

文章编号:1004-7220(2011)01-0069-06

膝关节后外侧角重建术中股骨隧道定位对 移植物等距性的影响

赵章伟, 蔡春元, 杨国敬, 张力成
(温州医学院附属第三医院 骨科, 瑞安 325200)

摘要:目的 探讨膝关节后外侧角重建术中,股骨隧道定位的变化对移植物等距性的影响。方法 选用9具新鲜冷冻尸体膝关节标本,分别在外侧副韧带和腓肌腱股骨侧附着部上选取中、近、远、前、后各5个测试点。模拟膝关节后外侧角的重建步骤,将外侧副韧带、腓肌腱和腓腓韧带胫腓侧的附着部中心与相应股骨侧的5个测试点用铜丝连接,测量膝关节在 $0^{\circ} \sim 90^{\circ}$ 屈曲过程中铜丝长度的变化。结果 外侧副韧带股骨侧附着部的远点和前点与其腓骨附着部中心之间变化平均值的最大值均不超过3 mm,且两点无统计学差异($P > 0.05$);腓肌腱股骨侧附着部的前点与PFL腓骨附着部中心之间变化平均值的最大值不差过3 mm;腓肌腱股骨侧5个测试点与胫骨侧腓肌腱移行处点之间变化平均值的最大值均超过3 mm。结论 在腓骨侧骨隧道选择附着部中心的情况下,重建外侧副韧带和腓腓韧带时,股骨侧骨隧道宜定位外侧副韧带和腓肌腱附着部前缘(即前点)。

关键词: 后外侧角; 重建; 股骨隧道; 移植物; 生物力学

中图分类号: R 318.01 文献标志码: A

Effects of femoral tunnel placement on the isometry of grafts in PLC reconstruction

ZHAO Zhang-wei, CAI Chun-yuan, YANG Guo-jing, ZHANG Li-cheng (Department of Orthopaedics, the Third Affiliated Hospital of Wenzhou Medical College, Ruian 325200, China)

Abstract; Objective To explore the influence of femoral tunnel placement on the isometry of grafts in the reconstruction of posterolateral corner of the knee (PLC). **Method** Knee specimens from 9 frozen human cadavers were used in the study. Five points of femoral attachment sites, including the central, proximal, distal, anterior and posterior points, were selected as femoral test points for both lateral collateral ligament (LCL) and popliteus tendon (PT). The fibular/tibial attachment sites of LCL, PT and popliteofibular ligament (PFL) were connected to the corresponding 5 test points using the brass wire, respectively. Changes in distance between each pair of fibular/tibial and femoral points were measured during the passive knee flexion-extension test ($0^{\circ} \sim 90^{\circ}$). **Results** The maximal changes of distances between the LCL's anterior, distal points and LCL's fibular attachment site were not greater than 3 mm, and there was no significant difference between these two points; the maximal change of distance between the PT's anterior point and PFL's fibular attachment site were not greater than 3 mm. All of the maximal changes of distances between the PT's 5 test points and tibial point of musculotendinous junction were greater than 3 mm. **Conclusions** Under the condition of fibular tunnels locating at center points of LCL and PFL attachment site, the femoral tunnel should be located at the anterior edge of LCL's attachment site (anterior point) for LCL reconstruction, and at the anterior edge of PT's attachment site (anterior point) for PFL reconstruction.

Key words : Posterolateral corner; Reconstruction; Femoral tunnel; Grafts; Biomechanics

收稿日期:2010-11-25; 修回日期:2010-12-27

基金项目:瑞安市科技局项目基金(201002048)。

通讯作者:杨国敬,主任医师, Tel: (0577) 65866013; E-mail: zzw_gk@126.com。

膝关节后外侧角 (posterolateral corner of the knee, PLC) 是维持膝关节外旋、内翻和后移稳定的重要结构, 其中外侧副韧带 (lateral collateral ligament, LCL)、腓肌腱 (popliteus tendon, PT) 和腓腓韧带 (popliteofibular ligament, PFL) 已被确认为该部位最重要的3个结构^[1-2]。生物力学实验发现, 切除这3个结构后, 在膝关节活动中, 交叉韧带特别是后交叉韧带承受的负荷明显加大^[3]。因此, PLC 在维持膝关节稳定和交叉韧带方面都起着重要的作用^[4]。

