

## 肌肉拉伤的临床和基础理论研究

### The Clinical and Basic Theory of Muscle Strain Injury

侯曼<sup>1</sup>, 侯佳<sup>2</sup>

HOU Man<sup>1</sup>, HOU Jia<sup>2</sup>



**摘要:** 肌肉拉伤是运动损伤中的常见病, 在临床上认为, 大多数肌肉拉伤是由于肌肉性质改变造成的局部损伤, 可以诊断出损伤的位置, 多发生于靠近肌肉—肌腱连接处的肌纤维。生物力学研究表明: 当肌肉受到的拉伸力大于其最大等长收缩力时将会引起损伤。比较肌肉在被动拉伸和有神经刺激收缩的主动拉伸时发现, 在损伤时拉伸力有小量增加, 应变没有变化, 但吸收能量的能力却有很大的变化。实验还证实了肌肉的粘弹性。这些研究成果说明: 肌肉吸收能量的能力和粘弹性的改变对于预防肌肉损伤是非常重要的。

**关键词:** 肌肉; 拉伤; 临床; 理论

**Abstract:** The muscle strain injury is usually cited as the most frequent injury in sport. Clinical studies suggest that most injuries cause partial disruption of certain characteristics muscle. Diagnostic imaging studies can demonstrate the location of many injuries. They are occurred susceptible muscle fibers near muscle-tendon junction. Biomechanical studies show that muscle failure occurs at force much larger than maximal isometric force, stretch is necessary to create injury. Comparing to the passively stretched muscle, muscle activated by nerve contraction and stretched to failure attains a small increase in force at failure, no change in strain to failure, and large increase in energy absorbed prior to failure. Experiments also confirm visco-elastic properties of muscle. These results may be important in understanding how muscle injury might be prevented.

**Key words:** muscle; strain; clinic; theory

中图分类号: G804.53 文献标识码: A

人骨骼肌的损伤有很多种类型, 如受到直接的外力打击受伤、因频繁用力引起的疲劳损伤等等。而肌肉拉伤是由于肌肉产生了很大的应变或者说是被过度拉长造成的。从临床意义上讲, 由于应变过大引起的肌肉损伤也属于运动损伤的范畴, 而且, 在运动损伤中出现的比率相当高。但是, 人们对于它并没有给予足够的重视。直至近十几年, 对肌肉拉伤的临床和基础理论研究才有了较大的发展, 找出了引起肌肉拉伤的功能性的、生理的以及生物力学方面的原因, 对肌肉拉伤的预防治疗起到了非常重要的作用。

#### 1 肌肉拉伤的临床研究

##### 1.1 损伤的机制

在临床上, 对于肌肉损伤后的症状有大量的报道, 但有科学数据的相对较少。大多数人认为, 不论是被动受力还是主动收缩, 在肌肉离心收缩的时候最常发生肌肉拉伤<sup>[1][2]</sup>。因为, 肌肉主动收缩时产生的力要比肌肉等长收缩或被动受力时产生的力大得多, 也就是说, 等长收缩或者被动受力时所产生的力是由被动组织或者说是肌肉的连接组织产生的, 它只是肌肉主动收缩力的一部分<sup>[3][4]</sup>。然而, 由于肌肉—肌腱的被动力常常限制一些关节的运动范围, 如果关节的运动范围过大, 引起肌肉过度拉伸将会引起肌肉损伤, 这与离心收缩时肌肉的功能有关。

哪些肌肉容易出现拉伤呢? 运动医学文献显示: 有些肌肉, 如双关节肌和多关节肌, 即跨过 2 个或多个关节的肌肉

发生拉伤的几率要高于其它肌肉。因为, 它们的能力限制了关节的运动范围<sup>[5]</sup>。例如腓绳肌, 当髋关节屈的时候就限制了膝关节伸; 同样, 腓肠肌在膝关节伸时限制踝关节屈, 这些关节在生理范围内运动时, 使相应的肌肉被动拉紧, 由于这些肌肉的特性所限, 如果采用离心收缩的方式使用便会增加损伤的危险<sup>[6][7][8][28][29][30]</sup>。

肌肉拉伤常见于短跑运动员或者是从事需要快速奔跑的运动项目的人, 如橄榄球、足球、篮球等项目<sup>[1]</sup>。属 II 型或者是快肌纤维受伤的百分比相对较高。而未端面积较大, 横跨 2 个或多个关节的肌肉中含快肌纤维的比例比较高, 因为在运动中需要这些肌肉的快速收缩<sup>[9]</sup>。

