

猪膝关节与人膝关节的对比及其在生物力学测试中的应用

刘亚龙 吕松岑[△] 张 滨 程 实 张继通

(哈尔滨医科大学附属第二医院骨四科 黑龙江 哈尔滨 150086)

摘要 :人膝关节结构复杂,韧带较多,其中交叉韧带对维持膝关节的稳定性至为重要。后交叉韧带(posterior cruciate ligament, PCL)对于维持膝关节的后向稳定性和旋转稳定性具有至关重要的作用。PCL 损伤后的主观不适症状要明显少于前交叉韧带损伤,所以过去对 PCL 的关注及研究要少于前交叉韧带。近年来高能量损伤致使 PCL 的损伤越来越多,学者们对 PCL 的关注度也在增加,进行了大量与 PCL 相关的实验,同时我们发现很多学者用动物的膝关节来代替人尸体进行体外生物力学实验,其中猪膝关节应用的最为广泛,基于这种情况,本文就猪膝关节的解剖结构与人的进行了比较,对其在体外生物力学实验中的应用进行了综述。

关键词 :后交叉韧带;生物力学;解剖学

中图分类号 :R684.7 **文献标识码** :A **文章编号** :1673-6273(2012)27-5397-03

The Porcine Knee Joint is Compared with the Knee Joint and the Biomechanical Testing of Application

LIU Ya-long, LV Song-cen[△], ZHANG Bin, CHENG Shi, ZHANG Ji-tong

(The Second Affiliated Hospital of Harbin Medical University Bone four families, Heilongjiang province, Harbin 150086, China)

ABSTRACT: One knee structure is complex, ligament is more, including cruciate ligament in maintaining the stability of the most important. Posterior cruciate ligament to maintain the stability of the knee joint to rotate and after the stability of vital role. PCL after injury subjective symptoms was less than anterior cruciate ligament damage, in the past, PCL attention and research of less than anterior cruciate ligament. In recent years the PCL high-energy injuries of the damage is more and more, to the attention of scholars PCL also increased, with a lot of experiments PCL related, and we find that many scholars made of animal knee to replace human body in biological mechanics experiments, of which the most extensive application porcine knee, based on this kind of situation, this paper the anatomical structure and porcine knee of comparison, the in vitro biological mechanics experiments in this paper reviewed the application.

Key words: Posterior cruciate ligament; Biomechanics; Anatomy

Chinese Library Classification(CLC) :R684.7 **Document code** :A

Article ID: 1673-6273(2012)27-5397-03

膝关节交叉韧带分两束,前交叉韧带(cruciate ligament A-CL)和后交叉韧带(posterior cruciate ligament, PCL)。前交叉韧带主要是维持胫骨的前向和旋转稳定性,并且针对前交叉韧带的解剖学研究也较后交叉韧带的要早。后交叉韧带也对维持膝关节起着至关重要的作用^[1-3],它接近于膝关节的中心位置,具有膝关节屈伸和旋转运动轴的功能,维持着胫骨的后向和旋转稳定性。对比后交叉韧带与前交叉韧带的位置可以发现,后交叉韧带位置偏后方,而且较深,因此在意外事件中损伤的几率相对较低,真正能累积后交叉韧带的只有 3.4%~20%^[4],远少于前交叉韧带损伤常见,相应的治疗经验和实验研究也要少于前交叉韧带。后交叉韧带的解剖已经研究很透彻了,现在更多的是集中在与治疗有关的体外生物力学方面。猪膝关节与人膝关节存在相似性,猪膝关节的稳定性也主要是由前后交叉韧带

