

doi:10.3969/j.issn.2095-4344.2013.02.017 [http://www.crter.org]

俞芳, 李康华, 章灿, 李宇晟, 高曙光, 卢邦宝. 膝关节后交叉韧带断裂对内侧副韧带组织学的影响[J]. 中国组织工程研究, 2013, 17(2): 280-285.

膝关节后交叉韧带断裂对内侧副韧带组织学的影响☆

俞芳, 李康华, 章灿, 李宇晟, 高曙光, 卢邦宝

中南大学湘雅医院骨科研究所, 中南大学湘雅医院骨科, 湖南省长沙市 410008

文章亮点:

- 1 建立实验动物模型, 后交叉韧带切断后膝关节未予固定, 实验兔能自由活动, 但由于饲养笼空间较小, 膝关节活动范围有限, 关节载荷一般为较低生理负荷。
- 2 通过组织学观察发现在短期内后交叉韧带断裂组的内侧副韧带胶原纤维的数量较完整组增加, 但是 I 型/III 型胶原纤维的比值与后交叉韧带完整动物存在差别。

关键词:

组织构建; 组织构建与生物力学; 膝关节; 后交叉韧带; 断裂; 内侧副韧带; 胶原纤维; 组织学特征; 韧带修复; 组织构建图片文章

摘要

背景: 通过比较 I 型胶原、III 型胶原相对数量和 I /III 型胶原的比值可以一定程度上判断韧带的组织学性能。

目的: 观察膝关节后交叉韧带断裂兔保持较低生理负荷和活动度时内侧副韧带组织学的变化。

方法: 24 只成年雄性家兔双侧膝关节配对为自身对照, 实验侧行后交叉韧带完全切断, 对照侧只暴露后交叉韧带而不切断, 造模后第 8, 16, 24, 40 周随机处死 6 只实验兔。进行苏木精-伊红染色, 天狼猩红染色检测 I 型和 III 型胶原的相对数量。

结果与结论: ①苏木精-伊红染色结果: 8, 16, 24 周两组内侧副韧带胶原分布、排列无明显差别; 40 周时实验组胶原纤维较对照组稀疏。②天狼猩红染色结果: 8, 16, 24 周实验组内侧副韧带的 I 型和 III 型胶原纤维总和分别较对照组显著增加 ($P < 0.05$); 40 周时实验组较对照组显著减少 ($P < 0.05$); 8 周实验组和对照组之间内侧副韧带的 I /III 型胶原纤维的比值差异无显著性意义 ($P > 0.05$); 16, 24, 40 周时实验组比值显著分别小于对照组 ($P < 0.05$)。说明兔膝关节后交叉韧带损伤后短期内对内侧副韧带组织学特性无明显影响, 随着时间延长, 组织学特性显著下降。

俞芳☆, 女, 1983 年生, 浙江省永康市人, 汉族, 2011 年中南大学湘雅医学院毕业, 博士, 主要从事骨与关节损伤的研究。yukang7171930@yahoo.com.cn

通讯作者: 李康华, 教授, 中南大学湘雅医院骨科研究所, 中南大学湘雅医院骨科, 湖南省长沙市 410008 Lkh8738@gmail.com

中图分类号: R318

文献标识码: B

文章编号: 2095-4344 (2013)02-00280-06

收稿日期: 2012-05-16

修回日期: 2012-07-23

(20120316008/D · W)

Effect of posterior cruciate ligament rupture on histological features of medial collateral ligament

Yu Fang, Li Kang-hua, Zhang Can, Li Yu-sheng, Gao Shu-guang, Lu Bang-bao

Institute of Orthopedics, Xiangya Hospital of Central South University, Department of Orthopedics, Xiangya Hospital of Central South University, Changsha 410008, Hunan Province, China

Abstract

BACKGROUND: By comparing the relative quantity of type I and III collagens and type I /III collagen ratio, we can determine the ligament histology performance to some extent.

