗

感受式治疗以欣赏音乐为主,为目前国内应用最广泛的

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2011.10.028

1 杭州市和睦医院中医科,310000; 2 通讯作者

作者简介:李航,男,主治医师; 收稿日期:2010-01-21