与周围韧带共同维持,并且猪膝关节代替人膝关节进行了大量的生物力学实验^[5],本文就相关的实验文献进行综述。

1 人交叉韧带的解剖结构与猪的比较

对人后交叉韧带解剖结构的研究已经较为成熟,然而在体外生物力学试验中,以人为实验对象存在较多困难,动物膝关节作为代替人膝关节被引入到相关的实验中,研究中发现猪膝关节与人的膝关节结构和功能相似度较高。Covey^[6]等人在实验中发现交叉韧带结构较为复杂,后交叉韧带是膝关节中最强的韧带,其强度是前交叉韧带的 2 倍,对维持膝关节的后向及旋转稳定性有决定性作用。后交叉韧带纤维束起源于股骨内侧髁关节的外侧面,附着点偏后,后交叉韧带连接着股骨和胫骨,向后下方走行于股骨和胫骨之间,胫骨附着点位于髁间脊后部的胫骨后窝处,并与外侧半月后角相联结,后交叉韧带的纵轴和胫骨平台的夹角大约 70°。而 Franz^[7]等人对 20 例新鲜的猪膝关节进行了解剖和功能方面的研究(见图 1),发现猪的后交叉韧带带主要功能也是维持膝关节的后向及旋转稳定性,并且交叉韧带的起源、终止点和走行方向与人相同。其中间的体部纤维束最为紧密最狭窄,两端的纤维较为疏松宽大,呈扇形向

作者简介 刘亚龙(1982-)男,硕士研究生,主要研究方向:猪膝关节交叉韧带的解剖结构,电话:15104576475,
E-mail: mdjxylyl@163.com

△通讯作者 吕松岑 E-mail: xyqqt1@163.com

(收稿日期:2012-04-23 接受日期:2012-05-19)

两边延伸,如同树根一样附着于胫骨上,股骨上的附着点比胫骨附着点宽大,这些均与人的相似,但是外观上可见股骨附着点占髁间窝的比例要大于人的。Girgis^[8]等人对本国人的膝关节进行了详细的解剖学研究,测得 PCL 的长度均值为 38 mm,宽度均值 13 mm。陶澄^[9]等人测量我们中国人 PCL 的长度均值为 33.8 mm,宽度均值为 10.4 mm,此值小于西方人种。人前交叉韧带稳定的分为两束,后交叉韧带的分束方法较多, Kurosawa^[10]等人观察纤维束在股骨外侧髁内侧面附着点的部位将后交叉韧带分为前、中、后三个纤维束,然而 Makris^[11]和 Covey^[6]等又将 PCL 分为前、中、后纵、后斜四个纤维束, Girgis 等首次将人的后交叉韧带分为前外(the anterolateral bundle, ALB)与后内(the posteromedial bundle, PMB)两个纤维束,引入了人后交叉韧带的两束概念,后交叉韧带分束争议较多,但大多学者和临床工作者认可后交叉韧带的两束分法:前外侧纤维束和后内侧纤维束^[9,12,13]。两束中前外侧纤维束比后外侧纤维束粗壮,大约是后外侧纤维束束的两倍。两束共同在膝关节活动中发挥着维持膝关节稳定的作用。前外侧纤维束从 0° 屈膝到 120° 的过程中紧张度不断增高,后外侧纤维束在伸膝和过度屈超过 120° 的时候紧张。在猪膝关节中前交叉韧带最主要是抑制过伸和胫骨的前移位,后交叉韧带是抑制屈曲和胫骨的后移位,人膝关节伸直可达 0°, 屈曲可达 140°, 猪膝关节始终处于屈曲位,屈曲角度范围为 30° ~ 170°, 由此可见人的伸直功能

更好,而猪膝关节的屈曲功能更佳,这种不同主要是取决于猪的胫骨较短,猪外侧半月后脚板韧带较粗大,它明显限制了猪膝关节的伸直,与人和猪行走的姿势无关。人后交叉韧带的纤维束较前交叉韧带纤维束粗大,大约是前交叉韧带的两倍。在猪的解剖学实验中发现猪的前后交叉韧带均分为两束,猪前交叉韧带胫骨端自然分为两个纤维束单位,在胫骨端,外侧半月板前角韧带至于两束之间,而内侧半月板的前角韧带位于前交叉韧带的上面,人的前交叉韧带虽然可以分为两束,但不像猪前交叉韧带的那样自然分束。猪后交叉韧带也可分为两束,没有前交叉韧带那样的自然分束,这点与人相似,其在股骨端的附着区域将后交叉韧带解剖下来发现,有一隆起的骨性脊将后交叉韧带分为两束,这点与人的相似。Lopes^[14]等人实验发现在后交叉韧带的前外束和后内束之间有一个小的骨性隆起,在后交叉韧带的前外侧束和后内侧束股骨止点的斜面上可以清楚的看到。将后交叉韧带在股骨和胫骨上的附着部分完整的解剖下来,通过测量发现,股骨端韧带宽(20.6 ± 1.3) mm,体部最狭窄处(10.4 ± 1.0) mm,胫骨端的韧带宽度为(15.6 ± 1.8) mm。前外侧纤维束和后内侧纤维束在股骨附着区域的面积分别是(58.0 ± 25.4) mm²和(64.6 ± 24.7) mm²,在胫骨端,前外侧纤维束和后内侧纤维束附着区域的面积分别是(46.7 ± 15.6) mm²和(115.8 ± 54.6) mm²。但有关猪 PCL 附着点的解剖学研究确没有明确的文献数据。

