

# 基于MRI建立膝关节前交叉韧带三维数字化模型\*☆

陈文栋<sup>1</sup>, 李彦林<sup>2</sup>, 许鹏<sup>2</sup>, 杨光<sup>2</sup>, 王国梁<sup>2</sup>, 马珂<sup>2</sup>, 李青<sup>2</sup>, 李晓林<sup>2</sup>, 曹斌<sup>2</sup>

## Three-dimensional digital model of the anterior cruciate ligament based on magnetic resonance imaging

Chen Wen-dong<sup>1</sup>, Li Yan-lin<sup>2</sup>, Xu Peng<sup>2</sup>, Yang Guang<sup>2</sup>, Wang Guo-liang<sup>2</sup>, Ma Ke<sup>2</sup>, Li Qing<sup>2</sup>, Li Xiao-lin<sup>2</sup>, Cao Bin<sup>2</sup>

### Abstract

**BACKGROUND:** In recent years, the research about three-dimensional digital models of anterior cruciate ligament has been developed rapidly in abroad. However, there is no basic anatomy report about three-dimensional digital models of the knee joint and anterior cruciate ligament at home.

**OBJECTIVE:** To explore the validity and reliability of two-dimensional MRI image and MIMICS software in building three-dimensional digital models of the knee joint and anterior cruciate ligament.

**METHODS:** Twenty fresh normal adult corpse knee-joint specimens were selected, then they were scanned with MRI, acquired continuous image data of level thick 1.0 mm, and these data were imported into computer with DICOM form and were carried through three-dimensional reconstruction by using MIMICS software. The three-dimensional substance digital models of double knee joints which included femur distal end, tibia proximalis, anterior cruciate ligament, meniscus, patella and fibula were reconstructed. Measurement software was utilized for relevant indexes. Meanwhile, the corpse specimens were dissected to measure relevant data of the anterior cruciate ligament, and the difference of measured indexes between the corpse specimen and the three-dimensional substance model was analyzed.

**RESULTS AND CONCLUSION:** There was no difference between the data of corpse specimen and three-dimensional substance digital model ( $P > 0.05$ ). It indicated that MRI image data of the human knee joint and anterior cruciate ligament could be used to reconstruct the authentic and reliable three-dimensional digital models of the knee joint and anterior cruciate ligament.

Chen WD, Li YL, Xu P, Yang G, Wang GL, Ma K, Li Q, Li XL, Cao B. Three-dimensional digital model of the anterior cruciate ligament based on magnetic resonance imaging. Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu yu Linchuang Kangfu. 2011;15(52):9725-9728. [http://www.crter.cn http://en.zglckf.com]

<sup>1</sup>Department of Anesthesiology;  
<sup>2</sup>Department of Orthopedics, the First Affiliated Hospital of Kunming Medical University, Kunming 650032, Yunnan Province, China

Chen Wen-dong☆, Studying for doctorate, Department of Anesthesiology, the First Affiliated Hospital of Kunming Medical University, Kunming 650032, Yunnan Province, China  
chenwendong1105@163.com

Correspondence to: Li Yan-lin, Doctor, Doctoral supervisor, Department of Orthopaedics, the First Affiliated Hospital of Kunming Medical University, Kunming 650032, Yunnan Province, China  
yanlinli1969@yahoo.com.cn

Supported by: Social Development Projects in Yunnan Province, No. 2009CA020\*

Received: 2011-06-16  
Accepted: 2011-08-01

### 摘要

**背景:**近年来有关膝关节前交叉韧带三维数字化模型的研究在国外发展迅速,但在国内,未见对包括全膝关节及前交叉韧带在内的三维数字化模型进行基础解剖研究的报道。

**目的:**评估运用MRI二维图像及MIMICS软件建立膝关节及前交叉韧带三维数字化模型的真实性及可靠性。

**方法:**选择20例新鲜成人尸体正常膝关节标本,利用MRI对本标本进行二维扫描,获得层厚为1.0 mm的连续图像资料,将该资料以DICOM格式导入计算机并利用MIMICS软件进行三维重建,建立包括股骨远端、胫骨近端、前交叉韧带、半月板、髌骨及腓骨等在内的双膝关节三维实体数字化模型,利用测量软件测量相关指标;同时对尸体标本进行解剖并测量膝关节前交叉韧带的相关参数,与模型所测指标行配对比较。