OBJECTIVE: To explore the histological effect of posterior cruciate ligament injury on the medial collateral ligament under a lower physiological load in rabbits.

METHODS: Bilateral knees of 24 male rabbits were enrolled for a self-control trial. Posterior cruciate ligaments at the experimental side were transected, and those in the control side were only exposed but not

Yu Fang☆, Doctor, Institute of Orthopedics, Xiangya Hospital of Central South University, Department of Orthopedics, Xiangya Hospital of Central South University, Changsha 410008, Hunan Province, China
yukang7171930@yahoo.com.cn

Corresponding author: Li Kang-hua, Professor, Institute of Orthopedics, Xiangya Hospital of Central South University, Department of Orthopedics, Xiangya Hospital of Central South University, Changsha 410008, Hunan Province, China
Lkh8738@gmail.com

Received: 2012-05-16
Accepted: 2012-07-23

transected. At the 8th, 16th, 24th and 40th weeks after modeling, six rabbits were executed randomly, and then the histological alteration of the medial collateral ligament was observed through hematoxylin-eosin staining and picrosirius-polarization staining.

RESULTS AND CONCLUSION: (1) Hematoxylin-eosin staining: At the 8th, 16th and 24th weeks, there was no obvious difference in the collagen distribution and arrangement of the medial collateral ligament between experimental group and control group; at the 40th week, the collagen was thinner in the experimental group. (2) Picrosirius-polarization staining: At the 8th, 16th and 24th weeks, the total number of type I and III collagens in the medial collateral ligament of the experiment group was more than that in the control group ($P < 0.05$); however, at the 40th week, the total number of type I and III collagens in the medial collateral ligament of the experimental group was much fewer than that of the control group ($P < 0.05$); at the 8th week, ratio of type I/III collagen in the medial collateral ligament of the experimental group did not differ from that in the control group ($P > 0.05$); however, at the 16th, 24th and 40th weeks, the ratio of type I/III collagen in the experimental group was much fewer than that in the control group ($P < 0.05$). In short-term, posterior cruciate ligament injury has no significant effect on histological properties of the rabbit medial collateral ligament. However, the histological properties can decrease significantly with time.

Key Words: tissue construction; tissue construction and biomechanics; knee; posterior cruciate ligament; fracture; medial collateral ligament; collagen fibers; histological features; ligament repair; tissue construction photographs-containing paper

Yu F, Li KH, Zhang C, Li YS, Gao SG, Lu BB. Effect of posterior cruciate ligament rupture on histological features of medial collateral ligament. Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu. 2013;17(2): 280-285.

0 引言

膝关节韧带的损伤在运动和交通事故中非常常见。临床上单纯后交叉韧带损伤并不常见, 目前对单纯后交叉韧带断裂的手术方式较多^[1-3], 且对多种方法进行比较^[4-7], 但是仍然没有统一的治疗标准。有些医生考虑到后交叉韧带难以暴露、重建手术复杂等, 选择通过加强股四头肌肌力锻炼来增强膝关节的稳定性。Shelbourne对133例单纯后交叉韧带断裂的运动员进行保守治疗^[8], 平均5.4年的随访发现尽管存在不同程度的关节松弛, 还是有一半的运动员能重返受伤前相同级别甚至更高级的体育项目, 因此认为保守治疗可以一定程度恢复膝关节主观和客观功能。然而这项研究中运动员的受伤平均年龄为22.5岁, 而随访的最长时间只有11.4年。对于年轻患者的而言, 长期随访结果才更值得关注。