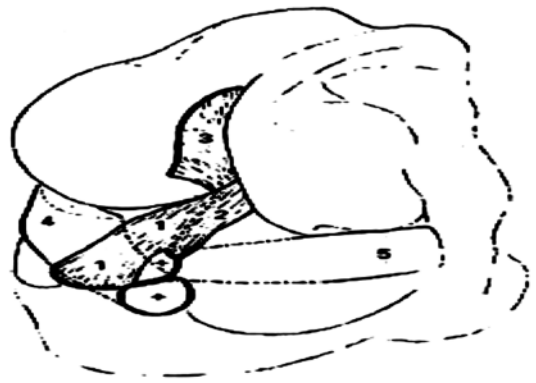
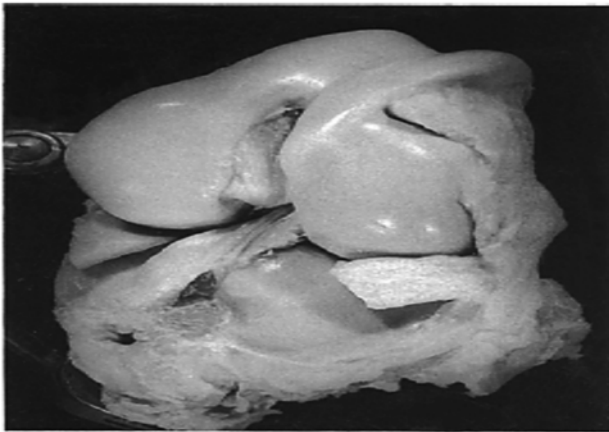


图 1 家猪左膝关节屈曲位,前面观。前交叉韧带的前内侧束(1)和外侧束(2) β 后交叉韧带 +, 插入到内侧(4)和外侧(5)半月板。

Fig. 1 Left knee joint of *Sus scrofa domestica* in flexion, anterior aspect. Anteromedial (1) and posterolateral (2) portion of the ACL; 3, PCL; +, insertions of the medial (4) and lateral (5) meniscus

2 猪膝关节在体外生物力学方面的应用

人后交叉韧带的解剖研究已经很完善,但是后交叉韧带损伤后的治疗仍存在很多问题。目前后交叉韧带损伤的重建主要是以关节镜治疗为主,关节镜治疗具有创伤小和恢复快的优点,这种术式需要用到代替肌腱和固定器,并且要求较高,因此为了提高手术的治疗效果学者为此进行了大量的生物力学实验,不断的推陈出新寻求更佳的肌腱代替物和固定器,以及寻求更合理的手术操作技术^[15-16],为此进行了大量的体外生物力学实验。这种力学测试实验不能用健康的人或者患者作为实验对象,除此以外最先想到的是尸体作为实验材料,但实验对材料的需求量较大,往往凑齐实验材料就需要很长的时间,并且

存在伦理道德问题,慢慢的学者们发现有些动物的膝关节可以代替人膝关节进行实验,为实验带来了很大的便利,也推动了后交叉韧带体外生物力学研究的进展。虽然猪膝关节尚未完全取代人膝关节,但猪膝关节代替人膝关节已经频繁的应用在体外生物力学实验。主要应用于内固定物,移植物的强度比较,不同骨道的强度对比。现今关节镜下后交叉韧带重建的固定方法有挤压螺钉、EndoButton 等固定方法,经过长期的临床和实验发现认为 EndoButton 固定更为确切,并且不存在术后远期骨道扩大的问题。Lee^[17]等人在猪膝关节上进行后交叉韧带重建,应用不同的固定方式,探讨了胫骨后悬吊固定法和骨道扩大之间的关系,探讨固定物的生物力学特性,最终认为胫骨后的悬吊固定强度是可靠的。如今镜下后交叉韧带重建的代替物较

