

## 交叉韧带重建研究 ·



## 膝关节后交叉韧带股骨止点与韧带重建股骨 骨道定位的临床解剖学研究

刘平 敖英芳

北京大学第三医院运动医学研究所(北京 100083)

**摘要** 目的:探讨膝关节后交叉韧带(posterior cruciate ligament, PCL)双束重建中股骨骨道定位标志与定位方法。方法:30例成人膝关节标本,根据屈伸膝关节过程中纤维束紧张与松弛情况,将PCL分为前外侧束(anterolateral bundle, ALB)与后内侧束(postero-medial bundle, PMB),并确定各束中的“功能束”,测量ALB及其“功能束”、PMB及其“功能束”的股骨止点,明确止点间的位置关系。结果:ALB与PMB中均存在“功能束”,两个“功能束”联合作用基本可以维持屈伸膝全过程中胫骨的整体后向稳定性。ALB股骨止点位于股骨髁间窝顶及窝顶与髁间窝内侧壁交界处,近似于长方形,面积为 $82.77 \pm 20.90\text{mm}^2$ ,其“功能束”股骨止点位于其近内侧,为梯形或三角形,面积为 $32.16 \pm 18.96\text{mm}^2$ ;PMB股骨止点位于髁间窝内侧壁,近似椭圆形,面积为 $122.13 \pm 38.05\text{mm}^2$ ,其“功能束”股骨止点位于其后侧,接近梯形,面积为 $36.89 \pm 5.21\text{mm}^2$ 。ALB与其“功能束”及PMB与其“功能束”股骨止点中心均不重合。ALB“功能束”与PMB“功能束”股骨止点中心间距为 $11.27 \pm 1.16\text{mm}$ ;PCL股骨止点近侧缘与股骨干纵轴的夹角为 $88.71 \pm 9.36^\circ$ 。结论:PCL的ALB与PMB中均存在“功能束”,提示临床双束重建PCL时,股骨骨道应分别定位于ALB与PMB“功能束”股骨止点处。

**关键词** 后交叉韧带;股骨止点;骨道位置;解剖

### The Clinical Anatomical Research on the Femoral Attachment of the Posterior Cruciate Ligament and the Femoral Tunnel Position in Posterior Cruciate Ligament Reconstruction

Liu Ping and Ao Yingfang

Institute of Sports Medicine, Third Hospital, Peking University, Beijing, China 100083

**Abstract** Objective To investigate the normal shape, size, and location of the attachments of posterior cruciate ligament (PCL) to the femur in order to accurately position the femoral tunnel in double-bundle PCL reconstruction. Methods Thirty cadaveric knees were used as specimens in this study. PCLs were separated into anterolateral bundle (ALB) and posteromedial bundle (PMB) according to the PCL tension pattern during knee flexion-extension, and the “functional bundle” in each of the bundle were determined. The size, shape, position, and center of the attachments of PCL bundles expressed as clock position and referenced to both the cartilage edge and the intercondylar femoral roof were observed. The relationship between the attachments of the ALB and PMB and the relationship between the attachments of the “functional bundles” of ALB and PMB were evaluated. Results There existed “functional bundles” consistently in both ALB and PMB, the co-operation of the “functional bundles” provided the resistance against the tibial posterior draw across most of the arc of knee flexion. The ALB attached to both the roof of the femoral intercondylar notch and the transition between the roof and the medial side of the notch and the femoral attachment of ALB looked as rectangle in shape, and its mean area was  $82.77 \pm 20.90\text{mm}^2$ , attachment of the “functional bundle” of the ALB to the femur was in the medial side of the ALB, and was trapezoid or triangular in shape, its area was  $32.16 \pm 18.96\text{mm}^2$ ; The PMB attached to the medial side of the femoral intercondylar notch and was oval in shape, its mean area was  $122.13 \pm 38.05\text{mm}^2$ . The “functional bundle” of PBM was located in the posterior portion of PBM, and was trapezoid in shape. The mean area of the “functional bundle” of PBM was  $36.89 \pm 5.21\text{mm}^2$ . No “functional bundle” attached to the centre of the attachment of either ALB or PMB. The mean distance between the attachments of the “functional bundles” of

基金项目:北京大学医学部“985工程”二期资助项目(985-2-028-24)

通讯作者:敖英芳, Email: yingfang.ao@vip.sina.com

ALB and PMB was  $11.27 \pm 1.16$  mm. The mean angle between the proximal edge of the PCL footprint and the femoral shaft was  $88.71^\circ \pm 9.36^\circ$ . Conclusion There were existence of "functional bundles" in both ALB and PMB. The optimum position for the femoral tunnel in double-bundle PCL reconstruction should be located in the attachment sites of the "functional bundles" of ALB and PMB.