**结果与结论:**尸体标本测量数据与三维实体数字化模型测量数据的结果差异均无显著性意义( $P > 0.05$ )。提示利用MRI采集获得的人体膝关节及前交叉韧带图像数据可以建立较为真实可靠的膝关节及前交叉韧带三维实体数字化模型。

**关键词:**前交叉韧带; MRI; 三维重建; 三维数字化模型; 数字化骨科

doi:10.3969/j.issn.1673-8225.2011.52.008

陈文栋, 李彦林, 许鹏, 杨光, 王国梁, 马珂, 李青, 李晓林, 曹斌. 基于MRI建立膝关节前交叉韧带三维数字化模型[J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2011, 15(52):9725-9728. [http://www.crter.org http://cn.zglckf.com]

## 0 引言

前交叉韧带(anterior cruciate ligament, ACL)损伤是临床较为常见而又严重影响膝关节稳定性的损伤,其发病率较高,在竞技性体育运动、交通事故伤和军事训练中都占有相当高比重,已成为临床上常见多发病之一<sup>[1]</sup>。而ACL损伤难以自愈,治疗不当会导致膝关节不稳,引起膝关节继发半月板、软骨损伤和关节过早退变,严重影响关节功能<sup>[1]</sup>。目前ACL损伤大部分在关节镜下进行微创手术治疗,尽管关

节镜下ACL重建手术有很高的成功率<sup>[2]</sup>,然而文献报道中仍有10%~15%的失败率和高达10%~20%的翻修率<sup>[3]</sup>。就其原因分析得出骨隧道位置不正确是ACL翻修的主要原因,此外,是否达到解剖重建也是其原因。随着计算机辅助外科技术的兴起,它在ACL重建中可提高隧道位置的准确性,完善手术评估,减少手术并发症,为解决这一问题提供了办法<sup>[4]</sup>。因此,本文通过对20例新鲜成人尸体正常双膝关节标本运用MRI及MIMICS软件建立膝关节及ACL三维数字化模型,并对标本进行解剖及相关数据的研究,验证建立的膝关节及ACL三维数字化

昆明医学院第一附属医院, <sup>1</sup>麻醉科, <sup>2</sup>骨科, 云南省昆明市 650032

陈文栋☆, 男, 1981年生, 白族, 昆明医学院在读博士, 主要从事运动医学方面的研究。  
chenwendong1105@163.com

通讯作者: 李彦林, 博士, 博士生导师, 昆明医学院第一附属医院骨科, 云南省昆明市 650032  
yanlinli1969@yahoo.com.cn

中图分类号: R318  
文献标识码: A  
文章编号: 1673-8225(2011)52-09725-04

收稿日期: 2011-06-16  
修回日期: 2011-08-01  
(20110514005/G·C)

模型的真实性及可靠性, 旨在为ACL重建提供精确的数据, 为ACL的进一步研究及模拟ACL重建的临床研究提供指导。

## 1 材料和方法

**设计:** 对比观察。

**时间及地点:** 于2009-10/2010-12在昆明医学院解剖实验室、昆明医学院第一附属医院MRI室及骨科完成。

**材料:** 取20例新鲜成人尸体的正常双膝关节标本作为观察对象, 年龄25~50岁, 由昆明医学院解剖教研室提供。实验前排除外伤骨折、肿瘤、退变、畸形等。分为尸体标本组(40膝)以及根据尸体标本MRI二维图像重建出的三维数字化模型组(40膝)。

**方法:**

**图像采集:** 设备为GE 1.5T超导型磁共振机(General Electric Company, 通用电气公司, 美国)。扫描体位为膝关节自然伸直并外旋10°~15°固定磁共振机用头线圈作为接收线圈, 选择扫描矢状位3D(three-dimensional, 三维)质子密度加权成像序列。成像扫描参数为: TR(重复时间)= 11 000 ms, TE(回波时间)= 25 ms; 层厚=1.0 mm; 层间距 0.2 mm; 回波链14; 激励次数(NEX)=2次; 矩阵=192/320; FOV(视域)=18。并将获得的资料按DICOM格式存入光盘保存。

