

股直肌腱中1/3与前交叉韧带的生物力学比较*

朱行飞¹, 张新潮¹, 陈博²

Biomechanics of rectus femoris tendon versus anterior cruciate ligament

Zhu Xing-fei¹, Zhang Xin-chao¹, Chen Bo²

Abstract

BACKGROUND: Rectus femoris tendon is an important substitute of anterior cruciate ligament reconstruction.

OBJECTIVE: To compare the biomechanics of rectus femoris tendon and anterior cruciate ligament.

METHODS: The rectus femoris tendon and anterior cruciate ligament specimens were obtained within postmortem 9.0–10.0 hours by anatomy, and the specimens were wrapped by saline moistened paper towels immediately, then sealed and placed in a -20 °C refrigerator for storage. The specimens were removed from the refrigerator before experiment and each specimen was cut into two samples, 10 rectus femoris tendon specimens and 10 anterior cruciate ligament specimens in each group.

RESULTS AND CONCLUSION: The unit modulus of rectus femoris tendon was 63% of anterior cruciate ligament, the unit maximum load of rectus femoris tendon was 63% of anterior cruciate ligament. Rectus femoris tendon was suitable for anterior cruciate ligament substitute.

Zhu XF, Zhang XC, Chen B. Biomechanics of rectus femoris tendon versus anterior cruciate ligament. Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu. 2012;16(11): 1945-1947. [http://www.crter.cn http://en.zglckf.com]

摘要

背景: 股直肌腱已成为重建前交叉韧带的重要替代物。

目的: 比较股直肌腱中 1/3 和前交叉韧带的生物力学特性。

方法: 标本于死者死亡后 9.0–10.0 h 解剖取下股直肌腱和前交叉韧带, 取下后立刻用生理盐水浸湿的纱布包裹, 密封后置于 -20 °C 冰箱内保存。实验前取出标本, 切取试样, 股直肌腱和前交叉韧带每组共 10 个试样。

结果与结论: 股直肌腱中 1/3 的单位模量是前交叉韧带的 63%, 单位最大载荷为 63%, 提示股直肌腱中 1/3 是适合作为交叉韧带重建物的。

关键词: 股直肌腱; 重建; 生物力学; 前交叉韧带; 载荷

doi:10.3969/j.issn.1673-8225.2012.11.011

朱行飞, 张新潮, 陈博. 股直肌腱中 1/3 与前交叉韧带的生物力学比较[J]. 中国组织工程研究, 2012, 16(11): 1945-1947. [http://www.crter.org http://cn.zglckf.com]

0 引言

膝关节传递载荷, 协助保持动量, 并为涉及小腿的活动提供力偶。随着交通工具的发展, 膝关节损伤患者越来越多, 交叉韧带损伤也很普遍。重建前交叉韧带应用日益广泛, 但是交叉韧带手术移植物的选择至今仍十分困难。髌韧带、腓绳肌腱等都相继应用于临床, 并发症的发生使重建后的效果不能令大多数临床医生和患者满意。于是, 股直肌腱逐渐被人们作为新的替代物应用于临床。鉴于实际需要, 作者对正常国人新鲜尸体股直肌腱进行拉伸实验, 得出了拉伸应力、应变、弹性模量等数据, 并对前交叉韧带用同样的方法进行研究, 将之与股直肌腱的实验数据进行比较, 拟为临床应用提供理论依据。

1 材料和方法

设计: 对比观察。

时间及地点: 实验于2010-06/08在上海交通大学附属瑞金医院伤骨科研究所生物力学实验中心完成。

材料: 实验所用10具标本由复旦大学上海医学院解剖教研室提供, 年龄30–50岁。

实验装置: 美国Instron 5569材料试验机。载荷通过载荷传感器传递, 传感器量程为1 kN。应变通过机器的应变单元传递。夹具为电子气动夹具, 夹持力为200 N, 见图1。



Figure 1 U.S. Instron 5569 material testing machine
图1 美国 Instron 5569 材料试验机

¹Department of Orthopedics, Affiliated Jinshan Hospital of Fudan University, Shanghai 200540, China;
²Institute of Orthopaedic Injuries, Affiliated Ruijin Hospital of Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200025, China