**Key words** posterior cruciate ligament ,femoral attachment ,tunnel position ,anatomy

由于后交叉韧带 (posterior cruciate ligament, PCL) 单束重建仅能部分恢复 PCL 的解剖与功能<sup>[1,2]</sup>,人们开始提倡 PCL 双束重建<sup>[1,3,4]</sup>。由于止点位置对纤维束张力及维持胫骨后向稳定性均有显著影响,并且股骨止点的作用明显大于胫骨止点<sup>[3]</sup>,因此,明确 PCL 股骨止点解剖特点与位置对于 PCL 双束重建十分重要。鉴于移植情况,目前 PCL 双束重建只能重建两束中的部分纤维。为提高 PCL 双束重建效果,我们研究了两束中最能代表其功能的纤维束——“功能束”,将其止点作为 PCL 双束重建中的骨道位置<sup>[5]</sup>。本实验在前期研究的基础上,对 PCL 两束中“功能束”的股骨止点进行测量,为临床双束重建 PCL 提供解剖学实验依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 一般资料

福尔马林处理后的成人膝关节标本 30 例,其中男性 19 例,女性 11 例。平均年龄 61 岁(45 ~ 79 岁)。排除膝关节明显退变、畸形及损伤的标本,每具尸体仅取一侧膝关节进行研究。

### 1.2 解剖方法

保留膝关节标本股骨及胫骨各 15cm,切除周围软组织,保留 PCL、内侧副韧带、板股韧带完整。在髁间窝前缘做时钟定位标志。紧靠 PCL 股骨止点外侧,沿矢状面、用骨锯将股骨髁分为内、外两部分,去除股骨外髁,注意保护 PCL 股骨止点的完整。小心剥离 PCL 周围滑膜,在胫骨无应力及后抽屉试验两种条件下屈伸膝关节,观察 PCL 中各纤维束的紧张 - 松弛模式,通过探查,进一步明确各纤维束的张力。寻找屈伸膝关节时 PCL 中纤维束松弛最多的角度,确定纤维束中紧张与松弛的分界线,将 PCL 分为两束:前外侧束(ALB)与后内侧束(PMB)。在两束中分别确认各自的“功能束”,即在屈伸过程中紧张范围最大、最能代表该束功能的纤维束。在 PCL 体部靠近股骨侧将其两束分开,向两端做钝性分离直达上、下止点,分别剥离其止点,用墨汁标记止点边缘及功能束位置。观察各止点形状、位置并进行测量。

### 1.3 测量方法

根据髁间窝前缘的时钟定位标志,确定 PCL 两束及各自“功能束”的时钟位置(参考线平行于股骨干)。观察各止点的形态,将 ALB 与 PMB 股骨止点简化成四边形,根据对角线确定其中心点(图 1)。各项长度测量指标均用游标卡尺直接测量,各角度均用量角器直接测量,用数码相机(Nikon,中国)对股骨内髁外侧面及髁间窝顶照相,应用计算机软件(清华大学提供)计算止点面积。

### 1.4 测量指标

(1) ALB 股骨止点面积(S1);(2) ALB“功能束”股骨止

点面积(S2)(图 2);(3) ALB 股骨止点近远径(L1)(图 2);(4) ALB 股骨止点左右径(L2)(图 2);(5) ALB 股骨止点边缘与股骨内髁软骨缘距离(L3)(图 2);(6) ALB 股骨止点中心与股骨内髁软骨缘距离(L4)(图 1);(7) ALB 股骨止点中心与髁间窝顶线(Blumensaat line,简称 B 线)距离(L5)(图 1);(8) ALB“功能束”股骨止点中心与股骨内髁软骨缘距离(L6);(9) ALB“功能束”股骨止点中心与 B 线距离(L7);(10) ALB 股骨止点中心时钟定位(C1);(11) ALB“功能束”股骨止点中心时钟定位(C2);(12) PMB 股骨止点面积(S3);(13) PMB“功能束”股骨止点面积(S4)(图 2);(14) PMB 股骨止点近远径(L8)(图 2);(15) PMB