**三维重建:** 见图1。

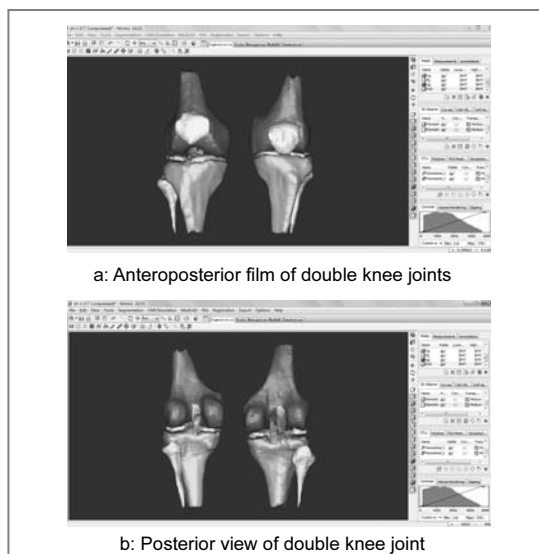


Figure 1 Three-dimensional digital model anatomical images of double knee joints based on MRI

图1 基于MRI图像建立的双膝关节三维数字化模型解剖图

**图像分析及测量:** 见图2。

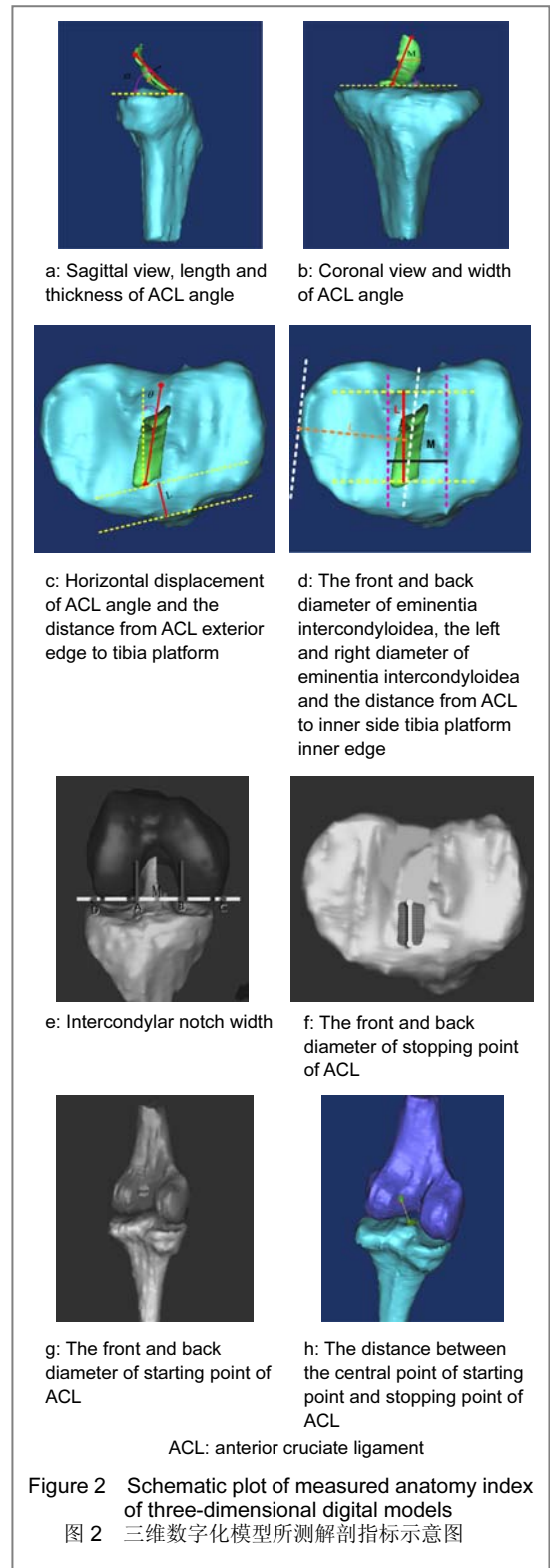


Figure 2 Schematic plot of measured anatomy index of three-dimensional digital models  
图2 三维数字化模型所测解剖指标示意图

将按照DICOM标准存储的膝关节MRI断层影像数据在电脑(操作系统Windows 7)上导入医学有限元仿真软件Mimics 10.01(Materialise公司, 比利时)进行图像分割与三维重建。最后建立包括股骨远端、胫骨近端、ACL、半月板、髌骨及腓骨等在内的完整双膝关节三维实体数

数字化模型(图1), 以stl格式导出保存。

分析交叉韧带显示情况和程度, 再用医学有限元仿真软件Mimics 10.01自带测量工具分别测量ACL的解剖数据(图2), 作为三维数字化模型组。

**膝关节ACL解剖观察及解剖参数测量:** 对20例新鲜成人尸体正常双膝关节标本进行解剖, 并测量膝关节ACL解剖相关数据, 作为尸体标本组。测量指标为矢状面、冠状面及用量角器测量ACL前内缘及后外缘分别与水平面的角度, 其余指标均采用游标卡尺(力易得/E0541, 精确0.02 mm, 北京和邦机械制造有限公司, 中国)测量。每个标本均测量3次, 取均值。以上的实验及测量均由同一组实验人员进行。