针对 PLC 的损伤, 临床上提出了多种 LCL、PFL 和 PT 的解剖重建技术来试图恢复这三者的解剖结构和生理功能。影响 PLC 3 条韧带 (肌腱) 重建疗效的因素很多, 包括移植物的选择、隧道定位、初始张力及术后康复等, 其中骨隧道定位是最关键的因素之一。目前临床上重建这 3 条韧带骨隧道定位的选择没有一个统一的标准, 相关的基础研究也鲜有报道。本文旨在了解股骨侧骨隧道定位变化对移植植物长度的影响, 以此来确定一个变化最小点, 为临床重建提供参考。

1 材料和方法

1.1 材料选择

取 9 具新鲜冷冻尸体膝关节标本 (由温州医学院解剖教研室提供), 其中男 7 具, 女 2 具; 左膝 4 具, 右膝 5 具, 死亡年龄 41 ~ 74 岁, 平均 56 岁。所有膝关节标本均无韧带损伤或断裂、半月板破裂, 无滑膜异常改变以及无明显的骨关节炎。股骨侧至少保留 20 cm, 远端完整保留。

实验器械主要包括膝关节固定支架、等距测量仪、角度测量器等。自制的膝关节固定支架可以使膝关节在 0° ~ 90° 之间屈曲且可以读出屈曲角度。等距测量仪主要包括管型测力计, 最大负荷 50 N, 最小分度 1 N; 数显游标卡尺, 精确度为 0.01 mm。

1.2 标本修整和隧道准备

修整标本, 保留膝关节线近、远端各约 20 cm。解剖分离出 LCL、PFL 和 PT, 并钝性分离至股骨和腓骨附着区, 标出个韧带的附着部后, 切除韧带。保留股四头肌腱性部分, 保留膝关节周围韧带、关节囊和半月板, 切除余下皮肤、皮下组织、肌肉。用 2 枚螺钉固定胫腓关节。

在股骨外侧髁, 以 LCL 和 PT 股骨附着部中心点 (A0、B0) 为圆心, 取距圆心 5 mm 的近、远、前、后端各四点 (A1、A2、A3、A4; B1、B2、B3、B4), 规定沿股骨长轴方向为近远端 (见图 1)。在胫腓侧, 选取 LCL 和 PFL 腓骨附着部中心点、腓肌肌腱联合处即胫骨平台远端和内侧髁内侧 1 cm 处共 3 点 (a、b1、b2), 模拟 PLC 重建步骤。在胫腓侧用 1.5 mm 的钻头建立隧道, 在隧道内插入并固定一直径合适的塑料管, 减少铜丝的摩擦。

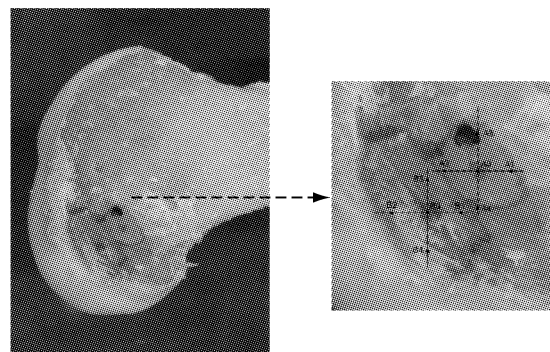


图1 股骨附着部测试点选择示意图

Fig.1 The location of every experimental point of the femoral attachment

1.3 等距测量

将膝关节标本的股骨固定在膝关节支具上, 使股骨长轴平行于地面, 胫腓侧保证其能在 6 个方向自由活动, 施力于股四头肌肌腱使膝关节在 0° ~ 90° 做被动屈伸运动, 在所测试的每个角度维持胫骨在中立位。针对 LCL 的重建进行 A0 ~ A4 共计 5 个股骨测试点与 a 点等距测量, 针对 PFL 的重建进行 B0 ~ B4 共计 5 个股骨测试点与 b1 等距测量, 针对 PT 的重建进行 B0 ~ B4 共计 5 个股骨测试点与 b2 等距测量。