目前国内外对后交叉韧带断裂后组织学的发现主要为膝关节软骨退变和骨性关节炎发生^[9-11], 少有关韧带的组织学变化。早期研究发现在韧带组织愈合过程中首先产生III型胶原^[14], 经过一段时间之后转化为I型胶原, 随着III型胶原向I型胶原的转化, 肌腱和韧带获得更强大的力学性能。课题组在前期尸体膝关节标本大体力学研究中发现, 在200 N的生理载荷下, 后交叉韧带全断后内侧副韧带的应变无显著变化^[12]。为了探究后交叉韧带缺失后, 若膝关节保持较低生理负荷和活动度是否会出现内侧副韧带损伤, 课题组建立动物模型, 观察实验兔在膝关节后交叉韧带断裂的情况下内侧副韧带组织学的变化。

1 材料和方法

设计: 自体自身对照观察。

时间和地点: 于2010年1月至12月在中南大学实验动物中心和中南大学形态学实验室完成。

材料:

实验动物: 2月龄家兔24只, 雄性, 平均体质量(2.5±0.4) kg, 由中南大学湘雅医院实验动物部提供, 许可证号SYXK(湘)2005-0005。在干预前适应饲养环境7 d; 环境温度(21±3) °C,

相对湿度(55±5)%, 光暗周期24 h, 为正常昼夜节律, 实验动物进行分笼饲养, 自由饮水。每日观察动物饮食、有无腹泻等。实验过程中对动物的处置符合医学伦理学标准。

主要试剂和仪器:

Main reagents and instruments:

试剂及仪器	来源
戊巴比妥钠配制成3% (0.03 mg/kg)的溶液备用	中国医药集团上海化学试剂公司分装
注射用青霉素粉针剂	华北制药股份有限公司
0.1%天狼猩红苦味酸染色液	北京海德生物制剂有限公司
BH-2 型奥林巴斯偏振光显微镜	中南大学形态学实验室

方法:

实验分组: 24只实验兔双侧膝关节随机分为实验组和对照组, 造模后第8, 16, 24, 40周做为观测时间点, 每个时间点随机处死6只实验兔进行组织学研究。

模型制备: 实验兔经耳缘静脉注入3%戊巴比妥溶液(0.03 mg/kg), 麻醉满意后仰卧位固定, 行前、后抽屉和内、外侧翻应力实验, 检查膝关节稳定性。双侧膝关节区域备皮、消毒、铺巾。实验组行髌旁内侧切口, 逐层切开皮肤、皮下组织和髌内侧支持带, 将髌骨向外侧脱位, 暴露后交叉韧带, 并完全切断, 术中保护关节内组织, 仔细止血, 生理盐水冲洗后逐层缝合, 用纱布绷带包扎, 不予固定。对照组操作步骤同实验组, 但只暴露后交叉韧带而不切断。术后分笼饲养, 自由饮水, 每日观察实验兔饮食、有无腹泻、伤口感染等。青霉素80×10⁴ U肌注, 1次/d, 连续3 d。按各时间点采用空气栓塞法分批处死实验兔, 立即解剖内侧副韧带。

主要观察指标: ①苏木精-伊红染色观察: 生理盐水冲洗内侧副韧带标本, 置入40 g/L多聚甲醛溶液中固定24 h, 经脱钙、脱水、透明、包埋、切片、贴片, 用苏木精-伊红染色后在显微镜下观察胶原的分布和排列。②天狼猩红偏振光法观察: 常规切片、脱蜡、脱水, 后置于天狼猩红苦味酸染色液中浸泡1 h, 冲洗后复染、透明、封固。每个标本取一张切片, 偏振光显微镜下观察I型和III型胶原纤维的分布、形状。在400倍下对每张切片随机抽取5个视野, 在同一曝光条件下照相, 用Image-Pro Plus 6.0图像分析软件分别测定红色、黄色以及绿色的面积, 得到I、III型胶原纤维相对总面积, I/III型胶原纤维比值。胶原纤维相对面积的单位为像素(Pixel)。

统计学分析: 采用SPSS 13.0 for Windows 统计软件进行统计分析。采用均 $\bar{x}\pm s$ 表示, 两样本均数比较采用 t 检验, $P < 0.05$ 认为差异有显著性意义。