多:自体肌腱主要有腓绳肌肌腱、半腱肌肌腱、股四头肌肌腱-髌骨、骨-髌腱-骨、跟腱等占时还没有定论或金标准说明那种自体移植是最好的,腓绳肌肌腱和半腱肌肌腱近年来是在临床上应用最多的自体肌腱,取材操作简单,医源性损伤较小,对膝关节功能恢复和本体感觉的改善有积极作用,临床疗效较满意。黄华扬^[18]等采用半腱肌肌腱移植重建后交叉韧带,术后平均随访33个月,恢复较为满意,认为半腱肌是重建后交叉韧带的理想的移植物。Ettinger^[19]等人在30例猪膝关节上进行后交叉韧带重建,移植物分别是人的半腱肌和带骨块的股四头肌,通过生物力学测试显示带骨块的股四头肌的强度较为理想。同种异体材料主要有骨-髌腱-骨、带骨块的跟腱、半腱肌腱、带骨块的股四头肌、足趾屈肌腱及阔筋膜等。张晖等^[20]对用同种异体BPB和异体骨-跟腱作为移植材料重建后交叉韧带的生物力学特性进行分析,结论是同种异体骨-跟腱移植重建的后交叉韧带具有与正常后交叉韧带相似的生物力学特性,术后能较好的恢复膝关节的功能和稳定性。人工韧带在临床上的应用仍存在争论。其优点是长度和生物力学强度够,避免了对患者的医源性损伤,是手术操作简单,并且术后恢复快,可以使膝关节早起恢复稳定性。王昆等^[21]人进行了生物型人工韧带的体外检测和体内组织相容性的实验研究。采用了最新的生化处理技术制成的生物型人工韧带,能有效地去除了猪肌腱中含有的异种蛋白的免疫原性,进而具有良好的生物力学特性和组织相容性,作为膝关节交叉韧带重建的韧带替换材料具有良好的应用前景。交叉韧带重建的骨道有很多种,早期是单束重建,随后逐渐进行了技术行改良,相应的出现了双束重建,最终种骨道更有优势呢?Aníbal^[22]等人针对交叉韧带重建中不同骨道存在的争议进行了生物力学实验,24例猪的膝关节随机分组,第一组:在胫骨和股骨均打的单骨道,进行重建。第二组:在胫骨上打单骨道,股骨上打双骨道,进行重建。第三组:在胫骨上打双骨道,股骨上打单骨道,进行重建。然后分别对三个实验组进行生物力学测试,将所得的生物力学数据进行对比分析,认为双束重建更能接近膝关节的正常解剖结构,双束重建后交叉韧带束重建。

3 展望

近年来围绕后交叉韧带损伤治疗的研究越来越多,在体外的生物力学实验中需要大量尸体,但是以尸体为实验材料存在伦理道德、不易获得、储存困难等问题,给后交叉韧带损伤治疗的相关实验造成了很大的困难。为了加强医学实验给临床提供更大的帮助,学者的研究比较发现有些动物,例如狗、羊、兔子、牛等,膝关节结构与人的相似,进而在体外生物力学实验中动物模型代替了尸体^[23-26]。在大量的中外文献中发现猪膝关节时应用最多的,但试验中大多以人为标准,例如进行猪后交叉韧带重建的骨道直径基本上都是7mm和8mm,尚没有那篇文章提供了猪膝关节前、后交叉韧带附着点的面积和直径的大小,这些精确的解剖学数据对我们的实验有很大的指导作用,因此在以后得工作中我们有必要对与人相似的动物膝关节进行详细的研究,在体外生物力学试验中动物膝关节虽然尚未能完全代替人膝关节,但是动物膝关节便宜,方便储存和处理,更不存在伦理道德问题,并且我们容易获得到同性别、同年龄段、

同一侧的膝关节,因此动物膝关节在体外生物力学实验中具有很大的潜力,我们有必要对此进行更深入的研究。

参考文献 (References)