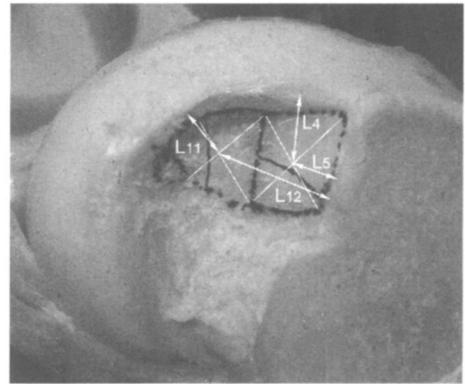


图 1 ALB 与 PMB 股骨止点中心点确定方法及 L4、L5、L11、L12 测量方法

Figure 1 The method for confirming the center of the femoral attachments of ALB and PMB, and the measurements of the L4, L5, L11, and L12

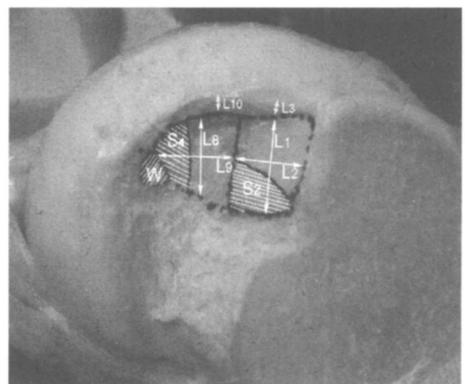


图 2 L1、L2、L3、L8、L9、L10、S2 和 S4 测量方法及 ALB 与 PMB“功能束”股骨止点位置

Figure 2 The methods for measuring the L1, L2, L3, L8, L9, L10, S2 and S4, and the positions of the femoral attachments of "functional bundles" of ALB and PMB  
W: Wrisberg 韧带股骨止点, the femoral attachment of Wrisberg ligament.

股骨止点前后径(L9)(图2);(16)PMB股骨止点边缘与股骨内髌软骨缘距离(L10)(图2);(17)PMB股骨止点中心与股骨内髌软骨缘距离(L11)(图1);(18)PMB股骨止点中心与B线距离(L12)(图1);(19)PMB“功能束”股骨止点中心与股骨内髌软骨缘距离(L13);(20)PMB“功能束”股骨止点中心与B线距离(L14);(21)PMB股骨止点中心时钟定位(C3);(22)PMB“功能束”股骨止点中心时钟定位(C4);(23)ALB与PMB股骨止点中心间距离(L15);(24)ALB“功能束”与PMB“功能束”股骨止点中心间距离(L16);(25)ALB与PMB股骨止点中心连线与股骨干纵轴角度(1);(26)PCL股骨止点近侧缘与股骨干纵轴角度(2)。

### 1.5 统计学处理

采用SPSS11.5统计软件,数据组间比较采用配对t检验, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 PCL纤维束紧张-松弛模式与分束

PCL纤维束的紧张-松弛模式与我们以往的研究结果相同,选择屈膝60°位将PCL分为ALB与PMB<sup>[5]</sup>。由PCL中各纤维束在膝关节屈伸过程中的紧张-松弛模式可知,ALB股骨止点的近内部分为其“功能束”附着处(图2),该纤维束在伸直位(伸膝0°)到屈膝90°位均为ALB中最紧张纤维束,在屈膝90°~120°也处于紧张状态,而其远侧纤维紧张度更高,屈膝超过120°时处于松弛状态。ALB“功能束”股骨止点与ALB股骨止点中心不吻合,位于中心点的近内侧。PMB“功能束”股骨止点位于PMB股骨止点的后部(图2),与PMB股骨止点中心点也不吻合,该束在膝关节过伸位时紧张,在屈膝大于120°时开始紧张,屈膝150°时最紧张,其余位置松弛。两个“功能束”联合作用可以基本维持屈伸膝全范围内的胫骨后向稳定性。

### 2.2 ALB与PMB股骨止点测量

ALB股骨止点接近于长方形,其近远径(L1)与左右径(L2)分别为10.63±1.64mm与9.07±1.46mm,其边缘与股骨内髌软骨缘最近距离(L3)平均为2.88±0.75mm。ALB“功能束”股骨止点为梯形或三角形,具体测量数据见表1。