2 结果

2.1 实验动物数量分析 共24只家兔, 造模后分4个时间点进行观察, 实验过程中动物无脱失。

2.2 组织学观察结果 后交叉韧带切断后8, 16, 24周实验组和对照组的内侧副韧带之间无明显差别。40周时实验组可见一些圆形、椭圆形和少量梭形细胞, 纵行排列, 细胞颜色深, 大小不一, 分布不均, 细胞外的胶原纤维较细小, 稀疏, 排列整齐, 见图1。

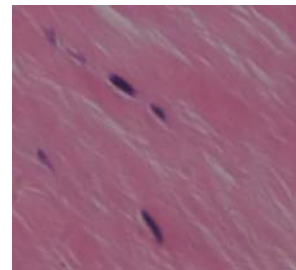


图1 实验组40周时内侧副韧带可见一些圆形、椭圆形和少量梭形细胞, 纵行排列, 细胞颜色深, 大小不一, 分布不均(苏木精-伊红染色, ×400)

Figure 1 In the experimental group, there were some round and oval cells as well as a small amount of spindle cells in the medial collateral ligament at 40 wk, presenting with vertical rows, deep color, different sizes and uneven distribution (Hematoxylin-eosin staining, ×400)

对照组可见一些梭形细胞, 纵行排列, 细胞颜色深, 大小不一, 分布不均, 细胞外的胶原纤维致密, 排列整齐, 见图2。

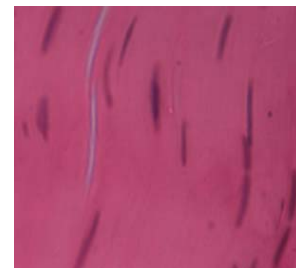


图2 对照组40周时内侧副韧带可见一些梭形细胞, 纵行排列, 细胞颜色深, 大小不一, 分布不均, 细胞外的胶原纤维致密(苏木精-伊红染色, ×400)

Figure 2 In the control group, there were some spindle cells in the medial collateral ligament at 40 wk, presenting with vertical rows, deep color, different sizes and uneven distribution, as well as dense extracellular collagen fibers (Hematoxylin-eosin staining, ×400)

2.3 各时间点实验组和对照组内侧副韧带的 I 型和 III 型胶原纤维的相对总面积比较 8, 16, 24 周时实验组的内侧副韧带中 I 型和 III 型胶原纤维的相对总面积均显著大于对照组 ($P < 0.05$)。40 周时实验组的 I 型和 III 型胶原纤维的相对面积显著小于对照组 ($P < 0.05$)，见表 1。

表 1 I 型和 III 型胶原纤维的相对总面积结果表

Table 1 Relative total area of type I and III collagen fibers in the experiment group and control group ($\bar{x} \pm s$, Pixel)

时间	实验组	对照组	P
8 周	2 575 819±857 442	2 222 864±624 240	< 0.05
16 周	2 788 403±476 859	2 390 838±725 751	< 0.05
24 周	3 026 968±674 192	2 567 293±846 089	< 0.05
40 周	2 141 352±708 207	2 777 549±708 652	< 0.05

偏振光显微镜下发现 40 周实验组胶原纤维明显疏松，局部排列欠整齐，大多数走向一致，III 型胶原纤维分布在 I 型胶原纤维束的之间，见图 3。

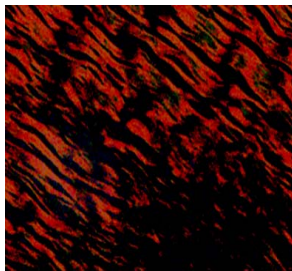


图 3 实验组 40 周时胶原纤维明显疏松，局部排列欠整齐，III 型胶原纤维分布在 I 型胶原纤维束的之间(天狼猩红染色结果，×400)

