

人跑的动力再分析

邓学明

(浙江科技学院 理学院,杭州 310023)

摘 要: 从力学的角度上看,推动人体质心移动的直接动力一定是外力,外力包括各具特点的切向摩擦力和法向弹力。跑动是由引发外力的人体内力在起作用;在引发跑动外力的各种人体内力中,与髋关节相关的肌肉群的影响最大,是最主要的动力群。要提高跑的成绩,应重视髋关节的柔韧性和灵活性锻炼,强化与髋关节相关的肌群的力量。

关键词: 跑;动力;内力;外力;髋关节

中图分类号: O313.2;G804.63

文献标志码: A

文章编号: 1671-8798(2013)03-0176-04

Analysis of motive force in running

DENG Xueming

(School of Sciences, Zhejiang University of Science and Technology, Hangzhou 310023, China)

Abstract: From the point of view of mechanics, it must be external forces to make people running as direct power, which includes normal elastic force and tangential friction force. In running, it is internal force that causes external forces to work. Of all kinds of internal forces, muscle group connecting with hip joints is the most important. To improve the result of running, we should emphasize to take some exercises on flexibility and muscle strength of hip joints.

Key words: running; motive force; internal force; external force; hip joints

大学力学理论已臻完善,但将其应用于具体的现实的人体运动中仍困难重重。当今男子百米短跑的世界记录是 9 s 58,而中国男子百米短跑记录仍未突破 10 s 大关。国内研究跑动的很多,主要是从训练的角度来分析跑动,而从力学的角度上分析跑动的却很少。本研究将大学力学知识应用于人们常见的运动——跑动,并且通过分析人跑动的动力来源来指导人们在跑动中如何合理发力,因而具有较强的现实意义。

收稿日期: 2013-01-03

基金项目: 浙江省教育科学规划研究课题(2013SCG064)

作者简介: 邓学明(1969—),男,黑龙江省虎林人,讲师,硕士,主要从事应用力学理论与实践的研究。

1 推动人体质心移动的直接动力一定是外力

推动人体质心移动的直接动力一定是外力。所谓外力,这里指作用于人体而施力物是人体以外物体的力。质点系的质心运动定律^[1]告诉人们,使系统质心产生平动加速度的一定是外力作用,这一规律依然适用于人的跑动^[2]。在分析跑动中,有些人从能量的转化与转移伴随着力做功的角度,强调人跑动的能量来自身体内而非身体外,因而认为人体内力是直接动力而非接触力。从力学的角度上说,这种观点是不对的。没有外力作用,系统质心不会有加速度,内力再大,对跑动的也是没有意义的。内力的直接效果是改变人体各部分之间的相对位置。研究跑动的动力,分析外力是必要的。

2 外力包括各具特点的切向静摩擦力和法向弹力

推动人体跑动的外力有切向静摩擦力和法向弹力,特点如表1所示,实际常常表现为合力。

表1 推动人体跑动的弹力与静摩擦力特性比较

Table 1 Characteristic comparison of elastic force and static friction force which push body running

外力	产生条件	力的大小	力的方向	力的持续时间
弹力	1)接触 2)弹性形变	可以很大,和形变有关	方向性要差一些,通常其分量有贡献	有效的弹力持续时间相对较短
静摩擦力	1)接触 2)有压力参与 3)有相对运动趋势	不会太大,最大时仅比滑动摩擦力略大	作为动力时,方向性好	相对较长

人跑动的直接动力是脚与地面接触形成接触力。接触面会因为鞋底面与地面的软硬不同而形成不同的接触面,但相对接触面,接触力均可分为法向的弹力和切向的静摩擦力,平行地面向前的力才对跑动有贡献^[3]。冰面上之所以难以跑快是因为向前的静摩擦力太小,跑的动力不足。

接触力作用点相对人体质心的位矢轨迹变化可以分为径向变化和横向变化,接触力作用点与人体质心的距离变化为径向变化,与径向垂直的变化为横向变化。径向变化往往引起弹力改变,而横向变化往往引起摩擦力变化。人用力蹬离地面是接触地面的末端做伸长形变的扩张性运动(接触力点相对质心的距离变大的运动),而落地缓冲是末端做收缩形变的收缩性运动(接触力点相对质心的距离变小的运动)。跑步是人体末端做周期性扩张运动与收缩性运动,扩张性运动与收缩性运动交替进行^[3],这类似弹簧振子的振动形变。接触面上的弹力作为驱动力具有力量可以很大的优点,但是由于其方向性要差一些而效率不够高。

当人体接触地面的末端不做明显的扩张性运动而相对地面向后摆动时,接触力作用点的位矢为横向变化,这就像汽车的驱动轮通过地面对其产生的静摩擦力来驱动汽车^[4]一样,地面对人体的静摩擦力推动人体向前运动。静摩擦力作为驱动力具有方向性好、作用时间较长等优点,但是静摩擦力是被动力,是受接触面间相对运动趋势的大小限制的,其最大值和接触面间的正压力成正比。实际上,静摩擦力存在时,因仍存在相对运动而使接触面发生微小变化^[5]。