Zhu Xing-fei★, studying for master's degree, Resident physician, Department of Orthopedics, Affiliated Jinshan Hospital of Fudan University, Shanghai 200540, China 09211270015@fudan.edu.cn

Corresponding author: Zhang Xin-chao, Chief physician, Department of Orthopedics, Affiliated Jinshan Hospital of Fudan University, Shanghai 200540, China

Received: 2011-08-26
Accepted: 2011-12-12

¹ 复旦大学附属金山医院骨科, 上海市 200540; ² 上海交通大学附属瑞金医院伤骨科研究所, 上海市 200025

朱行飞★, 男, 1985年生, 安徽省安庆市人, 汉族, 复旦大学在读硕士, 医师, 主要从事创伤骨科的研究。09211270015@fudan.edu.cn

通讯作者: 张新潮, 主任医师, 复旦大学附属金山医院骨科, 上海市 200540

中图分类号: R318
文献标识码: B
文章编号: 1673-8225 (2012)11-01945-03

收稿日期: 2011-08-26
修回日期: 2011-12-12
(20110526006/AWL · C)

实验方法:

实验过程: 标本于死者死亡后9.0~10.0 h解剖取下股直肌腱和前交叉韧带, 用以生理盐水浸湿的纱布包裹, 装入塑料袋中, 密封后置于-20℃冰箱内保存。实验前取出标本, 在常温下解冻后以手术刀沿标本纵向切取试样, 股直肌腱中1/3和前交叉韧带每组共10个试样。在测量前以精度为0.01 mm的游标卡尺测量试样的原始尺寸。

指标检测: 生物材料在应力作用下都有滞后现象, 在变形过程中有熵的改变, 有机械能损失, 所以实验前必须对试样进行预调处理。本实验对所有试样在其最大应力为其破坏应力的30%应力水平下对试样反复加卸载循环10次, 预调处理后进行实验^[1], 将标本装夹于试验机上、下夹头上, 环境温度设置在正常人体温(36.5±0.5)℃的温度下进行。以10 mm/min的实验速度对试样施加拉伸载荷, 直至试样破坏, 计算机自动输出实验数据。

主要观察指标: 股直肌腱中1/3和前交叉韧带的模量、最大载荷、最大应变和最大应力。文中单位弹性模量、最大拉伸应变、最大载荷、最大拉伸应力等是用标本每个变量除以对应标本体积得出的。

统计学分析: 由第一作者采用SPSS 11.0软件完成统计处理, 计数资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示。

2 结果

2.1 股直肌腱中1/3测量结果 见表1。

表1 股直肌腱中1/3单位模量、最大载荷、最大应变、最大应力测量结果 Table 1 The unit modulus, unit maximum load, maximum strain and maximum stress of rectus femoris tendon (n=10)			
Index	Minimum	Maximum	$\bar{x} \pm s$
Unit modulus (MPa)	0.012 183	0.275 463	0.061 447±0.080 190
Unit maximum load (N)	0.060 430	0.623 100	0.220 105±0.180 741
Maximum tensile strain (mm/mm)	0.000 130	0.002 600	0.000 958±0.001 059
Maximum tensile stress (MPa)	0.001 260	0.023 960	0.006 623±0.006 868

2.2 前交叉韧带测量结果 见表2。

表2 前交叉韧带单位模量、最大载荷、最大应变、最大应力测量结果 Table 2 The unit modulus, unit maximum load, maximum strain and maximum stress of anterior cruciate ligament (n=10)			
Index	Minimum	Maximum	$\bar{x} \pm s$
Unit modulus(MPa)	0.001 918	0.417 109	0.054 039±0.127 860
Unit maximum load (N)	0.060 820	0.896 400	0.384 123±0.290 320
Maximum tensile strain (mm/mm)	0.000 380	0.061 880	0.011 366±0.018 601
Maximum tensile stress (MPa)	0.000 930	0.131 980	0.017 180±0.040 398