Figure 3 In the experimental group, obviously loose collagen fibers were seen and locally arranged irregularly at 40 wk; type III collagen fibers distributed between type I collagen fiber bundles (Picrosirius-polarization staining, ×400)

对照组的胶原纤维排列整齐，成束状，走向一致，III 型胶原纤维零星分布在 I 型胶原纤维束的内部，见图 4。

2.4 不同时间点实验组和对照组内侧副韧带的 I 型/III 型胶原纤维的比值比较 各时间点实验组的内侧副韧带中 I/III 型胶原纤维的比值均小于对照组，且 16, 24, 40 周的实验组和对照组间比较，差异有显著性意义 ($P < 0.05$)，见表 2。

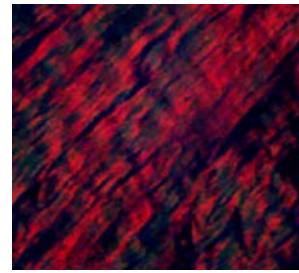


图 4 对照组 40 周胶原纤维排列整齐，成束状，走向一致，III 型胶原纤维零星分布在 I 型胶原纤维束的内部(天狼猩红染色结果，×400)

Figure 4 In the control group, collagen fibers arranged regularly and in bundles, and type III collagen fibers scattered inside the fiber bundles of collagen type I (Picrosirius-polarization staining, ×400)

表 2 两组 I/III 型胶原纤维的比值结果表

Table 2 Ratio of type I/III collagen fibers in the experiment group and control group ($\bar{x} \pm s$, n=5)

时间	实验组	对照组	P
8 周	8.12±2.27	8.52±2.67	> 0.05
16 周	8.28±3.83	8.80±2.43	< 0.05
24 周	8.37±1.86	9.02±2.83	< 0.05
40 周	7.98±1.76	9.07±1.90	< 0.05

3 讨论

韧带的 I 型胶原是由紧密排列的、粗大的胶原纤维组成，能够抵抗较高的载荷；而 III 型胶原为细小纤维，并且强度不及 I 型胶原。因此通过比较 I 型胶原、III 型胶原相对数量和 I/III 型胶原的比值可以一定程度上判断韧带的组织学性能。Amiel 等^[13]对 2, 12, 36 个月龄的新西兰大白兔内侧副韧带进行研究，发现随着兔子年龄增长，韧带内的水分含量明显下降，胶原的交联程度也增加，且胶原合成率从 2 个月的最大值降到 36 个月的最低值，膝关节内侧副韧带的结构逐渐趋向成熟，组织学性能也不断改善。因此作者选择相同性别和月龄的实验兔，只进行同一时间点内侧副韧带组织学性能的比较。另外，兔膝关节只有在伸直和过度屈曲时内侧副韧带拉紧，而静止站立时膝关节屈曲，后交叉韧带切断后膝关节未予固定，导致后向不稳。家兔虽能自由活动，但由于饲养笼空间较小，膝关伸屈节活动范围有限，关节载