PMB股骨止点近似椭圆形,面积大于ALB股骨止点( $P < 0.05$ ),其近远径(L8)与前后径(L9)分别为10.24±1.64mm与16.20±4.80mm,其边缘与股骨内髌软骨缘最近距离(L10)为2.98±1.03mm。PMB“功能束”股骨止点为梯形,具体测量数据见表2。

ALB与PMB股骨止点交界线与B线基本平行,成角3~5°,开口指向远侧,二者中心间距(L15)为10.07±0.98mm,ALB“功能束”与PMB“功能束”股骨止点中心间距(L16)为11.27±1.16mm,“功能束”股骨止点中心间距大于ALB与PMB股骨止点中心间距( $P < 0.05$ );ALB与PMB股骨止点中心连线与股骨干纵轴的夹角(1)平均为91.5±8.10°,ALB“功能束”与PMB“功能束”近侧缘与PCL股骨止点近侧缘重合,该缘与股骨干纵轴的夹角

表1 ALB及其“功能束”股骨止点测量数据比较

Table 1 The measurements of the femoral attachments of ALB and its “functional bundles”

测量指标 parameter	ALB 股骨止点 attachment of ALB	ALB“功能束” 股骨止点 attachment of the ALB functional bundle
面积 area(mm <sup>2</sup> )	82.77 ±20.90	32.16 ±18.96
中心与股骨内髌软骨缘 距离(mm) distance between the center and the cartilage edge of medial femoral condyle	7.89 ±1.26	8.23 ±1.59
中心与B线距离(mm) distance between the center and B line	6.09 ±1.18	5.07 ±0.55
中心时钟定位 clock positions of the centers	11 05 ±6	10 35 ±3

注:两组各指标比较差异均有统计学意义( $P < 0.05$ ),时钟定位均转换为左膝。

Note:  $P < 0.05$ , comparison of the clock positions of the centers of the ALB and its functional bundle between two groups.

表2 PMB及其“功能束”股骨止点测量数据比较

Table 2 The measurements of the femoral attachments of PMB and its “functional bundles”

测量指标 parameter	PMB 股骨止点 attachment of PMB	PMB“功能束” 股骨止点 attachment of the PMB functional bundle
面积 area(mm <sup>2</sup> )	122.13 ±38.05	36.89 ±5.21
中心与股骨内髌软骨缘距离 (mm) distance between the center and the cartilage edge of medial femoral condyle	7.47 ±1.37	5.42 ±1.18
中心与B线距离(mm) distance between the center and B line	14.07 ±2.56	17.12 ±3.11
中心时钟定位 clock positions of the centers	9 35 ±5	9 10 ±3

注:两组各指标比较差异均有统计学意义( $P < 0.05$ ),时钟定位均转换为左膝。

Note:  $P < 0.05$ , comparison of the clock positions of the centers of the PMB and its functional bundle between two groups.

(2)为88.71±9.36°。后内侧束股骨止点面积较前外侧束稍大( $P < 0.05$ ),但后内侧束中纤维束稀疏,其纤维束总量明显少于前外侧束。

## 3 讨论

### 3.1 PCL双束重建骨道定位理念与“功能束”

PCL单束或双束重建后常残留后向不稳<sup>[6,7]</sup>,股骨骨道定位不准确可能是其原因之一<sup>[8]</sup>。PCL止点面积约为韧带体部横截面积的3倍<sup>[9]</sup>,目前所用的PCL重建移植均为条索状,骨道的横截面积明显小于PCL止点面积,因

此,骨道位置的选择成为 PCL 重建的关键问题。为提高 PCL 重建效果,很多学者对 PCL 重建中股骨骨道定位进行了研究。PCL 单束重建中,早期主张等长重建,后来发现 PCL 等长重建仅在屈膝角度较小的情况下维持胫骨后向稳定性<sup>[10,11]</sup>,PCL 微观结构及止点间距离变化复杂,更适用于非等长重建,但同样不能完全恢复 PCL 功能<sup>[10]</sup>。为弥补单束重建的不足,人们开始进行 PCL 双束重建<sup>[3,7,12]</sup>。实验研究报道,PCL 双束重建可以很好地恢复胫骨后向稳定性,但对股骨骨道位置报道不一致<sup>[1,3,12]</sup>。另外,Wang 等<sup>[7]</sup>报道 PCL 单束与双束重建临床效果无明显差别,均未能完全恢复胫骨后向稳定性。可见,PCL 重建中股骨骨道定位问题仍在探索中。