其实,在讨论跑动力时,经常过于强调弹力的作用而忽视了静摩擦力的作用^[6],过于强调腿的后蹬而忽视了腿的后摆^[7],强调股四头肌和腓肠肌的作用而忽视了臀大肌和股二头肌的作用^[8]。关于弹力与静摩擦力,既要重视跑动中的弹力作用,也要重视跑动中的静摩擦力作用,在弹力和静摩擦力之间保持必要的张力。

3 跑动是由引发外力的内力作用的结果

人跑动的直接动力是外力,人跑动获得的动能归根结底是来自人体内力做功,那么外力与人的内力有何关系?

使人跑起来的外力是人体内力引发的外力,系统的“内力引发外力”机制是系统自主活动的基础。人

的跑跳,鱼儿的水中游来游去,鸟儿的空中飞翔,动物的捕食活动等都是系统的自主活动,都是系统“内力引发外力”的活动表现^[3]。只承认引起外力的内力是动力,却不承认外力是直接动力^[9],这是不对的。

内力如何引起外力?系统内力不改变系统的质心位置^[1],内力作用的过程中使得外力的产生具备了条件从而引起了外力,外力使系统质心的位移发生改变。

例如,人可以通过一条腿的摆动来增大另一条与地面接触的腿对地面的支撑作用^[10]——被动发力。人摆动腿的加速前摆引起人体质心前移,从而改变人体质心的加速度。由于在没受到外力时,系统质心总保持其静止或匀速直线运动状态,人体的其他部分就会有意识或无意识地调整而使质心的运动状态不变。其中一种调整就是人体的另一条腿向后蹬地,从而对地施加更大的作用力;反过来,地对人就施加了更大的反作用力。人的一条腿前摆会引起另一条腿的积极后蹬,这是内力引起系统质心不变性的一个表现。当人站在磅秤上加速向前上方摆腿就会看到磅秤的示数瞬时增大。

质点系的运动规律告诉人们,代表质点系整体位置的质心位矢 $\vec{r}_c = \sum_{i=1}^n \frac{m_i}{m} \vec{r}_i$, 其中质点系总质量为 $m' = \sum_{i=1}^n m_i$, 只是某一个质点的位矢变化了,质心的位矢必然会改变。质心的位置,随构成质点系的各个质点的位置不同而不同,当系统的状态发生变化时,往往质心的位置也发生变化,这对探究系统质心速度变化带来了不小的困难,也就是说某些实验测试的人体质心在缓冲阶段还存在加速现象^[11]可能是质心定位不准造成的。

对质点系所有质点应用牛顿运动定律并求和,可得 $\vec{F}^{\text{ex}} = \sum_{i=1}^n m_i \vec{a}_i$, 其中 \vec{F}^{ex} 为系统受到的合外力;又由质点系质心运动定律 $\vec{F}^{\text{ex}} = m' \vec{a}_c$ ^[1] 得,质心的加速度为 $\vec{a}_c = \sum_{i=1}^n \frac{m_i}{m} \vec{a}_i$ 。从中可以看出,只是一个质点的加速度发生了改变,系统质心的加速度必然会发生改变,必然存在引起质心加速度发生改变的合外力变化。

当内力引起质点系某个质点产生加速度,质心的加速度就要改变;由于在没有受到外力时,质心的加速度保持不变,于是质点系内部就进行调整。质点系在调整的过程中如果和外界接触,就会对与其接触的外界产生力的作用,由作用力和反作用力关系可知,被接触的外界就对质点系产生了反作用,即外界对质点系质心产生了力的作用,质心有相对应的加速度而运动状态发生改变^[3]。

这也可以很好地解释人是怎么运动的。人体直接通过肌肉的收缩与舒张(内力)引起各关节的运动,运动的关节与和人体接触的外界发生作用,受到作用的外界对人体施加反作用(外力),外界的反作用(外力)引起整个人体的运动。

4 关注与跑动相关的大关节大肌肉群中的内力作用

人跑步中引起外力的内力活动有人的摆臂、髋关节的屈伸(大腿的前后摆动与髋腰缓冲)、膝关节的屈伸(蹬摆小腿)、踝关节的屈伸等^[12-14]。也就是说,人的摆臂、髋关节的屈伸、膝关节的屈伸、踝关节的屈伸等都是动力,都能引起接触面上的静摩擦力与弹力,从而推动人的质心平动。

在众多引起外力的内力环节中,髋关节的屈伸是需要特别重视的^[15-19]。如果人的摆臂、髋关节的屈伸、膝关节的屈伸、踝关节的屈伸是人体跑动的发动机,那髋关节的屈伸就是主发动机。摆动腿时,优秀田径运动员髋关节最大功率能达到 4.1 kW,膝关节最大功率只达到 2.5 kW;而蹬地阶段髋关节功率为 0.64 kW,膝关节为 0.72 kW,这也说明了髋关节的屈伸就是主发动机^[20-21]。加强髋关节的柔韧性与灵活性和与髋关节屈伸相关的臀大肌与髂腰肌就是加强主发动机。