荷一般为体质量负荷。

早期研究发现在韧带组织愈合过程中首先产生Ⅲ型胶原^[14], 经过一段时间之后转化为Ⅰ型胶原, 随着Ⅲ型胶原向Ⅰ型胶原的转化, 肌腱和韧带获得更强大的力学性能。发现周期性的拉伸刺激后, 内侧副韧带成纤维细胞表达高水平Ⅲ型胶原mRNA^[15], 而Ⅰ型胶原mRNA无明显增加, 7.5%形变刺激可引起内侧副韧带成纤维细胞Ⅲ型胶原mRNA出现时间依赖性表达增多, 而5%形变却不能。Busch等^[16]发现对髌韧带成纤维细胞进行机械刺激, 6 h后Ⅰ型前胶原蛋白及纤维蛋白的释放量明显增加, 而机械刺激30 min的成纤维细胞在12 h后检测到Ⅲ型前胶原蛋白的释放量明显增加。张蕾^[17]对大鼠骨髓间充质干细胞施以10%形变刺激和周期性单向牵张刺激, 发现12 h后Ⅰ型胶原和Ⅲ型胶原mRNA的表达显著增加, 24 h后Ⅰ型和Ⅲ型胶原蛋白的合成显著增多。在动物模型中也发现增加应力可以影响韧带组织的胶原合成。Mark切断兔子内侧副韧带后笼养4周时, 在愈合组织下方植入钢钉以增加应力^[18], 一段时间后发现胶原的总量和Ⅰ/Ⅲ型胶原的比值比未植入钢钉的自然愈合组更接近正常, 因此认为增加应力可以改善韧带组织学重塑。细胞外基质为广泛分布在细胞间的动态网状结构^[19], 一直处于不断产生与降解的动态平衡中^[20], 在组织的损伤和愈合过程中伴随着原有细胞外基质的降解和新细胞外基质的合成。Kjær等^[21]认为机械应力增加时胶原合成增多和基质金属蛋白酶水平下降, 转录和翻译后修饰, 以及局部和全身的生长因子的释放都在锻炼后增加。日常一定范围内的生理机械刺激对于骨与关节软骨、韧带非常重要。Sun等^[22]发现对成纤维滑膜细胞受到2%的拉伸应力后, 基质金属蛋白酶1和基质金属蛋白酶13的mRNA和蛋白水平都下降。对膝关节前交叉韧带损伤大鼠的后交叉韧带中基质金属蛋白酶2活性进行检测^[23], 发现随着时间的推移, 基质金属蛋白酶2无论从活化形式或是酶原形式都存在时间依赖性的递增趋势。力学刺激引起的胶原合成多于基质金属蛋白酶降解, 致使胶原的数量不断增加, 短期内形成一种动态平衡。胶原的合成转化增加, 重塑了韧带的结构和功能。本实验中后交叉韧带切断后膝关节未予固定, 实验兔能自由活动, 但由于饲养笼空间较小, 膝关节活动范围有限, 关节载荷一般为较低生理负荷。本实验认为8, 16, 24周时后交叉韧带缺失可引起胫骨后向移位幅度加大, 导致内侧副韧带的应力一定程度增加, 但短期内并不能造成韧带的损伤, 反而刺激韧带结构性重塑和功能性适

应, 力学性能出现改善。

韧带的黏弹性可以高度适应膝关节功能, 胶原纤维允许一定范围内的拉伸, 但当外力超出其允许范围或长时间超负荷, 便会发生成纤维细胞或胶原的损伤。杨开英等^[24]发现损伤首先发生于韧带细胞, 进一步的拉伸会累计胶原纤维, 细胞的严重受损对韧带的修复极其不利。因此认为虽然后交叉韧带断裂短期内并没有造成内侧副韧带的损伤, 但随着时间的延长, 各软组织的松弛度不断增加, 加载于内侧副韧带的应力也相应增加, 出现缓慢的韧带损伤。内侧副韧带中细胞的损伤导致胶原合成的减少, 因此不论是Ⅰ型或是Ⅲ型胶原纤维都出现减少, 导致Ⅰ型和Ⅲ型胶原纤维总量下降。有学者对25例重建后交叉韧带的病例进行平均9.1年的随访^[25], 发现损伤1年后进行手术重建疗效欠佳。近来的生物力学研究表明后交叉韧带损伤的膝关节尤其屈曲 $>70^\circ$ 时^[26-27], 内侧、髌股关节面接触的面积或者负荷发生明显改变。后交叉韧带损伤后胫骨后移的距离过大或者异常张力负荷长期作用下出现应力重新分布, 不但导致软骨细胞的退变, 也将使其他组织力学性能下降。