##### 1.2 肌肉拉伤后的结构变化

肌肉拉伤后, 肌肉的精确性质的变化临床上研究不多。

收稿日期: 2001-12-08; 修订日期: 2002-09-25

作者简介: 侯曼(1957-), 女, 天津人, 副教授, 硕士, 毕业于上海体育学院运动生物力学专业, 研究方向为运动生物力学, Tel: (010) 62208392, E-mail: houman@bnu.edu.cn; 侯佳(1973-), 女, 天津人, 助理工程师, 毕业于河北师范大学计算机科学系。

作者单位: 1. 北京师范大学 体育与运动学院, 北京 100875; 2. 河北师范大学 体育学院, 河北 石家庄 050016  
1. College of Physical Education and Sport, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 2. Physical Education College, Hebei Normal University, Shijiazhuang 050016, China

肌肉损伤的程度与肌肉的形态结构有一定的关系,如肌肉—肌腱的完全撕裂易发生于不对称的肌肉<sup>[10]</sup>。

在临床上,肌肉拉伤与因练习引起的肌肉疼痛的区别,是拉伤后患者能立刻感觉到受伤部位的局部疼痛、肿胀,练习引起的肌肉疼痛要在练习后 12~24 h 后才会出现<sup>[11]</sup>;拉伤的病理变化位置也不好确定,容易拉伤的部位是肌腹、肌肉—肌腱结合部和肌腱—骨结合部。肌肉拉伤后一般有出血,1 天或更长一点时间后出现皮下瘀斑。在出血部位采集的血样中,并没有发现肌肉组织。CT 检查发现,在损伤的肌肉内部有炎症或水肿<sup>[12]</sup>;另外,超声波检查发现,拉伤后出血的血肿部位在肌组织和周围的筋膜之间,而直接撞击产生的肌肉损伤出血部位在肌组织内<sup>[13]</sup>。

### 1.3 预防和处理

肌肉拉伤没有一定的规律,很难找到通用的方法预防和处理。肌肉拉伤与许多因素有关,如遗传因素就是其中之一,因为,肌肉中所含快、慢肌纤维的比例是与遗传有关的<sup>[14][15]</sup>。在剧烈运动前做好充分的准备活动是防止肌肉拉伤的一个非常有效的方法<sup>[10][15]</sup>。另外,疲劳是肌肉拉伤的一个隐患<sup>[30][31]</sup>。

肌肉拉伤后的处理方法很多,一般受伤后立刻进行的处理是让患者受伤部位休息、冷敷、压迫止血<sup>[1][10]</sup>。进一步处理包括一些物理治疗和药物治疗,治疗的药物有麻醉剂、止痛药、消炎药等。若伤势严重,如肌肉—肌腱结合部完全撕裂,则需要进行外科手术<sup>[16]</sup>。

## 2 肌肉拉伤的实验研究

1933 年,PAUL M. MASTER 对肌肉—肌腱部位拉伤但肌腱仍保持完整的情况进行了研究,这是对肌肉拉伤最早的研究之一<sup>[17]</sup>。GARRTT 等用电生理和生物力学技术对肌肉拉伤的机理做了很多的研究,他们以兔子后腿肌肉为实验标本,根据肌肉拉伤的起因,将实验分为被动拉伸(即肌肉没有主动收缩)和主动拉伸(即肌肉受到刺激主动收缩)两种<sup>[18][19]</sup>。

### 2.1 被动拉伸

用 5 种肌肉标本进行被动拉伸实验,这 5 种肌肉标本的肌纤维排列结构不同。在肌肉没有主动收缩的条件下,对肌肉的起始端或末端施加外力拉伸,应变率为 1 cm/m in、10 cm/m in 和 100 cm/m in,发现肌肉损伤始终出现在肌肉—肌腱的连接部位,通常是在末端。在被动拉伸时,肌纤维沿肌腱起点到与肌肉连接处的方向斜向排列,肌肉—肌腱连接区域被拉长直至肌腹,在肌纤维与肌腱的附着位置上,肌纤维的横截面积较大,其拉长通常只有 0.1~1 mm。在应变率为 50 cm/m in 时也得到了类似的结果<sup>[19]</sup>。