选择上述的每个股骨-胫腓骨隧道组合, 将细软铜丝的一端固定在股骨测试点, 穿过隧道, 连接到等距测量仪上, 在屈伸过程中用管型测力计给予铜丝 27 N 的张力。测量之前屈伸膝关节 4 ~ 5 个循环, 以减少软组织的粘连。在屈膝 0° 时, 将数显游标卡尺校准为 0 mm, 分别在屈膝 0° 、 15° 、 30° 、 45° 、 60° 、 75° 、 90° 测量固定在铜丝上的测量标记物与隧道外口的距离变化, 游标卡尺测量值为正值时代表两隧道内口距离变小, 负值则相反 (见图 2)。

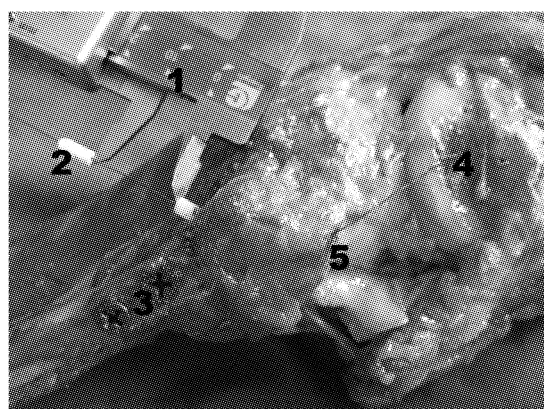


图2 腓腓韧带等距测量示意图 1 数显游标卡尺, 2 固定于铜丝上的测量标记, 3 螺钉固定胫腓关节, 4 股骨侧测试点, 5 腓腓韧带骨隧道
 Fig.2 Isometry measurements for reconstruction of the popliteo-fibular ligament (PFL) 1 Caliper, 2 Mark fixed in the copper wire, 3 The tibiofibular joint fixed by the screw, 4 Femoral test points, 5 Fibular tunnel

1.4 数据分析

对相同隧道组合相同屈膝角度隧道内口止点的变化值计算平均值($\bar{x} \pm SD$)。计算每个隧道组合屈膝 $0^\circ \sim 90^\circ$ 之间的变化平均值的最大值, 采用 SNK 检验对不同隧道组合变化最大值进行两两对比。以上统计分析以 $P < 0.05$ 为差异有显著性。实验中生理等距定义为: 在屈膝 $0^\circ \sim 90^\circ$ 的范围中, 两隧道内口之间距离变化 ≤ 3 mm(相对于 0° 时的韧带长度, 屈膝过程中韧带松弛不超过3 mm, 韧带延长不超过3 mm)。

表1 LCL 股骨附着部5个测试点隧道外铜丝长度的变化($\bar{x} \pm SD, n=9$)

Tab.1 The length changes of the wires among five LCL's experimental points ($\bar{x} \pm SD, n=9$)

角度/ $^\circ$	A_0 /mm	A_1 /mm	A_2 /mm	A_3 /mm	A_4 /mm
0	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00
15	2.67 ± 1.26	2.84 ± 1.56	0.89 ± 0.24	0.73 ± 0.12	3.63 ± 2.16
30	3.45 ± 1.61	4.53 ± 2.05	2.31 ± 2.09	1.59 ± 0.89	4.87 ± 1.55
45	3.77 ± 2.19	4.91 ± 2.19	1.96 ± 1.51	2.44 ± 1.34	5.91 ± 2.24
60	3.85 ± 2.54	5.62 ± 2.07	1.77 ± 1.33	1.98 ± 1.22	6.27 ± 2.56
75	4.04 ± 2.33	6.37 ± 2.49	1.43 ± 1.01	1.51 ± 1.09	6.90 ± 2.71
90	4.20 ± 2.06	7.03 ± 2.62	0.85 ± 0.23	1.33 ± 0.98	7.84 ± 2.78
最大值	4.20 ± 2.06	7.03 ± 2.62	2.31 ± 2.09	2.44 ± 1.34	7.84 ± 2.78