移植体内**纤维束**应力分布高度不均匀导致移植体过度拉长是 PCL 重建失败的首要原因<sup>[3,10,13]</sup>。由于重建后 PCL **纤维束**的紧张-松弛模式与原**纤维束**不同,**纤维束**在屈伸膝过程中应力过于集中,造成移植体损伤。因此,模拟 PCL **纤维束**紧张-松弛模式进行 PCL 重建,可以改善移植体在屈伸膝过程中的应力状况,提升 PCL 重建效果。Mejia 等<sup>[14]</sup>认为在不同屈膝角度下,PCL 中均有相应的**纤维束**防止胫骨后向移位,明确这些**纤维束**的股骨止点位置是进行 PCL 重建的基础。因此我们在以往的研究<sup>[5]</sup>中提出了“功能束”的概念,将其止点作为 PCL 双束重建中的骨道位置,为提高 PCL 重建效果提供新思路。

### 3.2 ALB、PMB 及其“功能束”股骨止点测量

对 PCL 股骨止点进行准确描述是 PCL 重建所必需的,尤其是对于 PCL 双束或多数重建<sup>[14]</sup>。关于 PCL 股骨止点的测量方法有多种,在既往研究中关于 PCL 股骨止点的测量指标也有多种,主要有时钟定位、方格定位、止点中心点与软骨缘距离、止点中心点与髌间窝顶距离、止点边缘与软骨缘距离等<sup>[14-17]</sup>。我们在实验中发现,由于 PCL 股骨止点是三维立体的,其 ALB 止点位于髌间窝及窝顶与髌间窝内侧壁交界处,与 PMB 所在的髌间窝内侧壁不在同一平面上,侧面观仅见 ALB 止点中位于交界处很小的部分,采用 Edwards 等<sup>[15]</sup>的方格定位法进行测量有困难,因此,未予采用。时钟定位是文献中经常采用的描述方法,受股骨髌形状、屈膝角度、时钟位置的设定等因素影响明显<sup>[14]</sup>,其具体方法分两种,其一是参考线平行于股骨干,其二是参考线平行于 B 线。Mejia 等<sup>[14]</sup>认为前者在测量 PCL 止点后部时准确,但在测量 12 点位及 1 点位时无法与股骨干平行,只能采用垂直于软骨缘的方法测量,操作不方便。我们在实验中发现,二者在测量 ALB 止点时差别不明显,但后者在测量 PMB 止点时参考线明显变长,且时钟位间隔变窄,增加了测量难度,在关节镜下应用可能更困难。因此,我们采用前者在屈膝 90°位进行测量。鉴于单一测量方法不能准确描述 PCL 股骨止点的解剖情况<sup>[14,15]</sup>,我们在实验中通过测量 PCL 股骨止点边缘与股骨内髌软骨缘距离确定止点边缘的位置,通过测量止点中心与 B 线、股骨内髌软骨缘距离及时钟定位三项指标共同确定止点中心位置。

由于缺乏对 ALB 及 PMB 束内纤维紧张-松弛模式

的研究,所以既往没有关于“功能束”止点位置的研究,一般将止点中心作为骨道定位点。本实验确定了 ALB 与 PMB 的“功能束”,对 ALB 及 PMB 与其各自“功能束”股骨止点中心进行了比较研究,明确了各自位置及大小。实验结果显示,ALB 中心与软骨缘距离较其“功能束”中心近( $P < 0.05$ ),而与 B 线距离则远于“功能束”中心( $P < 0.05$ ),时钟定位中 ALB 中心较其“功能束”中心位置偏前( $P < 0.05$ );“功能束”股骨止点中心位于 ALB 股骨止点中心的近内侧,其面积为  $32.16 \pm 18.96\text{mm}^2$ ,约为 ALB 股骨止点面积的 2/5。PMB 中心与软骨缘距离较其“功能束”中心稍远( $P < 0.05$ ),而与 B 线距离则近于“功能束”中心( $P < 0.05$ ),与 ALB 中情况相反,时钟定位中 PMB 中心较其“功能束”中心位置偏前( $P < 0.05$ );“功能束”股骨止点中心位于 PMB 中心的近后侧,面积为  $36.89 \pm 5.21\text{mm}^2$ ,约为 PMB 股骨止点面积的 1/3。