肌肉的电生理研究已经发现:肌肉的主动收缩力与肌肉的横截面积成正比,肌纤维的收缩能力与肌纤维的长度成正比。肌肉的生物力学性质告诉我们,肌肉力与其长度有关,但肌纤维的应变量很大,其变化范围为静止长度的 75%~225%。然而,实验发现,在肌纤维应变相对比较大的部位却没有拉伤<sup>[20]</sup>。

### 2.2 主动拉伸

在肌肉的被动拉伸和主动拉伸的实验中,除测量应变外还测量了肌肉的力和吸收的能量<sup>[21]</sup>。肌肉在 3 种条件下被拉伸至破坏,即强直收缩、次最大刺激和不刺激。结果出人意料,

各组在破坏前总应变没有不同;有刺激的肌肉应力仅略高 15%;而肌肉在被主动拉伸至破坏时所吸收的能量却高出近 100%。这些数据表明,肌肉吸收能量的能力在肌肉的抗拉伸能力中占有重要的地位<sup>[21]</sup>(图 1)。在被动拉伸时,肌肉也有吸收能量的能力,但与主动收缩时吸收能量的能力相比,主动收缩时吸收能量的能力要大得多。这个结果说明:当肌肉不能够抵抗一定的应力或应变时就会发生损伤,而肌肉对应力或应变的抵抗能力由肌肉在被破坏前吸收的能量来测定。

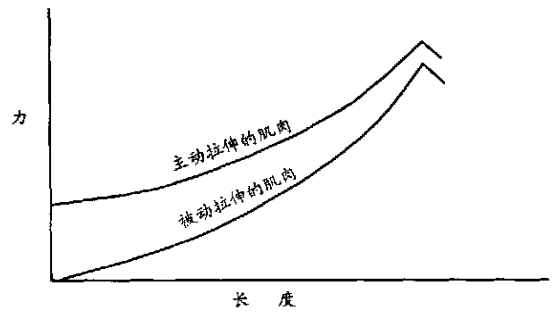


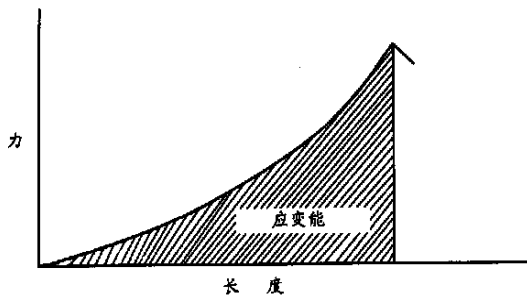
图 1 肌肉在主动拉伸和被动拉伸至破坏时力—长度曲线示意图

在力学计算中,应变能是应力—应变曲线下的面积(图 2)。它反映了吸收能量能力的两个分量,被动分量与肌肉活动无关,它只与肌肉内的连接组织有关,包括肌纤维膜、肌束膜、筋膜等等;另一个分量与肌肉的收缩能力相关,正是这个分量使肌肉收缩时吸收能量的能力大大提高。图 3 是以兔子的趾长伸肌为标本所做的实验,第 1 组是肌肉没有主动收缩时被拉伸至破坏时的应变能与肌肉在 64 Hz 刺激下主动收缩时被拉伸至破坏的应变能相比较,后者是前者的 2 倍;第 2 组是没有主动收缩的肌肉与在 16 Hz 刺激下收缩的肌肉被拉伸至破坏时的应变能的比较,两者也相差 1 倍;第 3 组是在次最大刺激频率 16 Hz 和强直收缩频率 64 Hz 刺激下肌肉被拉伸至破坏时的应变能比较,两者相近。侯曼用大白鼠腓肠肌—骨标本所做的被动拉伸实验也得到过相类似的结论,即受到刺激而收缩的腓肠肌在被拉伸至断裂时的应变能显著大于没有受到任何刺激就被拉伸至断裂的腓肠肌的应变能。此外,肌肉主动收缩力减小,其吸收能量的能力也要减小。**肌肉疲劳和虚弱是肌肉易发生损伤的因素,而疲劳和虚弱的反映就是主动收缩时能量吸收能力的减小**<sup>[31]</sup>。

### 2.3 不完全拉伤

在上述实验中,所采用的模型是将肌肉拉伸至破坏,即完全撕裂,而在实际生活中大多数的肌肉拉伤是部分的肌纤维损伤。因此,NIKOLAOU 等设计了不完全拉伤实验,以考察肌肉不完全拉伤后的生理和病理恢复<sup>[22]</sup>。实验对不刺激的肌肉进行拉伸,当肌肉的力—长度曲线的斜率不再线性时,表明肌肉结构发生了变化,此时的肌肉力为完全破坏肌肉所需力的 80%。