注: 0° 时隧道外铜丝长度定为0mm, 正值表示两隧道内口距离变小, 负值相反(下同)

2.2 腓腓韧带

PFL 各测试点在屈膝 $0^\circ \sim 90^\circ$ 范围隧道外铜丝

2 结果

2.1 外侧副韧带

LCL 各测试点在屈膝 $0^\circ \sim 90^\circ$ 范围隧道外铜丝长度变化的平均值见表1, 根据表1 绘制各测试点在膝关节屈伸过程中程度变化曲线(见图3)。由图3所示, 腓骨端 LCL 附着部中心点与股骨侧附着部远点、前点之间距离变化最大值分别为 (2.31 ± 2.09) mm 和 (2.44 ± 1.34) mm, 在生理等距范围内。而与其股骨侧附着部其余3 各测试点最大值均超过3 mm, 超过生理等距范围。SNK 两两比较了股骨侧5 个测试点变化最大值, 显示远点和前点之间无差异($P > 0.05$), 其余任意两个测试点之间均有差异($P < 0.05$)。

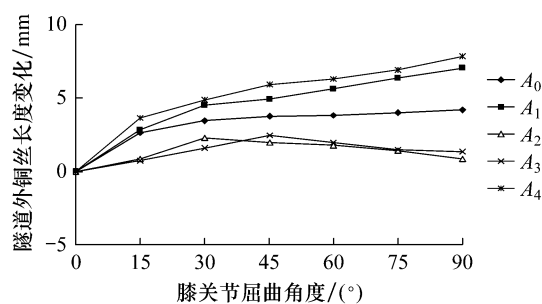


图3 外侧副韧带各测试点在膝关节屈伸过程中隧道外铜丝长度的变化

Fig.3 The length changes of the wires among every LCL's experimental point during passive knee flexion-extension

长度的变化平均值见表2, 根据表2 绘制各测试点在膝关节屈伸过程中程度变化曲线(见图4)。由图4

表2 PT 股骨附着部 5 个测试点隧道外铜丝长度的变化 ($\bar{x} \pm SD, n=9$)Tab.2 The length changes of the wires among five PFL's experimental points ($\bar{x} \pm SD, n=9$)

角度/(°)	B_0 /mm	B_1 /mm	B_2 /mm	B_3 /mm	B_4 /mm
0	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00
15	2.05 ± 1.88	3.09 ± 2.09	0.85 ± 0.95	1.05 ± 0.85	3.76 ± 2.32
30	3.26 ± 1.92	5.09 ± 2.76	1.58 ± 1.28	1.78 ± 1.29	4.53 ± 2.62
45	3.02 ± 2.33	5.20 ± 2.17	0.69 ± 2.44	1.16 ± 1.21	4.51 ± 2.55
60	2.91 ± 2.01	5.01 ± 1.97	-1.21 ± 1.66	0.08 ± 2.09	4.11 ± 2.81
75	2.54 ± 1.49	4.42 ± 2.01	-2.19 ± 1.34	-1.54 ± 1.53	3.88 ± 3.03
90	1.93 ± 1.3	3.80 ± 3.25	-3.03 ± 1.27	-1.92 ± 1.02	3.74 ± 2.89
最大值	3.26 ± 1.92	5.20 ± 2.17	-3.03 ± 1.27	-1.92 ± 1.02	4.53 ± 2.62

所示,腓骨端 PFL 附着部中心点与 PT 股骨侧附着部中心前点距离变化最大值分别为 (-1.92 ± 1.02)mm,在生理等距范围内。而与股骨侧附着部其余 4 个测试点最大值均超过 3 mm,超过生理等距范围。SNK 两两比较显示前点与其他 4 点的变化最