- [1] Race A, Amis AA. Loading of the two bundles of the posterior cruciate ligament:an analysis of bundle function in a-P drawer[J].Biomech, 1996,29(7):873-879
- [2] Noyes FR, Grood ES, Torzili PA, et al. The definitions of term for motion and position of the knee and injuries of the ligaments[J].J Bom Joint Surg,1989,71(3):465-472
- [3] 吕厚山主译. 膝关节外科学[M].北京:人民卫生出版社,2006:45
Lv Hou-Shan, Knee surgery[M]. Beijing: People's medical publishing house,2006:45
- [4] Matthews LS, Lawrence SJ. Fixation strengths of patellar tendon-bone grats[J]. Arthroscopy,1993,9(1):76-81
- [5] Lertwanich P, Martins CA, Kato Y, et al. Contribution of the menisco-femoral ligament as a restraint to the posterior tibial translation in a porcine knee [J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc,2010,18(9): 1277-1281
- [6] Covery DC, Sapega AA, Sherman GM, et al. Testing for isometry duing posterior cruciate ligament reconstruction[J]. Tians Orthop Res,1992 :17-655
- [7] FRANZ K. Anatomy and function of the cruciate ligaments of the dome-stic pig (Sus scrofa domestica): a comparison with human cruciates[J]. Anat,1991,17(8):11-20
- [8] Girgis FG, Marshall JL, Monajem A, et al. The cruciate ligament of the knee joint.Anatomical functional and experimental analysis [J].Clin Orthop Relat Res,1975,10(6):216-231
- [9] 陶澄,何爱咏,王万春. 膝关节后交叉韧带解剖研究及临床意义[J].中国解剖学杂志,2007,25(2):176-178
Tao Cheng, He Ai-yong, Wang Wan-chun, et al. Anatomy and clinical value of the Posterior cruciate ligament of knee joint [J]. The Chinese clinical anatomy magazine,2007,25(2):176-178
- [10] Kurosawa H, Yamakoshi K, Yasuda K, et al. Simultaneous measurement of changes in length of the cruciate ligaments during knee motion[J]. Clin orthop Relat Res,1991,26(5): 223-240
- [11] Makris CA, Georgoulis AD, Papageorgiou CD, et al. Posterior cruciate ligament architecture:evaluation under microsurgical dissection [J]. Arthroscopy,2000,16(6):627-632
- [12] TakahashiM, Matsubara T, DoiM, et al. Anatomical study of the femoral and tibial insertions of the anterolateral and posteromedial bundles of human posterior cruciate ligament aments [J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc,2006,14(11):1055-1059
- [13] AmisAA, BullAM, Gup te CM, et al. Biomechanics of the PCL and related structures:posterolateral,posteromedial and meniscofemoral ligam-aments [J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc,2003,11(5): 271-281
- [14] Lopes OV Jr, Ferretti M, Shen W, et al. Topography of the femoral attachment of the posterior cruciate ligament[J]. J Bone Joint Surg Am, 2008,90(2):249-255
- [15] 崔先春,聂鹏. 膝关节后交叉韧带解剖及治疗现状研究进展[J].中医学报, 2009,11(6):145-147
Cui Xian-zhang, Nie Peng. Posterior the cruciate ligaments anatomy and treatment research progress status [J]. Journal of Chinese Medici-

ne,2009,11(6):145-147

- [16] 王上增,孙永强.关节镜下膝后交叉韧带重建的研究进展[J].中医正骨,2005,12(15):112-114
Wang Shang-zeng, Sun Yong-qiang. Arthroscopic knee posterior the research progress of the cruciate ligament reconstruction[J]. The Journal of Traditional Chinese Orthopedics and Traumatology,2005,12(15):112-114
- [17] Lee YS, Han SH, Kim JH, et al. A biomechanical comparison of tibial back side fixation between suspensory and expansion mechanisms in trans-tibial posterior cruciate ligament reconstruction[J]. Knee,2012,19(1):55-59
- [18] 黄华扬,张余,曹正霖,等.关节镜下双股半腱肌腱重建后十字韧带及相问题的探讨[J].中华骨科杂志,2003,23(7):19-21
Huang Hua-yang, Zhang Yu, Cao Zheng-lin, et al. Arthroscopic reconstruction of posterior cruciate ligament using hamstring tendons transfer and evaluation of its clinical evaluation[J]. Chinese Journal of Orthopaedics,2003,23(7):19-21
- [19] M.Ettinger T, Wehrhahn M, Petri, et al. The fixation strength of tibial PCL press-fit reconstructions [J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc,2012,20(2):308-314
- [20] 张晖,刘晓民,王润生,等.同种异体骨-中1/3髌腱-骨-骨-跟腱移植重建羊膝关节后交叉韧带的比较研究[J].中华创伤杂志,2004,20(2):77-82
Zhang Hui, Liu Xiao-min, Wang Run-sheng, et al. Allografts stored in patellar tendon third-bone, bone-Achilles tendon graft reconstruction