**统计学分析:** 所有数据以 $\bar{x}\pm s$ 表示, 应用SPSS 13.0软件包建立数据库, 并进行统计学分析。采用 $t$ 检验, 检验水准为 $\alpha=0.05$ ,  $P < 0.05$ 认为差异有显著性意义。

## 2 结果

**2.1 尸体标本ACL解剖参数与三维数字化模型所测指标的比较** 尸体标本ACL相关解剖与三维数字化实体模型测量指标的比较结果差异均无显著性意义( $P > 0.05$ ), 见表1。验证了基于MRI二维图像建立的膝关节ACL三维数字化模型的ACL相关解剖指标的真实性及可靠性。

表1 尸体标本前交叉韧带解剖参数与三维数字化模型所测指标的比较  
Table 1 Comparison of anterior cruciate ligament (ACL) anatomy index between corpse specimen and the measured index with three-dimensional digital model ( $\bar{x}\pm s$ ,  $n=40$ , mm)

Index	Corpse specimen group	Three-dimensional digital model group	$P$
The front and back diameter of starting point of ACL	6.44±2.51	6.24±2.15	0.070
The front and back diameter of stopping point of ACL	7.14±1.86	6.82±1.34	0.065
The distance between central point of starting point and stopping point of ACL	39.25±1.56	39.81±1.83	0.084
ACL length	39.84±1.81	40.23±1.32	0.054
Intercondylar notch width	19.22±0.44	19.51±0.83	0.061
The distance from ACL leading edge to tibia platform	7.85±1.52	7.64±1.23	0.057
The front and back diameter of eminentia intercondyloidea	10.02±0.23	10.21±0.35	0.089
The left and right diameter of eminentia intercondyloidea	15.52±0.41	15.14±0.56	0.091
The distance from ACL to inner side tibia platform inner edge	27.57±0.33	27.32±0.64	0.078
ACL thickness	6.06±2.21	5.82±1.73	0.113
ACL width	10.02±1.03	9.94±1.35	0.059

**2.2 尸体标本ACL角度与三维数字化模型测量值的比较** 尸体标本ACL角度与三维实体模型角度测量值间差异无显著性意义( $P > 0.05$ ), 见表2。验证了基于MRI

二维图像建立的膝关节ACL三维数字化模型ACL角度的真实性及可靠性。

表2 尸体标本前交叉韧带角度与三维数字化模型测量值的比较  
Table 2 Comparison of anterior cruciate ligament angle between corpse specimen and three-dimensional digital model ( $\bar{x}\pm s$ ,  $n=40$ , °)

Item	Corpse specimen group	Three-dimensional digital model group	$P$
Coronal view	26.14±3.34	28.01±4.03	0.082
Sagittal view	39.51±4.12	40.21±4.42	0.057
Horizontal displacement	23.12±5.01	21.43±3.07	0.087

## 3 讨论

ACL解剖复杂, 其分支的解剖变异比较多, 多数由2支构成, 也可以由1束或3束组成<sup>[5-12]</sup>。其复杂性表现在结构和功能上, 对膝关节的稳定性和功能有重要的意义。虽然ACL重建手术有很高的成功率, 然而文献报道中仍有一定的失败率和翻修率<sup>[13-14]</sup>。究其原因就是隧道的定位及是否达到解剖重建, 因此, ACL的解剖研究显得尤为重要。随着计算机及图像技术的迅猛发展和社会信息化进程, 计算机辅助三维重建技术广泛应用于医学领域, 其优点在于三维立体解剖结构可从任意角度、方向上观察, 为研究ACL的解剖提供了精确的方法。

医学图像的三维重建最早可以追溯到20世纪70年代初, Lespessailles等<sup>[15]</sup>、Bouxsein等<sup>[16]</sup>和Poll等<sup>[17]</sup>的文章里提到的Fisherman等采用表面提取法首先实现。戴朴等<sup>[18]</sup>认为利用三维模型并结合三维测量软件能获得结构的长度、面积、体积、角度等精确的解剖学参数。而三维影像的质量与原始影像的质量密切相关, 对于软组织成像来说, 最好的设备是MRI。有文献报道MRI诊断交叉韧带位置的敏感度为80%~90%<sup>[19-21]</sup>。已有学者致力于MRI影像三维重建的研究, 颞下颌关节的三维影像重建已见报道<sup>[22]</sup>, 在颅血管成像中也有成功经验。但尚未见基于MRI影像三维重建的研究。