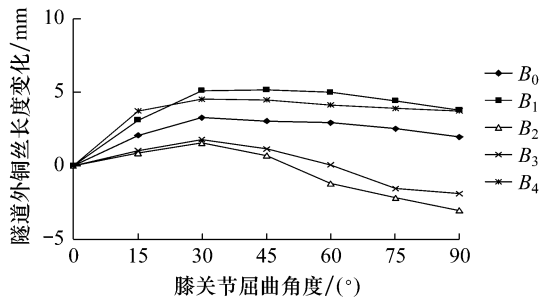


图4 腓韧带各测试点在膝关节屈伸过程中隧道外铜丝长度的变化

Fig.4 The length changes of the wires among every PFL's experimental point during passive knee flexion-extension

大值有差异($P < 0.01$)。

2.3 腓肌腱

LCL 各测试点在屈膝 $0^\circ \sim 90^\circ$ 范围隧道外铜丝长度的变化平均值见表 3,根据表 3 绘制各测试点在膝关节屈伸过程中程度变化曲线(见图 5)。由图 5 所示,腓肌肌腱联合处(胫骨平台远端和内侧髁

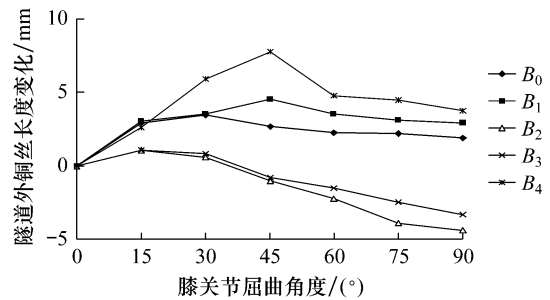


图5 腓肌腱各测试点在膝关节屈伸过程中隧道外铜丝长度的变化

Fig.5 The length changes of the wires among every PT's experimental point during passive knee flexion-extension

表3 腓肌腱股骨附着部 5 个测试点隧道外铜丝长度的变化 ($\bar{x} \pm SD, n=9$)Tab.3 The length changes of the wires among five PT's experimental points ($\bar{x} \pm SD, n=9$)

角度/(°)	B_0 /mm	B_1 /mm	B_2 /mm	B_3 /mm	B_4 /mm
0	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00
15	2.39 ± 1.23	3.04 ± 1.47	1.09 ± 0.97	1.06 ± 0.84	2.63 ± 1.69
30	3.44 ± 1.52	3.52 ± 2.65	0.59 ± 1.39	0.84 ± 1.93	5.94 ± 2.03
45	2.65 ± 1.89	4.54 ± 2.8	-1.04 ± 1.31	-0.81 ± 2.01	7.79 ± 2.74
60	2.23 ± 1.54	3.51 ± 2.39	-2.22 ± 1.59	-1.51 ± 1.52	4.78 ± 2.45
75	2.18 ± 1.03	3.09 ± 2.28	-3.93 ± 2.04	-2.49 ± 1.76	4.51 ± 2.39
90	1.91 ± 1.11	2.91 ± 1.76	-4.42 ± 2.83	-3.34 ± 1.44	3.77 ± 2.14
最大值	3.44 ± 1.52	4.54 ± 2.8	-4.42 ± 2.83	-3.34 ± 1.44	7.79 ± 2.74

内侧 1 cm)与所选的股骨侧 5 个测试点变化最大值均超过 3 mm,超过生理等距范围。SNK 法对各点变化最大值进行两两比较显示,中点和前点无明显差异($P > 0.05$),该两点与其他 3 点有明显差异($P < 0.05$)。

3 讨论

PLC 重建的目的旨在恢复膝关节本来的生物力学参数和解剖学参数。保持移植物的张力稳定性是 PLC 重建成败的一个关键因素,等距重建就是试图在膝关节屈伸过程中使移植物两端的附着点距离不变从而保证移植物不被过分拉伸或者过分的松弛。绝对的等距点是不存在的,因此临床上根据移植物在一定范围内可拉伸的特性提出了生理等距的概念^[5-7]。