从表1, 2可知, 股直肌腱中1/3的单位模量是前交叉韧带的63%, 单位最大载荷为63%, 通过在相关力学系数方面与前交叉韧带的比较, 为临床选择合适的交叉韧带重建替代物提供了理论依据。最大载荷被认为是在选择替代物时首要考虑的因素, 因为替代物在体内必须能够承受外伤所造成的负荷^[2-5]。从最大载荷看出, 股直肌腱中1/3是适合作为交叉韧带重建物的。

3 讨论

近年来随着膝关节外伤的患者增多, 其中交叉韧带断裂的年轻患者增多尤为突出。交叉韧带的重建已成为一种趋势。自从1984年BLAUTH使用髌韧带重建前交叉韧带以来, 对交叉韧带替代物的研究就一直没有中断过。期间腓绳肌腱、人工合成韧带、异体韧带都被考虑作为交叉韧带的移植。但由于相关并发症的发生, 如膝关节痛、感觉异常、伸膝无力等^[6-8], 使得越来越多的矫形外科医师倾向使用股直肌腱替代前交叉韧带。股四头肌由多层纤维组织组成, 纵行倾斜的延伸附着于髌骨的前半部分^[9]。股直肌属于股四头肌的一部分, 起自髌前下棘, 与股外侧肌、股内侧肌、股中间肌三头会合, 形成总腱包绕髌骨, 并向下延为髌韧带, 止于胫骨转子。股直肌及其肌腱参与伸膝关节, 屈髋关节。股直肌向下延伸的大部分形成了股四头肌的腱性组织附着于髌骨上^[10]。

关于股直肌腱的生物力学实验, 国内尚未见相关报道, 国外Staubli等^[11]曾将年轻患者的股四头肌腱与髌韧带的生物力学特性进行相互比较, Noyes等^[12]于1984年也进行过股直肌腱、髌韧带、髌韧带等相关的生物力学分析。指出在活体内, 只要交叉韧带移植物的最大载荷超过交叉韧带的20%~25%, 移植后就能完成一般的正常活动。从最大载荷看出, 股直肌腱中1/3是适合作为交叉韧带的重建物的。

像韧带一样, 人体大多数肌腱主要由胶原纤维组成。胶原组织主要由3种纤维组成: 胶原纤维、弹性纤维和网状纤维。胶原纤维使胶原组织具有一定的强度和刚度; 弹性纤维使胶原组织具有在载荷作用下延伸的能力; 而网状纤维提供容积^[13]。两个主要因素决定了在载荷作用下的韧带强度: 韧带的形状、尺寸以及加载速度。Woo等^[14]认为较慢的加载速度会导致频繁的韧带撕裂。拉伸力不是骨-韧带复合物的特性, 而是与韧带相同的物质一种特性, 如肌腱。Cooper等^[15]认为由于实验时的滑脱, 依靠夹具之间移位的距离来推算拉伸长度是不够精确的。韧带的截面面积也影响韧带的强度。与载荷方向一致的纤维数目越多, 这些纤维越宽越厚, 则韧带的强度就越大。和骨一样, 随着加载速度增加, 韧带的强度和刚度也增加^[8]。在测量肌腱的拉伸长度时, 实验采

用了目前国内先进的力学测量工具,尽可能的减小了这方面的误差。实验中夹持肌腱的夹头为空气加压装置,避免了传统的夹头对韧带的破坏,见图2。实验为临床在选择股四头肌腱重建前交叉韧带时提供了生物力学方面的理论依据,结果显示:股四头肌肌腱中1/3可以作为交叉韧带的替代物。



Figure 2 Air pressure holding device in the experiment
图2 实验中的空气加压夹持装置

当然,实验由于在体外进行,与体内各韧带所处的环境有很大差别,如相关的骨隧道、韧带的旋转角度。交叉韧带的重建是非常复杂的工作,很多因素都会对移植术后的临床疗效产生影响。譬如,相当的生物力学性能、熟练的手术技巧、正确的固定方法、合适的韧带张力、恰当的术后康复训练等都是重要的影响因素^[16-17]。所以对于临床应用之后的疗效,尚需进一步研究。