不完全拉伤的肌肉病理检查发现,此时仅在肌肉—肌腱连接处有小部分肌纤维损伤,纤维不是从整体的肌纤维上撕脱,而是与肌腱相连接处的肌纤维撕裂,极少见有肌纤维中部损伤的情况。肌纤维损伤后肌肉内有些出血,1~2 天内炎症反应显著,出现水肿,7 天左右在损伤区域附近纤维组织增加替代炎症反应。尽管有一些新生的肌纤维出现,但还没有完全恢复正常,还存在着伤痕组织。



力—长度曲线下面积为应变能

图 2 材料被拉伸至一定长度时在材料内产生的应变能示意图

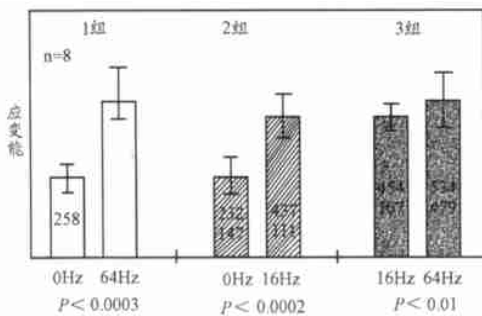


图 3 肌肉在不同条件下被拉伸至破坏时所吸收的能量直方图

肌肉收缩功能的恢复用它在神经刺激下能够产生的最大力来确定。在肌肉损伤前先测量肌肉的最大收缩力, 损伤后再立刻测量肌肉力, 发现仅能产生未损伤时力的 70%, 24 h 后为未损伤时的 50%, 7 天之后达到 90%<sup>[22]</sup>(图 4)。为更接近于临床情况, 在该实验过程中使用了非类固醇消炎药物<sup>[23]</sup>。实验证明, 肌肉收缩能力的恢复非常迅速, 但肌肉的抗拉伸强度却仅恢复到正常值的 77%。所以, 肌肉收缩能力和抗拉伸能力的恢复是不同步的, 如果以为肌肉收缩能力恢复则肌肉整体功能都恢复了, 而贸然恢复正常训练, 则在损伤的部位很容易产生新的损伤。

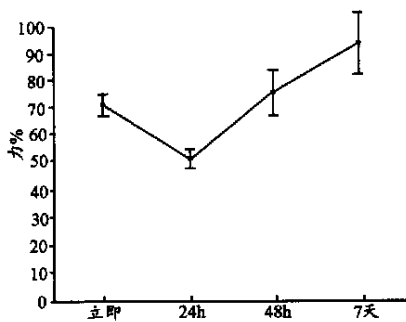


图 4 肌肉拉伤后收缩能力的恢复曲线图

#### 2.4 肌肉的粘弹性

研究肌肉的力学性质对找出预防损伤的方法是非常有意义的。用兔子的趾长伸肌做周期性的拉伸实验, 拉伸力为 1.96~78.4N, 保持拉力 30 s, 再恢复到初始状态, 重复 10 次, 发现肌肉的长度比初始测得的长度增加, 平均增加 3.45%<sup>[24][26]</sup>(图 5), 而前 4 次拉伸时的肌肉伸长增量就达到总伸长增量的 80%。这就是肌肉的粘弹性性质所致。由图 5 所示的曲线可知, 第 1 次拉伸与第 2 次拉伸所增加的长度有显著性差异, 同样, 第 3 次与第 4 次也有显著性差异, 但后 6

次拉伸之间就没有了显著性差异<sup>[24][26]</sup>。

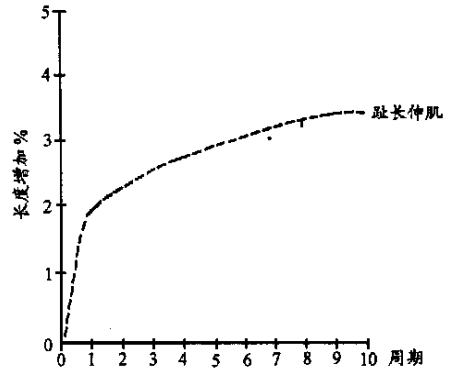


图 5 肌肉的粘弹性性质曲线图

对趾长伸肌做的第 2 个实验是将肌肉拉至静止长度的 10% 以上, 然后再回到静止状态。对每一个标本在相同长度下同样做 10 次。发现每次拉伸测得的力都在减小, 从第 1 次至第 10 次拉伸力共下降了 16.6%<sup>[25]</sup>(图 6)。在前 4 次拉伸中拉伸力之间有显著性差异, 而第 5~10 次之间差异没有显著性意义<sup>[25]</sup>。