the sheep knee the comparative study of the posterior cruciate ligament[J]. Chinese Journal of Trauma,2004,20(2):77-82

- [21] 王昆,朱蕾.生物型人工韧带的体外检测和体内组织相容性的实验研究[J].中国病理生理杂志,2010,26(12):2394-2399
Wang Kun, Zhu Lei. Experimental study on structure, mechanical properties and biocompatibility of artificial biological ligament in vitro and in vivo[J]. Chin J Pathophysiology,2010,26(12):2394-2399
- [22] Aníbal Debandi, Akira Maeyama, Songcen Lu, et al. Biomechanical comparison of three anatomic ACL reconstructions in a porcine model [J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc,2011,19:728-735
- [23] Peng L, Lu W. Experimental study on fixed angle adjustment in simultaneous reconstruction of anterior and posterior cruciate ligament [J]. Chinese Journal of Reparative and Reconstructive Surgery,2011,25(8):980-983
- [24] Zielinski JR, Rudnicka A. Tensile strength and Young's modulus of the posterior cruciate ligament in the dog[J]. Folia Morphol (Warsz),1975,34(3):249-257
- [25] Meller R, Schiborra F. Postnatal maturation of tendon, cruciate ligament, meniscus and articular cartilage: a histological study in sheep[J]. Ann Anat,2009,191(6):575-585
- [26] Jaber FM, Abbasi H. A modification of tibial inlay fixation in posterior cruciate ligament reconstruction by interference screw: a biomedical study on calf tibial bone model [J]. Arch Orthop Trauma Surg,2010,130(9):1065-1069

(上接第 5240 页)

- [12] 丁红雷. 肠出血性大肠杆菌 O157:H7 的分子生物学检测方法研究进展[J].国外临床生物化学与检验学分册,2005,26(8):523-526
Ding Hong-lei. O157:H7 molecular biology Method [J]. Foreign Clinical Biochemistry and Laboratory volumes,2005,26(8):523-526
- [13] Hayashi T, Maki no K, Ohnishi M, et al. Complete genome sequence of enterohemorrhagic Escherichia coli O157:H7 and genomic comparison with a laboratory strain K-12 [J]. DNA Res,2001,8(1):11-22
- [14] Klevyt ska AM, Price LB, Schupp JM, et al. Identification and characterization of variable number tandem repeats in the Yersinia pestis genome [J]. J Clin Microbiol,2001,39(9):3179-3185
- [15] Keim P, Price LB, KleVytska AM, et al. Multiple-locus variable-number tandem repeat analysis reveals genetic relationships within Bacillus anthracis [J]. J Bacteriol,2000,182(10):2928-2936

- [16] Zhao S, Mitchell SE, Meng J, et al. Genomic typing of Escherichia coli O157:H7 by semi-automated fluorescent AFLP analysis [J]. Microbes Infect,2000,2(2):107-113
- [17] Iyoda S, Wada A, Weller J, et al. Evaluation of AFLP analysis on DNA fingerprinting method as a tool for molecular subtyping of enterohemorrhagic Escherichia coli O157:H7 isolates [J]. Microbiol Immunol,1999,43(8):803-806
- [18] Zhang W, Bielaszewska M, Kuczius T, et al. Identification, characterization, and distribution of a Shiga toxin 1 gene variant (stx1c) in Escherichia coli strains isolated from humans [J]. J Clin Microbiol,2002,40(4):1441-1446
- [19] Fey PD, Wickert RS, Rupp ME, et al. Prevalence of non-O157:H7 shiga toxin-producing Escherichia coli in diarrheal stool samples from Nebraska [J]. Emerg Infect Dis,2000,6(5):530-533