本次实验测量的结果显示重建 LCL、PT 和 PFL 时,在胫腓侧分别选择这三者附着部中心点的情况下,相应的股骨侧附着部中心点均非其生理等长点,连接的铜丝长度在 $0^\circ \sim 90^\circ$ 屈曲过程中变化最大值均超过 3 mm。穿出骨隧道的铜丝在膝关节自伸直至屈曲开始阶段有明显的延长,即对应的两附着部中心点距离明显的缩短,因此如果将移植物固定在伸直位则在屈曲时由于移植物的松弛而减弱其稳定作用;如果固定在屈曲位则当伸直时移植物会承受过大的张力而导致移植物的固定失败或断裂。以重建 LCL 为例,如果将腓骨侧和股骨侧的骨隧道均定位在其附着部中心点并按目前临床上通常的做法将移植物在屈膝 30° 固定^[8-10],那么当膝关节伸直时,移植物将被平均拉长 3.45 mm。因此从生物力学角度来看,重建 PLC 时将骨隧道定位在附着部中心点不是最佳的选择。

在针对这 3 条韧带不同股骨隧道定位的等距性测量过程中,发现隧道外铜丝的长度在膝关节由伸直向屈曲的过程中,在开始阶段有明显的延长,随着屈曲角度加大,延长程度变小或者缩短。故推测这一变化特点是后外侧角所选择的隧道组合受膝关节的“扣锁机制”的影响而引起的^[10]。膝关节由伸直开始屈曲时,在股骨固定的情况下,在最初的阶段伴有胫骨的内旋,使胫腓侧的隧道与股骨外上髁的测试点之间的距离缩短。

本次实验的结果显示铜丝在模拟重建 LCL 和

PFL 时,股骨端 LCL 附着部的前点和远点与其腓骨侧附着部中心点,以及股骨端 PT 附着部的前点与其胫骨侧测试点,在屈膝 $0^\circ \sim 90^\circ$ 变化最大值不超过 3 mm,属于生理等长点。但是上述的 LCL 附着部的远点和 PT 附着部的前点在股骨外侧髁上距离较近,考虑到 PLC 重建术中这两个骨隧道的距离不能过近以免隧道间隔过薄而塌陷,因此重建 LCL 时股骨侧的骨隧道选择其附着部的前点更佳。

PT 股外侧髁附着部选用的 5 个测试点和胫骨后方平台下 1cm 即腓肌肌腱移行处这点在膝关节屈伸 $0^\circ \sim 90^\circ$ 均不存在生理等距性。分析可能有以下两点原因:(1)本次实验在胫骨侧只选取了一点,股骨侧出于重建后韧带尽可能模拟 PT 生物力学特性这方面的考虑,只采用了附着部中心及周围共 5 点,因此不排除胫骨和股骨外侧髁其他点的组合存在生理等长性。(2)PT 连接于腓肌,是一个动态的稳定结构。在生理状态下,腓肌在胫神经的支配下,通过收缩舒张来调节 PT 的长度从而保持腓肌腱的处于一个合理的张力,以此来起到限制膝关节外旋的作用,因此临床上试图用静态的肌腱来等长重建这种相对复杂的动态结构可能是比较困难的。

Sidles 等^[12]做了膝关节后外侧的等长性研究,发现整个腓骨头与股骨外上髁在膝关节正常活动范围里是具有良好的等长性的,其中以腓骨头后部分与外上髁的前部分,以及腓骨头的前部分与外上髁的后部分等长性更佳,而胫骨后方与股骨外侧髁不存在等长性。本实验结果在一定程度上支持了 Sidles 的结论,同时侧重于韧带附着区周围测试点的选取,对他们的结果又有一定的补充。Sigward 等^[13]在股骨外侧髁上以腓肌腱附着部中心为基点建立了一个矩形点阵,将矩形中 21 个点与相应的胫腓侧的附着部中心进行了等长点的测量,其 LCL 及 PFL 的结果与本试验相似,另外他们的结果显示胫骨侧腓肌肌腱移行与所建立的点矩阵亦存在等长点。