通过组织学观察发现在短期内后交叉韧带断裂组的内侧副韧带胶原纤维的数量较完整组增加, 但是Ⅰ型/Ⅲ型胶原纤维的比值与后交叉韧带完整存在差别, 因此认为结构重塑并没有使韧带完全达到正常。40周时内侧副韧带Ⅰ型和Ⅲ型胶原纤维的数量下降明显。通过这一系列的研究, 实验发现后交叉韧带损伤如果长时间未能有效的恢复后向稳定性, 即使是较低的生理载荷和有限的活动度, 也可以出现内侧副韧带的损伤。

致谢:衷心感谢中南大学形态学实验室给予的大力支持。

作者贡献:李康华、俞芳进行实验设计, 实验实施为俞芳、李宇晟、高曙光、章灿, 实验评估为李宇晟、高曙光, 资料收集为俞芳、周益昭, 俞芳成文, 李康华审校, 俞芳对文章负责。

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。

伦理要求:本实验得到中南大学湘雅医学院伦理委员会的批准。

本文创新性:首次对膝关节后交叉韧带损伤后内侧副韧带的组织学变化同时进行研究, 探讨后交叉韧带完全断裂后内侧副韧带损伤机制。

作者声明:文章为原创作品, 数据准确, 内容不涉及泄密, 无一稿两投, 无抄袭, 无内容剽窃, 无作者署名争议, 无与他

人课题以及专利技术的争执,内容真实,文责自负。

4 参考文献

- [1] Li ZH, Li N,Zhang YL, et al. Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu yu Linchuang Kangfu. 2010;7(10):1311-1314.
李志怀,李宁,张义龙,等.同种异体腱Tibial-inlay技术重建膝关节后交叉韧带31例[J].中国组织工程研究与临床康复, 2010,7(10): 1311-1314.
- [2] Lahner M,Vogel T,Schulz MS,et al.Outcome 4 years after isolated single-bundle posterior cruciate ligament reconstruction.Der Orthopade.2012;41(3):206-211.
- [3] Matava MJ, Ellis E,Gruber B.Surgical treatment of posterior cruciate ligament tears: an evolving technique. J Am Acad Orthop Surg.2009;17(7):435-446.
- [4] Kim SJ,Kim TW,Kim SG,et al.Clinical comparisons of the anatomical reconstruction and modified biceps rerouting technique for chronic posterolateral instability combined with posterior cruciate ligament reconstruction.JBJS(Am). 2011; 93(9):809-818.
- [5] Ishibashi Y,Tsuda E,Fukuda A,et al.Biomechanical evaluation of an anatomic double-bundle posterior cruciate ligament reconstruction.Arthro.2012; 28(2):264-271.
- [6] Kohen RB,Sekiya JK.Single-bundle versus double-bundle posterior cruciate ligament reconstruction. Arthro. 2009; 25(12):1470-1477.
- [7] Zehms CT, Whiddon DR, Miller MD,et al.Comparison of a double bundle arthroscopic inlay and open inlay posterior cruciate ligament reconstruction using clinically relevant tools: a cadaveric study.Arthro.2008;24(4):472-480.
- [8] Shelbourne KD,Davis TJ,Patel DV.The natural history of acute,isolated, nonoperatively treated posterior cruciate ligament injuries. A prospective study. Am J Sports Med. 1999;27(3):276-283.
- [9] Van de Velde SK, Bingham JT, Gill TJ,et al.Analysis of tibiofemoral cartilage deformation in the posterior cruciate ligament-deficient knee. J Bone Joint Surg(Am). 2009;91: 167-175.
- [10] Wang J, Ao YF. Zhongguo Yundong Yixue Zazhi. 2004;23(5): 476-481.
王健,敖英芳.后交叉韧带断裂继发关节软骨退行性变的实验研究[J].中国运动医学杂志,2004,23(5):476-481.
- [11] Simon TM,Aberman HM.Cartilage regeneration and repair testing in a surrogate large animal model.Tissue engineering Part B:Reviews.2010;16(1):65-79.
- [12] Yu F, Zhou YZ, Li KH. Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu yu Linchuang Kangfu. 2011;15(37):6887-6890.
俞芳,周益昭,李康华,等. 膝关节后交叉韧带损伤对侧副韧带生物力学的影响[J].中国组织工程研究与临床康复, 2011,15(37): 6887-6890.
