



(2) 同一功能群不同关节角度下的肌力差异: 肌肉每一功能群在不同关节角度下肌力都存在其差异性, 这种差异性若因训练或“废用”所致差异过大, 会诱发运动伤害的发生。

(3) 不同功能群之间的肌力差异: 身体的每一关节都有多组肌群配布, 运动链的每一运动机能都是不同功能肌群的协同有序活动来实现的。因此, 不同功能群因训练或“废用”所致肌力差异性过大, 则会加大肌肉损伤风险。

### 3.4 力量与其它素质的内在联系

人体各类身体素质之间是相互影响与制约的, 形成人体的身体素质的统一体。

## 4 运动性肌肉损伤与修复

损伤是指身体组织遭受的损害(由身体以外伤害引起的), 运动损伤则是指在体育运动中所发生的各种身体组织的损害, 它的发生与运动训练安排、运动项目与技术动作、运动训练水平、运动环境与条件等因素有关。

### 4.1 肌肉损伤的结构——功能“缺陷论”

健美运动员在其训练中主要内容是肌纤维的增粗问题, 也就是主要训练的是收缩成份。能否让健美运动员跑百米、推铅球、掷标枪呢? 让健美运动员做这类项目最容易发生的问题就是肌肉拉伤。其主要原因就是, 健美运动训练中, 肌肉的收缩成份与连接成份在其结构与功能上的不适应。健美运动员在展示肌肉轮廓时, 虽然也要积极主动收缩, 但他所承受的外在负荷比较小, 当承受较大的外载负荷并进行大强度运动时, 肌肉结构成份的功能不适应性也就是“缺陷”

问题就表现出来。

损伤肌肉内部分结构性变化所致受力时应力分布特征的改变是导致肌肉重复性损伤的主要结构性基础。肌肉是空间的几何结构, 收缩的力量依赖于连接结构完成力的传递。损伤后的肌肉在其结构的变化, 尤其瘢痕组织修复的肌肉, 内部组织连续性上缺陷、瘢痕纤维组织与正常肌肉及连接组织在承载能力上差异、以及由于瘢痕的存在, 导致正常连接组织分布上不均衡, 以致受力过程中, 出现力量传递方面的不均衡, 出现应力分布上的集中现象。这是损伤肌肉再损伤的高频度发生的重要原因。

### 4.2 肌肉损伤的力学观

从力学角度上讲, 运动损伤缘于力的作用, 作用于机体的力的特征及其相关因素是决定损伤可能性和严重程度的基本因素; 从肌肉组织本身来讲, 负荷的过载与过用都会导致肌肉损伤的发生。因此, 影响肌肉损伤的基本力学因素具体可总结为以下几个方面: 1) 力的大小, 2) 力的方向, 3) 力的作用时间, 4) 力的作用频率, 5) 力作用的变化率。

### 4.3 肌肉伤后的修复

损伤造成机体部分细胞组织丧失后, 机体对所形成缺损进行修补恢复的过程, 称为修复, 修复后可完全或部分恢复原组织的结构和功能。修复可分为两种不同的过程及结局: (1) 由损伤部周围的卫星细胞来修复, 称为再生, 如果完全恢复了原组织的结构及功能, 则称为完全再生; (2) 由纤维结缔组织来修复, 称为纤维性修复, 由于修复中形成瘢痕, 故也称瘢痕修复。拉伤肌肉的修复结局受制于肌肉损伤程度和肌肉伤处理等因素。

# 生物力学在确定膝关节前交叉韧带损伤危险因素中的应用

刘 卉<sup>1</sup>, 于 冰<sup>2</sup> (1. 北京体育大学运动人体科学学院; 2. 美国北卡罗来纳大学人体运动科学研究中心)

**关键词:** 前交叉韧带; 损伤; 生物力学

中图分类号: G804.6

文献标识码: A

文章编号: 1006-1207(2010)06-0015-01

## Application of Biomechanics in Determining the Dangerous Factors of Knee Anterior Cruciate Ligament Injury

LIU Hui (Sport Science College, Beijing Sport University)

Key words: ACL; injury; biomechanics

膝关节前交叉韧带 (Anterior Cruciate Ligament, ACL) 是膝关节4个主要韧带之一。其主要功能是限制胫骨的前移, 在膝关节伸展时防止膝内外翻, 并与后交叉韧带共同调整膝关节的旋转复位。

### 1 前交叉韧带损伤概述

近年来随着参加体育运动人数的增加, 运动损伤的发病率逐年提高, 而膝关节前交叉韧带是运动损伤中最为常见的

严重运动损伤之一。例如美国每年接受前交叉韧带重建手术的人数从1999年的17.5万多例增加到2006年的40万例。大多数前交叉韧带损伤是非接触性损伤, 也就是说损伤发生时运动员间并未发生身体接触, 这表明绝大多数前交叉韧带损伤是可以预防的。

前交叉韧带损伤的发病率具有明显的性别和年龄特点。研究表明女青年前交叉韧带损伤发病率显著高于男青年。处于16~18岁的青少年是前交叉韧带损伤率最高的群体, 尤其



是这一年龄段的女性。青少年前交叉韧带损伤比成年人的损伤对身心健康更具破坏性。

前交叉韧带损伤严重影响患者的运动水平和生活质量。国内对前交叉韧带损伤的运动员调查表明,53%运动员的训练和生活受到不同程度的影响。而且,前交叉韧带损伤将造成膝关节不稳,进而导致许多慢性的膝关节疾病,包括半月板和软骨表面损害以及骨关节炎。