4 参考文献

- [1] Schatzmann L, Brunner P, Stäubli HU. Effect of cyclic preconditioning on the tensile properties of human quadriceps tendons and patellar ligaments. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 1998;6 Suppl 1:S56-S61.
- [2] Butler DL, Noyes FR, Grood ES. Ligamentous restraints to anterior-posterior drawer in the human knee. A biomechanical study. *J Bone Joint Surg Am.* 1980;62(2):259-270.
- [3] Grood ES, Noyes FR. Cruciate ligament prosthesis: strength, creep, and fatigue properties. *J Bone Joint Surg Am.* 1976;58(8):1083-1088.
- [4] Noyes FR, Grood ES. The strength of the anterior cruciate ligament in humans and Rhesus monkeys. *J Bone Joint Surg Am.* 1976;58(8):1074-1082.
- [5] Paulos L, Noyes FR, Grood E, et al. Knee rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction and repair. *Am J Sports Med.* 1981;9(3):140-149.
- [6] Laxdal G, Sernert N, Ejerhede L, et al. A prospective comparison of bone-patellar tendon-bone and hamstring tendon grafts for anterior cruciate ligament reconstruction in male patients. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2007;15(2):115-125.
- [7] Devita P, Hortobagyi T, Barrier J, et al. Gait adaptations before and after anterior cruciate ligament reconstruction surgery. *Med Sci Sports Exerc.* 1997;29(7):853-859.
- [8] Noczky SP. Biology of ACL reconstructions: what happens to the graft? In: Davis B, ed. *Instructional Course Lectures XL.* Park Ridge, IL: American Academy of Orthopaedic Surgeons. 1996; 229-233.
- [9] Staubli HU, Schatzmann L, Brunner P, et al. Quadriceps tendon and patellar ligament: cryosectional anatomy and structural properties in young adults. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 1996;4(2):100-110.
- [10] Dye SF. Patellofemoral anatomy, in Fox JM, Del Pizzo W (eds): *The Patellofemoral Joint.* New York, McGraw-Hill, 1993:1-12.
- [11] Stäubli HU, Schatzmann L, Brunner P, et al. Mechanical tensile properties of the quadriceps tendon and patellar ligament in young adults. *Am J Sports Med.* 1999;27(1):27-34.
- [12] Noyes FR, Butler DL, Grood ES, et al. Biomechanical analysis of human ligament grafts used in knee-ligament repairs and reconstructions. *J Bone Joint Surg Am.* 1984;66(3):344-352.
- [13] Frankel VH, Nordin M. Shanghai: Xuelin Publishing House. 1985: 117.
戴尅戎,王以进,周健男,骨骼系统的生物力学基础[M].上海:学林出版社, 1985:117
- [14] Woo SL, Hollis JM, Adams DJ, et al. Tensile properties of the human femur-anterior cruciate ligament-tibia complex. The effects of specimen age and orientation. *Am J Sports Med.* 1991;19(3): 217-225.
- [15] Cooper DE, Deng XH, Burstein AL, et al. The strength of the central third patellar tendon graft. A biomechanical study. *Am J Sports Med.* 1993;21(6):818-823.
- [16] Noyes FR, Butler DL, Paulos LE, et al. Intra-articular cruciate reconstruction. I: Perspectives on graft strength, vascularization, and immediate motion after replacement. *Clin Orthop Relat Res.* 1983;(172):71-77.
- [17] Noyes FR, Matthews DS, Moar PA, et al. The symptomatic anterior cruciate-deficient knee. Part II: the results of rehabilitation, activity modification, and counseling on functional disability. *J Bone Joint Surg Am.* 1983;65(2):163-174.

来自本文课题的更多信息--

作者贡献: 第一作者进行实验设计, 实验实施为第一、三作者, 实验评估为第二作者, 资料收集为第一作者, 第一作者成文, 通讯作者审核, 第一作者对文章负责。

利益冲突: 课题未涉及任何厂家及相关雇主或其他经济组织直接或间接的经济或利益的赞助。

研究的创新之处: 关于股直肌腱的生物力学实验, 国内尚未见相关报道, 实验对临床替代前交叉韧带的股直肌腱中1/3进行生物力学对比研究测试, 是一个创新性。