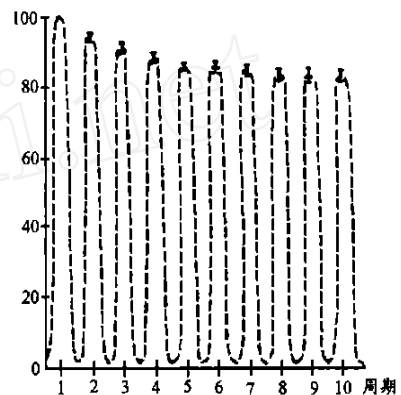


图 6 以相同长度周期性拉伸时肌肉所表现出的粘弹示意图

这些数据表明, 重复拉伸将导致肌肉—肌腱组织在给定长度上载荷下降, 实验模仿了一般运动时肌肉的拉长。也就是说, 对肌肉反复拉伸可以使给定长度上肌肉力下降, 或者是说, 在一定肌肉力时长度增加。这个性质是不受神经系统控制的。

如果用兔子的两条后腿的相对应肌肉分别采用其被破坏时所产生的最大力的 50% 和 70% 进行周期性拉伸实验, 做 10 次的拉伸后发现, 用 50% 的力拉伸的肌肉在破坏时长度显著增加, 而破坏力和吸收的能量都没有变化; 相反, 用 70% 的力做 10 次拉伸实验的肌肉, 大多数在 10 次完成之前就有了宏观可见的损伤, 剩余下来的肌肉在破坏时长度和力都没有变化。由此可见, 反复、持续的使用比较大的力拉伸肌肉发生损伤的危险极大。

#### 2.5 准备活动的作用

上述实验表明, 在正常范围内周期性地拉伸肌肉能够减小肌肉损伤的危险。除此以外, 还有实验证明, 肌肉受一个强直信号的刺激保持等长收缩状态 10~15 s, 肌肉内的温度提高近 1<sup>[27]</sup>。由于肌肉是粘弹性材料, 其力学性质对温度十分敏感, 温度提高可以使肌肉的强度、弹性系数、粘滞性改变, 吸收能量的能力提高, 降低损伤的危险。因此, 从生物力

学角度来说,准备活动通过给肌肉以反复、持续的拉伸和刺激,提高肌肉温度,改变了肌肉的粘弹性,从而可避免不必要的肌肉损伤。

### 3 结论

肌肉拉伤的临床和基础理论研究是近些年来运动医学专家和运动生物力学学者关注的课题。临床研究着重于拉伤的位置、性质、临床原因及预防,但限于条件,很难提供拉伤产生的本质性原因。而基础理论研究则通过对模型的研究发现拉伤产生的病理因素,观察拉伤的过程,找到引起拉伤的深层次的力学原因。随着对肌肉拉伤过程的进一步了解,人们将能够更有效地预防和处理这一运动损伤。