## 2 ACL损伤危险因素的研究概述

确定前交叉韧带损伤机制和危险因素是预防前交叉韧带损伤至关重要的第一步。只有确定了危险因素,才有可能建立有效的手段预防损伤。从力学角度来说,前交叉韧带损伤是由于前交叉韧带承受过大的拉力。前交叉韧带无接触性损伤一般是因为膝关节受到了患者自身产生的较大的力或力矩,从而使前交叉韧带的受力超过了其极限负荷能力。

多数对ACL受力的研究表明:胫骨近端所受的向前剪切力是导致前交叉韧带所受负荷的主要因素,在此作用下,膝关节的内外翻力矩和内旋力矩也会增加前交叉韧带受到的负荷。依照这些前交叉韧带负荷机制,较小的膝关节弯曲角,较大的股四头肌收缩力,或者较大的地面反作用力将增加前交叉韧带的负荷。但最近一份来自Hewett的流行病学研究报告表明,在垂直跳跃运动中,处于外翻状态的膝关节所受的外翻力矩容易造成前交叉韧带损伤。

## 3 ACL损伤危险因素的随机生物力学研究方法

目前对前交叉韧带损伤危险因素的研究多采用流行病学中对病因的两种研究方法:对照法和跟踪法。采用对照法时,研究者对比已受伤受试者和健康受试者之间在动作形式和ACL受力上的差别。采用跟踪法时,研究者首先获得要跟踪人群受伤前运动形式的数据,然后要花较长时间跟踪这一人群,直到其中出现了一定数量的损伤个案。通过对比这些损伤个案损伤前动作形式与未损伤者动作形式的差别来确定致伤的危险因素。这两种方法均采用统计分析的方法,通过对有损伤的实验对象和无损伤的实验对象的对比确定与损伤相关的因素,在确定前交叉韧带损伤危险因素的研究中都有很大局限性。采用对照法时,确定有损伤实验对象损伤前的技术动作特征十分困难,且数据质量很难保证。采用跟踪法时,需要大量的人力采集数据,非常昂贵。采用两种方法所得结果都是描述性的,不能定量确定损伤危险因素与损伤之间的因果关系,而且有误解结果的可能。而且,两种方法不能预测发生损伤的危险,无法在临床实践中使用。

随机生物力学模型是确定人体运动概率结果和影响因素的工具之一,是确定骨骼肌肉系统损伤机制和危险因素的一个有效研究方法。应用随机生物力学模型时,首先根据人体骨骼肌肉系统的生物力学特点将所研究的结构(如韧带)的受力表达为一组生物力学参数的函数,然后通过活体实验在

无损伤情况下测量并估算这些生物力学参数的分布状态以及可能造成损伤的极限值。在已知每个生物力学参数分布状态的情况下,运用蒙特卡罗模拟的方法,在每个生物力学参数分布范围内反复随机采样计算结构受力。每次结构受力满足损伤定义的模拟被记为一例损伤。由于随机生物力学模型建立起了随机生物力学参数与结构受力的力学关系,蒙特卡罗模拟结果直接建立起生物力学参数与损伤概率的因果关系。随机运动生物力学模型方法已经成功地应用于某些损伤预防的研究中。Lin等使用这一方法预测了男女受试者ACL损伤危险概率,并预测了男女受试者急停起跳动作导致ACL损伤的危险因素。

采用随机生物力学方法研究ACL损伤危险因素,首先要根据膝关节力学结构以及文献中大量尸体和活体实验结果建立ACL受力的生物力学模型,这个模型将前交叉韧带负荷表示为地面反作用力、膝关节曲角,足底压力中心相对踝关节中心的水平距离、踝关节距地面高度、小腿长度、小腿倾角、股后肌群和小腿三头肌收缩力以及膝关节内收外展和旋内旋外力矩的函数。

前交叉韧带的瞬时最大负荷出现在人体受到最大地面冲击力时刻。因此,采用蒙特卡罗模拟技术模拟在人体受到最大地面冲击力时前交叉韧带的负荷,并以该负荷超过前交叉韧带强度的概率代表前交叉韧带损伤的概率。实际研究中首先通过实验获得所有实验对象前交叉韧带受力的生物力学模型中所有自变量在测试动作中最大地面冲击力时的值,然后根据实验数据将每一自变量的密度分布表示为正态或Gamma分布,并应用数据拟合方法检验理论计算的密度分布与实验数据的相似度。在确定了每个自变量的数据分布形式后,即可确定相应的密度分布累计方程,该方程自变量为累计概率,其变化范围从0到1。

在蒙特卡罗模拟的每一次循环中,各自变量的随机抽样由一个计算机随机数发生器来执行。随机数产生的范围也是从0到1。将此随机数带入相应自变量的密度分布累计方程确定相应自变量的值之后,前交叉韧带的负荷峰值便可计算获得。这一过程将在每一次蒙特卡罗模拟中重复100 000次。如模拟过程中女性前交叉韧带负荷超过1 800 N,男性超过2 250 N,则记录为一次前交叉韧带损伤。研究可对每组受试者进行10次蒙特卡罗模拟,记录每次模拟循环中估算的前交叉韧带最大负荷以及所有自变量的值,最后计算前交叉韧带损伤概率的平均值和标准差,并通过比较模拟的受伤动作和非受伤动作各自变量的值确定前交叉韧带损伤的危险因素。

显然,与传统的病因学方法相比,使用随机生物力学模型方法及蒙特卡罗模拟技术对前交叉韧带损伤机制和危险因素进行全面的生物力学定量分析可以在无损伤情况下确定损伤概率和危险因素,具有研究费用低,使用人力少,获得结果快,因果关系清楚的特点。