临床上在重建 PLC 术中采用螺钉固定移植物时,习惯将螺钉的位置放在移植物的前方或上方。如果骨隧道定在等长点,韧带的位置其实由于螺钉的挤压而移向了等长点的后下方;因此,在采用螺钉固定时,应根据隧道的半径将隧道中心适当的移向等长点的前方或上方,使得移植物的固定点处于等

长点。

PLC的解剖学特点决定着移植物的张力会对膝关节的旋转相当敏感。由于膝关节“扣锁机制”的存在,自伸直至屈曲的最初阶段,移植物的张力变化相当明显。因此,在术后康复初期,不宜嘱咐病人进行被动的膝关节小范围的屈伸运动,以防移植物反复的过度受力导致韧带重建的失败。

参考文献:

- [1] Veltri DM, Deng XH, Tozilli PA, *et al.* The role of the popliteofibular ligament in stability of the human knee: A biomechanical study [J]. *Am J Sports Med*, 1996, 24(1): 19-27.
- [2] LaPrade RF, Tso A, Wentorf FA, *et al.* Force measurements on the fibular collateral ligament, popliteofibular ligament, and popliteus tendon to applied loads [J]. *Am J Sports Med*, 2004, 32(7): 1695-701.
- [3] Amis AA, Bull AM, Gupte CM, *et al.* Biomechanics of the PCL and related structures: Posterolateral, posteromedial and meniscofemoral ligaments [J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2003, 11(5): 271-281.
- [4] 容可, 王友. 膝关节后交叉韧带的解剖及生物力学特性的研究进展 [J]. *医用生物力学*, 2009, 24(1): 74-78.
Rong K, Wang Y. Anatomy and biomechanics study on posterior cruciate ligament [J]. *Journal of Medical Biomechanics*, 2009, 24(1): 74-78.
- [5] Good L, Gillquist J. The value of intraoperative isometry measurements in anterior cruciate ligament reconstruction: An in vivo correlation between substitute tension and length change [J]. *Arthroscopy*, 1993, 9(5): 525-32.
- [6] 尚昆, 沈力行, 赵改平, 等. 四连杆膝关节运动学性能仿真软件的实现 [J]. *医用生物力学*, 2009, 24(2): 107-111.
Shang K, Shen LX, Zhao GP, *et al.* Realization and kinematics simulation software of four-bar artificial limb knees [J]. *Journal of Medical Biomechanics*, 2009, 24(2): 107-111.
- [7] 王健全, 敖英芳, 于长隆, 等. 单双束重建前交叉韧带的生物力学研究 [J]. *医用生物力学*, 2008, 23(2): 107-112.
Wang JQ, Ao YF, Yu CL, *et al.* Biomechanical study of knee following anterior cruciate ligament reconstruction [J]. *Journal of Medical Biomechanics*, 2008, 23(2): 107-112.
- [8] Keith L, Markolf, Benjamin R, *et al.* How well do anatomical reconstructions of the posterolateral corner restore varus stability to the posterior cruciate ligament-reconstructed knee [J]. *Am J Sports Med*, 2007, 35(7): 1117-1122.
- [9] 赵金忠. 股二头肌长头腱重建膝关节后外侧角韧带结构 [J]. *中华骨科杂志*, 2004, 24(3): 141-145.
- [10] 陈鸿, 鲁宁, 张颖, 等. 自体中1/3股二头肌腱和股薄肌重建膝关节后外侧角韧带复合体损伤 [J]. *中华创伤杂志*, 2008, 24(4): 256-259.
- [11] 王亦璁. 骨与关节损伤. 第三版 [M]. 北京: 人民卫生出版社, 2001.
- [12] Sidles JA, Larson RV, Garbini JL, *et al.* Ligament length relationships in the moving knee [J]. *J Orthop Res*, 1988, 6(4): 593-610.
- [13] Sigward SM, Markolf KL, Graves BR, *et al.* Femoral fixation sites for optimum isometry of posterolateral reconstruction [J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2007, 89(11): 2359-2368.