本文通过目前较为成熟的三维软件成像技术, 利用20具新鲜尸体标本的双膝关节及交叉韧带的MRI影像数据, 重建包括股骨远端、胫骨近端、ACL及关节内衬结构在内的三维数字化实体模型, 并对尸体标本进行精细的解剖分析, 更加准确和全面的观察研究交叉韧带的解剖。测量尸体标本的解剖数据及用医学有限元仿真软件Mimics 10.01软件自带测量工具测量尸体三维数字化模型ACL的相关解剖数据, 与Carey等<sup>[23]</sup>提到的Reiman实体测量数据、Van Eck等<sup>[24]</sup>研究得出的解剖数据相近似。此外, 作者将该数据与该20具尸体的双膝关节ACL实际解剖数据作比较, 差异无显著性意义, 验证了采用

MRI二维图像建立的膝关节及ACL三维模型的真实性及可靠性,为ACL的重建手术提供准确的数据。同时,作者在对膝关节ACL进行核磁共振成像的基础上,将按照DICOM标准存储膝关节MRI断层影像数据导入Mimics 10.01进行图像三维重建,获得膝关节交叉韧带的三维模型,这种方法信息丢失少,能较真实地反映物体的形态,有一定的准确性。但是,目前MRI是软组织成像相对较好的设备,但对于骨骼来说CT的成像效果具有明显的优势,因此本文通过膝关节的MRI扫描的二维图像数据三维重建膝关节的股骨、胫骨部分可能存在骨骼效果不佳的问题。同时膝关节MRI的二维图像中,ACL两端的显像不是很明显,这就是为什么尸体标本三维数字化模型的ACL长度相对于尸体实际测值有点短,以及胫骨端、股骨端附着点解剖数据相对偏小的原因。而尸体标本解剖的实测值,由于某些部位的滑膜脂肪组织的遮挡故有可能将部分脂肪组织计算于ACL的相关解剖测量值内而使实测值偏大,但差异无显著性意义。此外,尸体标本的软组织还存在水分丢失和变形等问题,可能会对尸体三维数字化模型建立以及模型的解剖测量有影响。

综上所述,运用MRI及MIMICS软件建立膝关节及ACL三维模型具有一定地真实性和可靠性。MRI影像是真实的人体断面数字化图像,MRI影像数据三维重建的交叉韧带三维可视化图像是人体交叉韧带的真实体现,高度真实还原人体的交叉韧带,立体直观,计算机软件对解剖参数的测量也减小了人为因素的误差。并使其在三维空间中具有准确的定位和各种三维数据,是对传统解剖学研究的一种新的研究途径,是对交叉韧带传统解剖学的补充和发展。可以为进一步研究ACL的形态与功能关系提供精确的解剖基础,以及为临床ACL的重建手术提供精确的数据指导。

#### 4 参考文献

[1] Wang Q, Huang HY. Zhonghua Chuangshang Guke Zazhi. 2010; 12(4):384-386.  
王庆,黄华扬.关节镜下前交叉韧带单束重建技术中隧道制备的研究进展[J].中华创伤骨科杂志,2010,12(4):384-386.

[2] Freedman KB, D'Amato MJ, Nedeff DD, et al. Arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction: a meta-analysis comparing patellar tendon and hamstring tendon autografts. Am J Sports Med. 2003; 31(1):2-11.

[3] Plaweski S, Pearle A, Granchi C, et al. PRAXIM ACL navigation system using Bone Morphing. In: Navigation and MIS in Orthopedic Surgery. Berlin: Springer, 2006:306-332.

[4] Eichhorn HJ. Image-free navigation in ACL replacement with the OthoPilot system. In: Navigation and MIS in Orthopedic Surgery. Berlin: Springer, 2006:306-314.

[5] Petersen W, Zan top T. Anatomy of the anterior cruciate ligament with regard to its two bundles. Clin Orthop Relat Res. 2007;454(1): 35.

[6] Petersen W, Tillmann B. Anatomy and function of the anterior cruciate ligament. Orthopade. 2002;31(8): 710.

[7] Duthon VB, Barea C, Abrassart S, et al. Anatomy of the anterior cruciate ligament. Knee Surg. 2006;14(3):204-213.