### 参考文献:

- [1]PETERSON L, P RENSTROM. *Sports Injuries: Their Prevention and Treatment*[M]. Chicago: Yearbook Med Publishers, William A. Grana(Ed.), 1986: 465.
- [2]ZARN S B, CULLO J V. Acute muscle and tendon injuries in athletes [J]. *Clin Sports Med*, 1983, (2): 167-183
- [3]STAUBER W T. Eccentric action of muscles: physiology, injury and adaptation [J]. *Exe Sport Sci Rev*, 1989, 17: 157-185.
- [4]ELFTMAN H. Biomechanics of muscle[J]. *J Bone Joint Surg*, 1966, 48A: 363
- [5]BREWER B J. Instructional Lecture American Academy of Orthopedic Surgeons[M], 1960, 17: 354-358
- [6]BOSCO C, MONTANARI G, TARKKA I, et al The effect of pre-stretch on mechanical efficiency of human skeletal muscle [J]. *Acta Physiol Scand*, 1987, 131: 323-329
- [7]CAVAGNA G A, KOMAEK L, MAZZOLEN I S. The mechanics of sprint running[J]. *J Physiol*, 1971, 217: 23-35.
- [8]MANN RA, HAGY J. Biomechanics of walking, running, and sprinting[J]. *Am J Physiol*, 1980, 8: 345-350
- [9]GARRETT W E, JR CALIFF J C, BASSETT F H. Histochemical correlates of ham string injuries[J]. *Am J Sports Med*, 1984, 12: 98-103
- [10]KREJCIV. KOCH P. Muscle and tendon injuries in athletes [M]. Chicago: Yearbook Med Publishers, 1979.
- [11]ARMSTRONG R B. Mechanisms of exercise-induced delayed onset muscular soreness: a brief review [J]. *Med Sci Sports Exe*, 1984, 16: 529-538
- [12]GARRETT W E, JR RICHFR, NIKOLAOU P K. Computed tomography of ham string muscle strains[J]. *Med Sci Sports Exe*, 1989, 21: 506-514
- [13]FORNAGE B, TOKUCHE D H, SEGAL P, et al Ultrasonography in the evaluation of muscular trauma[J]. *J Ultra-sound Med*, 1983 (2): 549-554
- [14]STANISH W D, HUBLEY-KOZEY C L. Separating fact from fiction about a common sports activity: can stretching prevent athletic injuries? [J]. *J Musculo-Skeletal Med*, 1984, 25-32
- [15]WIKTORSSON-MOLLER M, OBERG B, EKSTRAND J, et al Effects of warming up, massage, and stretching on range of motion and muscle strength in the lower extremity [J]. *Am J Sports Med*, 1983, 11: 249-252
- [16]MILLER W A. Rupture of the musculotendinous juncture of the medial head of the gastrocnemius muscle[J]. *Am J Sports Med*, 1977, 5: 191-193
- [17]MCMASTER P E. Tendon and muscle ruptures [J]. *J Bone Joint Surg*, 1933, 15: 705-722
- [18]GARRETT W E, JR SEABER AV, BOSWICK JM, et al Recovery of skeletal muscle after laceration and repair[J]. *J Hand Surg*, 1984, 9a: 683-692
- [19]GARRETT W E, JR ALMEKNDERS L, SEABER A V. Biomechanics of muscle tears in stretching injuries[J]. *Trans Orthop Res Soc*, 1984, 9: 384
- [20]HUXLEY A F, PEACHEY L D. The maximum length for contraction in vertebrate striated muscle[J]. *J Physiol*, 1961, 156: 150-165
- [21]GARRETT W E, JR SAFRAN M R, SEABER A V, et al Biomechanical comparison of stimulated and nonstimulated skeletal muscle pulled to failure [J]. *Am J Sports Med*, 1987, 15: 448-454
- [22]NIKOLAOU P K, MACDONALD B L, GLISSON R R, et al Biomechanical and histological evaluation of muscle after controlled strain injury[J]. *Am J Sports Med*, 1987, 15: 9-14
- [23]OBREMSKEY W T, SEABER A V, RBBECK B M, et al Biomechanical and histological assessment of a controlled muscle strain injury treated with Piroxicam [J]. *Trans Orthop Res Soc*, 1988, 13: 338
- [24]TAYLOR D C, SEABER A V, GARRETT W E JR. Repetitive stretching of muscles and tendons to a specific tension[J]. *Trans Orthop Res Soc*, 1985, 10: 41.
- [25]TAYLOR DC, SEABER A V, GARRETT W E JR. Response of muscle-tendon units to cyclic repetitive stretching[J]. *Trans Orthop Res Soc*, 1985, 10: 84
- [26]TAYLOR D C, DALTON J, SEABER A V, et al The viscoelastic properties of muscle-tendon units [J]. *Am J Sports Med*, 1990, 18: 300-309.
- [27]SAFRAN M R, GARRETT W E JR, SEABER A V, et al The role of warm-up in muscular injury prevention[J]. *Am J Sports Med*, 1988, 16: 123-129
- [28]HRELJAC A, MARSHALL R N, HUME P A. Evaluation of lower extremity overuses injury potential in runners[J]. *Med Sci Sports Exe*, 2000, 32: 1635-1641.
- [29]BROCKETT C L, MORGAN D L, PROSER U. Human hamstring muscles adapt to eccentric exercise by changing optimum length[J]. *Med Sci Sports Exe*, 2000, 32: 1635-1641.
- [30]NOSAKA K, NEWTON M. Concentric or eccentric training effect on eccentric exercise-induced muscle damage[J]. *Med Sci Sports Exe*, 2002, 34: 63-69
- [31]侯曼 骨骼肌被动拉伸时力学性质的研究[J]. *体育教学与科研*, 1986, (3): 60-65