从人体和谐运动是大关节带动小关节、大肌肉群带动小肌肉群的全身性运动原则^[14]看,内力高效引发外力的发力的顺序,一般是从人体的总质心近端大肌群发力开始到远端小肌群用力终止,从近端的大关节开始到远端的小关节终止。大肌群相当于大发动机,小肌群相当于小发动机,大发动机带动小发动

机,大肌肉群带动小肌肉群,这样才和谐而高效。人体远端的血液循环不如近端,正因为如此,冬季脚趾、耳朵等远离心脏的末端容易冻伤。大肌肉群比小肌肉群血液循环好、体积大、力量大,大肌肉群比小肌肉群更抗疲劳、更抗劳损,要跑取得好成绩就要重视臀大肌与髂腰肌等大肌群力量的发挥;髋关节这一大关节牢固且稳定性高,要减小内部摩擦阻力就要在跑动练习中加强髋关节的柔韧性与灵活性练习^[22]。髋关节屈伸速度的大小是加快身体质心前移的关键环节^[23]。

2012年北京国际马拉松,女子组贾超风夺冠,贾超风在利用髋关节大肌肉群抗疲劳方面做得非常好,值得学习。

当然,仅注重使用某一动力,身体的这一动力部分是容易疲劳的,跑动时交替侧重不同的动力部分(摆臂、髋关节的屈伸、膝关节的屈伸、踝关节的屈伸)可延缓整个身体疲劳的出现。

5 结 语

推动人体质心移动的直接动力一定是外力,外力包括各具特点的切向摩擦力和法向弹力。跑动是由引发外力的内力在起作用;与跑动相关各种内力中,与髋关节相关的肌肉群的影响最大,是最主要的动力群,应加强髋关节的柔韧性和灵活性,强化与髋关节相关的肌群的力量。

参考文献:

- [1] 马文蔚. 物理学[M]. 北京:高等教育出版社,2006:85-88.
- [2] 谢永文,胡耿丹. 对跑动力争鸣的剖析[J]. 中国体育科技,1999,35(1):41-43.
- [3] 邓学明. 跑步运动的力学探究[J]. 物理通报,2011(7):95-97.
- [4] 邓学明. 从汽车的启动看内力引起的外力做功[J]. 物理教师,2011,32(1):49.
- [5] 邓学明. 摩擦力锯齿模型探究[J]. 物理教师,2011,32(12):11-12.
- [6] 邓晓东,刘怀金. 短跑后蹬阶段的“动力”元素分析[J]. 田径,2012(11):18-19.
- [7] 何春刚,肖留根. 试析短跑的动力机制[J]. 南京工业职业技术学院学报,2003,3(4):97-98.
- [8] 栗香槐. 对短跑途中跑动力来源的分析[J]. 广州体育学院学报,1999,19(3):104-107.
- [9] 陈有源. 再谈跳跃的动力[J]. 武汉体育学院学报,1992(4):62-65.
- [10] 董广新. 短跑技术中支撑与摆动的辩证关系[J]. 体育学刊,2003,10(3):115-117.
- [11] 徐勤昌. 短跑缓冲技术之研究[D]. 济南:山东师范大学,2001.
- [12] 狄风岗. 跑的动力来源[J]. 体育科技,1980(1):44-52.
- [13] 田稼禾. 短跑着地缓冲技术的生物力学再认识[J]. 长春理工大学学报:社会科学版,2006,19(4):111-113.
- [14] 刘海军. 短跑途中跑动力来源论的对比研究[J]. 辽宁体育科技,2007,29(2):24-25.
- [15] 岳新坡. 积极送髋技术在短跑中的重要作用[J]. 田径,2005(10):46-47.
- [16] 陈晓婉. 试论髋部动作在跑步运动中的重要性[J]. 湖北体育科技,2012,31(4):491-492,421.
- [17] 方儒钦. 髋部肌群对跑速的作用研究[J]. 解放军体育学院学报,2004,23(3):60-62.
- [18] 陈显友. 对短跑途中跑髋关节的研究[J]. 四川体育科学,2001(4):33-35.
- [19] 李玉莲,刘兴. 提高髋关节力量在短跑运动中的作用及方法[J]. 吉林省教育学院学报:学科版,2010,26(9):127-128.
- [20] 熊丽华,曾强毅. 现代短跑摆腿技术的分析及训练手段设计[J]. 体育学刊,2003,10(4):116-117.
- [21] 刘珂铭. 论短跑技术中的支撑与摆动[J]. 长沙大学学报,2010,24(2):124-126.
- [22] 刘子水. 送髋之商榷[J]. 阴山学刊:自然科学版,2008,22(2):62-64.
- [23] 董广新. 对短跑途中跑动力的再认识[J]. 四川体育科学,2004(1):53-54,68.