既往研究中关于两束中心位置的报道较多,但未见关于两束止点中心间位置关系的研究<sup>[14-17]</sup>。本实验发现,PMB 中心点位置偏后,距离髌间窝顶较远,周围可靠定位标志少,ALB 中心点可以作为其定位参考标志,因此确定中心点间关系有利于 PMB 中心的定位,该规律同样适用于 ALB 与 PMB“功能束”。本实验结果显示:ALB 与 PMB 股骨止点中心间距为  $10.07 \pm 0.98\text{mm}$ ,其“功能束”中心间距为  $11.27 \pm 1.16\text{mm}$ ,后者大于前者( $P < 0.05$ );ALB 与 PMB 股骨止点中心连线与股骨干纵轴的夹角为  $91.5 \pm 8.10^\circ$ ，“功能束”后缘连线(PCL 股骨止点近侧缘)与 B 线夹角为  $88.71 \pm 9.36^\circ$ ,二者均与股骨干纵轴基本垂直。

### 3.3 PCL 双束重建股骨骨道定位方法

由于交叉韧带中每束纤维在屈伸膝过程中都有各自的紧张模式,将骨道定位于原止点内很重要,一方面可以复制原韧带的紧张模式,另一方面,有利于恢复原韧带的作用及关节稳定性<sup>[8,18]</sup>。PCL 断裂后其股骨止点的 footprint 一般存在,可以准确地了解 PCL 原止点的位置与范围,因此,在其 footprint 存在的情况下,我们主张根据 footprint 定位;在 footprint 不清楚时,根据时钟定位、中心点与软骨缘距离及中心点与 B 线距离三者联合确定骨道位置。

本次实验结果显示:ALB 与 PMB 股骨止点面积分别为  $82.77 \pm 20.90\text{mm}^2$  与  $122.13 \pm 38.05\text{mm}^2$ ,后者较前者大( $P < 0.05$ ),与文献报道不一致<sup>[18]</sup>,这可能与分束方法有关,二者“功能束”面积分别为  $32.16 \pm 18.96\text{mm}^2$  与  $36.89 \pm 5.21\text{mm}^2$ 。可见,ALB 与 PMB 股骨止点面积较目前应用移植体横截面积要大得多,而“功能束”面积较直径 6mm 骨道横截面积大,较直径 7mm 骨道横截面积稍小,因此,该部分止点基本可以满足目前 PCL 双束重建骨道需要。如果移植体直径较大,则应以原止点后缘为界,将骨道定位于 footprint 内,即将骨道位置适度向远侧移位(大约 1mm)。

在 PCL 原止点辨认清楚时,则先确认 footprint 边缘及 ALB 与 PMB 交界线,交界线位于窝顶与髌间窝内侧壁交界处,与 B 线基本平行,成角  $3 \sim 5^\circ$ ,开口指向远侧。然

后,将直径合适的骨钻(根据移植骨横截面积确定)分别置于 ALB 近内角与 PMB 近后角处即可。

在 PCL 原止点辨认不清楚时,则根据时钟定位及窝顶与髌间窝内侧壁交界确定 ALB 与 PMB 交界线,然后将直径合适的骨钻置入交界线前方,先调整骨钻外侧缘与 B 线距离,由于距离很小,术中容易操作,然后调节骨钻远侧缘与股骨内侧面软骨缘距离,确定 ALB 骨道位置;根据 ALB 骨道位置,将直径合适的骨钻止于其后侧,保证骨钻近侧缘与 ALB 骨道近侧缘连线与股骨干纵轴垂直,垂腿 90° 位操作时,骨钻位于 ALB 骨道的正后方(解剖位置),根据骨钻边缘与软骨缘最近距离及骨钻与 ALB 骨道边缘距离调节骨钻位置,即可定位 PMB 骨道。由于 PMB“功能束”股骨止点中心与 B 线距离较远,且位于后方,操作不方便, PMB 定位时可不参考该参数。