[8] Chhabra A, Starman JS, Ferretti M, et al. Anatomic, Radiographic, Biomechanical and Kinematic Evaluation of the Anterior Cruciate Ligament and its Two Functional Bund -les. J Bone Joint Surg Am. 2006;88 ( Supp 14): 2-10.

[9] Angelini FJ, Albuquerque RF, Sasaki SU, et al. Comparative study on anterior cruciate ligament reconstruction: determination of isometric points with and without navigation. Clinics (Sao Paulo). 2010; 65(7):683-688.

[10] Silva MR. The locomotor system as seen in Brazilian scientific journals: a mini review. Clinics (Sao Paulo). 2010; 65(12):1379-1382.

[11] Martineau PA, Fening SD, Miniaci A. Anterior opening wedge high tibial osteotomy: the effect of increasing posterior tibial slope on ligament strain. Can J Surg. 2010; 53(4):261-267.

[12] Savarese E, Bisicchia S, Romeo R, et al. Role of high tibial osteotomy in chronic injuries of posterior cruciate ligament and posterolateral corner. J Orthop Traumatol. 2011; 12(1):1-17.

[13] Han HS, Seong SC, Lee S, et al. Anterior cruciate ligament reconstruction: quadriceps versus patellar autograft. Clin Orthop Relat Res. 2008; 466(1):198-204.

[14] Pässler HH. Anatomic anterior cruciate ligament reconstruction with hamstrings using press-fit fixation without hardware: operative technique and long-term results of a prospective and randomized study. Unfallchirurg. 2010; 113(7):555-560.

[15] Lespessailles E, Chappard C, Bonnet N, et al. Imaging techniques for evaluating bone microarchitecture. Joint Bone Spine. 2006; 73(3):254-261.

[16] Bouxsein ML. Technology insight: noninvasive assessment of bone strength in osteoporosis. Nat Clin Pract Rheumatol. 2008; 4(6):310-318.

[17] Poll LW, Chantelau EA. Routine MRI findings of the asymptomatic foot in diabetic patients with unilateral Charcot foot. Diabetol Metab Syndr. 2010; 2:25.

[18] Dai P, Jiang QC, Gu R, et al. Zhonghua Erbiyanhouke Zazhi. 1991;26(5):272-274.  
戴朴,姜泗长,顾瑞,等.听骨链的计算机三维重建及力学模型建立[J].中华耳鼻咽喉科杂志, 1991,26(5):272-274.

[19] Brophy RH, Voos JE, Shannon FJ, et al. Changes in the length of virtual anterior cruciate ligament fibers during stability testing: a comparison of conventional single-bundle reconstruction and native anterior cruciate ligament. Am J Sports Med. 2008;36(11): 2196-203.

[20] Robinson J, Stanford FC, Kendoff D, et al. Replication of the range of native anterior cruciate ligament fiber length change behavior achieved by different grafts: measurement using computer-assisted navigation. Am J Sports Med. 2009;37(7): 1406-1411.

[21] Brophy RH, Pearle AD. Single-bundle anterior cruciate ligament reconstruction: a comparison of conventional, central, and horizontal single-bundle virtual graft positions. Am J Sports Med. 2009; 37(7):1317-1323.

[22] Guo H, Liu HC, Zhang RQ, et al. Xindai Kouqiang Yixue Zazhi. 2003;1(3):134-136.  
郭宏,刘洪臣,张润荃,等.颞下颌关节MR三维影像重建研究[J].现代口腔医学杂志,2003,1(3):134-136.

[23] Carey JL, Dunn WR, Dahm DL, et al. A systematic review of anterior cruciate ligament reconstruction with autograft compared with allograft. J Bone Joint Surg Am. 2009; 91(9):2242-2250.

[24] Van Eck C, Working Z, Fu F. Current concepts in anatomic single- and double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction. Phys Sports Med. 2011;39(2):140-148.

#### 来自本文课题的更多信息--

**基金资助:** 云南省社会发展计划项目资助项目 (2009CA020), 题目: 可视化前交叉韧带仿真重建手术模拟系统的研发及应用示范。

**作者贡献:** 实验设计、实施、指标的测量、统计学处理均由全体作者共同完成。

**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。

**伦理批准:** 实验中的尸体由昆明医学院解剖实验室提供, 得到学校伦理道德委员会批准。

**本文创新性:** 文章的创新性在于利用 MRI 采集获得的人体膝关节及前交叉韧带图像数据可以建立较为真实可靠的膝关节及前交叉韧带三维实体数字化模型, 该模型有望用于模拟前交叉韧带重建的临床研究。