- [13] Amiel D,Kuiper SD,Wallace CD,et al.Age-related properties of medial collateral ligament and anterior cruciate ligament: A morphologic and collagen maturation study in the rabbit. Int J Gerontol.1991;46(4):B159-B165.
- [14] Ng GY,Oakes BW,Deacon OW,et al.Long-term study of the biochemistry and biomechanics of anterior cruciate ligament-patellar tendon autografts in goats. J Orthop Res. 1996;14:851-856.
- [15] Hsieh AH,Tsai CM,Ma QJ,et al.Time-dependent increases in type-III collagen gene expression in medial collateral ligament fibroblasts under cyclic strains.J Orthop Res.2000; 18(2)220-227.
- [16] Busch U, Zeichen J, Skutek M, et al. Effect of cyclical stretch on matrix synthesis of human patellar tendon cells. Unfallchirurg. 2002;105(5):437-422.
- [17] Zhang L. Hangtian Yixue yu Yixue Gongcheng. 2007;20(5): 349-353.
张蕾.牵张刺激对大鼠骨髓间充质干细胞I型和III型胶原表达的影响[J].航天医学与医学工程. 2007;20(5):349-353.
- [18] Gomez MA,Woo SL, Amiel D,et al.The effects of increased tension on healing medial collateral ligaments. Am J Sports Med. 1991;19(4):347-354.
- [19] Han YP,Tuan TL,Hughes M,et al.Transforming growth factor- β and tumour necrosis factor- α -mediated induction and proteolytic activation of MMP-9 in human skin. Biol Chem. 2001; 276(25):22341-22350.
- [20] Shek FW,Benyon RC,Walker FM,et al.Expression of transforming growth factor- β 1 by Pancreatic stellate cells and its implications for matrix secretion and turnover in chronic pancreatitis.Am J Pathol.2002;160(5):1787-1798.
- [21] Kjaer M. Role of extracellular matrix in adaptation of tendon and skeletal muscle to mechanical loading. Physiol Rev. 2004;84(2):649-698.
- [22] Sun HB, Yokot H.Reduction of cytokine-induced expression and activity of MMP-1 and MMP-13 by mechanical strain in MH7A rheumatoid synovial cells Matrix Biol.2002;21(3): 263-270.
- [23] Zhang J, Luo ZW, Chen WQ, et al. Yiyong Shengwu Lixue. 2009;24(3):162-165.
张瑾,罗自维,陈文琦,等.前交叉韧带扭转损伤后关节腔内后交叉韧带中基质金属蛋白酶活性的研究[J].医用生物力学,2009, 24(3): 162-165.
- [24] Yang KY, Li J, Wang TL, et al. Shengwu Yixue Gongchengxue Zazhi. 2008;25(3):611-615.
杨开英,李江,王泰龄,等.鼠膝关节前交叉韧带和内侧副韧带的损伤拉伸研究[J].生物医学工程学杂志,2008,25(3):611-615.
- [25] Hermans S,Corten K,Bellemans J.Long-term results of isolated anterolateral bundle reconstructions of the posterior cruciate ligament:A 6 to 12-year follow-up study.Am J Sports Med. 2009;37(8):1499-1507.
- [26] Li G, Papannagari R, Li M,et al.Effect of posterior cruciate ligament deficiency on in vivo translation and rotation of the knee during weightbearing flexion. Am J Sports Med.2008; 36:474-479.
- [27] Van de Velde SK, Bingham JT, Gill TJ,et al.Analysis of tibiofemoral cartilage deformation in the posterior cruciate ligament-deficient knee. J Bone Joint Surg(Am).2009;91: 167-175.