#### 4 小结

PCL 的 ALB 与 PMB 中均存在“功能束”,提示临床双束重建 PCL 时,股骨骨道应分别定位于 ALB 与 PMB“功能束”股骨止点处。我们还需要在此基础上进一步进行韧带生物力学与重建后膝关节生物力学研究,进而为临床应用提供较全面的参考。

#### 5 参考文献

- [1] Harner CD, Janaushek MA, Kanamori A, et al. Biomechanical analysis of a double-bundle posterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med*, 2000, 28(2): 144 - 151.
- [2] Race A, Amis AA. PCL reconstruction. In vitro biomechanical comparison of 'isometric' versus single and double-bundled 'anatomic' grafts. *J Bone Joint Surg (Br)*, 1998, 80(1): 173 - 179.
- [3] Mannor DA, Shearn JT, Grood ES, et al. Two-bundle posterior cruciate ligament reconstruction. An in vitro analysis of graft placement and tension. *Am J Sports Med*, 2000, 28(6): 833 - 845.
- [4] Edwards A, Bull AM, Amis AA. The attachments of the fiber bundles of the posterior cruciate ligament: an anatomic study. *Arthroscopy*, 2007, 23(3): 284 - 290.
- [5] 刘平, 敖英芳. 膝关节后交叉韧带及板股韧带临床解剖学研究. *中国运动医学杂志*, 2008, 27(2): 189 - 193.
- [6] Lipscomb AB Jr, Anderson AF, Norwig ED, et al. Isolated posterior cruciate ligament reconstruction. Long-term results. *Am J Sports Med*, 1993, 21(4): 490 - 496.
- [7] Wang CJ, Weng LH, Hsu CC, et al. Arthroscopic single-versus double-bundle posterior cruciate ligament reconstructions using hamstring autograft. *Injury*, 2004, 35(12): 1293 - 1299.
- [8] Markolf KL, Feeley BT, Jackson SR, et al. Where should the femoral tunnel of a posterior cruciate ligament reconstruction be placed to best restore anteroposterior laxity and ligament forces? *Am J Sports Med*, 2006, 34(4): 604 - 611.
- [9] Harner CD, Xerogeanes JW, Livesay GA, et al. The human posterior cruciate ligament complex: an interdisciplinary study. Ligament morphology and biomechanical evaluation. *Am J Sports Med*, 1995, 23(6): 736 - 745.
- [10] Galloway MT, Grood ES, Mehalik JN, et al. Posterior cruciate ligament reconstruction. An in vitro study of femoral and tibial graft placement. *Am J Sports Med*, 1996, 24(4): 437 - 445.
- [11] Pearsall AW 4TH, Pyevich M, Draganich LF, et al. In vitro study of knee stability after posterior cruciate ligament reconstruction. *Clin Orthop Relat Res*, 1996, (327): 264 - 271.
- [12] Shearn JT, Grood ES, Noyes FR, et al. Two-bundle posterior cruciate ligament reconstruction: how bundle tension depends on femoral placement. *J Bone Joint Surg (Am)*, 2004, 86(6): 1262 - 1270.
- [13] Markolf KL, Slauterbeck JR, Armstrong KL, et al. A biomechanical study of replacement of the posterior cruciate ligament with a graft. Part 1: Forces in the graft compared with forces in the intact ligament. *J Bone Joint Surg (Am)*, 1997, 79(3): 381 - 386.
- [14] Mejia EA, Noyes FR, Grood ES. Posterior cruciate ligament femoral insertion site characteristics. Importance for reconstructive procedures. *Am J Sports Med*, 2002, 30(5): 643 - 651.
- [15] Edwards A, Bull AM, Amis AA. The attachments of the fiber bundles of the posterior cruciate ligament: an anatomic study. *Arthroscopy*, 2007, 23(3): 284 - 290.
- [16] Gron F, Cuomo P, Aglietti P, et al. Femoral attachment of the anterior cruciate ligament. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2006, 14(3): 250 - 256.
- [17] Takahashi M, Matsubara T, Doi M, et al. Anatomical study of the femoral and tibial insertions of the anterolateral and posteromedial bundles of human posterior cruciate ligament. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2006, 14(11): 1055 - 1059.
- [18] Harner CD, Baek GH, Vogrin TM, et al. Quantitative analysis of human cruciate ligament insertions. *Arthroscopy*, 1999, 15(7): 741 - 749.

(2008.01.22 收稿; 2008.02.27 修回)