

- [25] 陈冠军, 夏莉, 马长生, 等. 优化法去细胞神经同种异体及异种移植的比较[J]. 中华显微外科杂志, 2012, 35(1): 35-39.
- [26] Dadon NM, Sadan O, Srujo I, et al. Differentiated mesenchymal stem cells for sciatic nerve injury[J]. Stem Cells Rev, 2011, 7(3): 664-671.
- [27] Zhu S, Ge J, Wang Y, et al. A synthetic oxygen carrier-olfactory ensheathing cell composition system for the promotion of sciatic nerve regeneration[J]. Biomaterials, 2014, 35(5): 1450-1461.
- [28] 李培建, 李兵仓. 重组腺病毒载体 AxCA-BDNF 基因转染修复坐骨神经损伤[J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2011, 15(7): 1163-1168.
- [29] Pereira L, Lopes FR, Martin PK, et al. Double gene therapy with granulocyte colony-stimulating factor and vascular endothelial growth factor acts synergistically to improve nerve regeneration and functional outcome after sciatic nerve injury in mice[J]. Neuroscience, 2013, 230(2): 184-197.
- [30] 俞红, 白跃宏, 赵娟, 等. 超短波及电刺激联合神经生长因子治疗大鼠坐骨神经损伤的疗效观察[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2011, 33(4): 245-249.
- [31] Haastert TK, Schmitte R, Korte N, et al. Electrical stimulation accelerates axonal and functional peripheral nerve regeneration across long gaps[J]. J Neurotrauma, 2011, 28(4): 661-674.
- [32] 王剑, 翁明军, 周道琴. 坐骨神经损伤修复机制及治疗效果分析[J]. 中国实用神经疾病杂志, 2013, 16(19): 53-54.

## 前交叉韧带与本体感觉研究进展

陈瑶, 何成奇

【关键词】 前交叉韧带; 本体感觉

【中图分类号】 R49; R686 【DOI】 10.3870/zgkf.2014.04.024

前交叉韧带(anterior cruciate ligament, ACL)的损伤,常发生于运动量大的中青年,进而造成沉重的社会经济负担<sup>[1]</sup>。ACL损伤导致膝关节稳定性及活动度受限<sup>[2]</sup>。膝关节损伤后的组织学重建和生物力学功能的恢复一直受到骨科及康复科医生的极大关注。对损伤膝关节进行机械力学重建后,很多患者仍旧存在膝关节不稳。近年来,ACL中本体感受器对维持关节稳定性的作用开始得到研究人员的重视。但目前对于ACL中本体感受器的分布、作用机制、康复情况仍不是很明确。故本文对目前国内外研究进展总结如下。

### 1 ACL对维持关节稳定性的作用

1.1 ACL对关节的机械性稳定作用 ①ACL限制关节过度活动;关节稳定性的维持依赖于关节韧带、肌力、关节囊,骨形态,以及关节负荷的共同作用<sup>[3]</sup>。其中ACL是维持膝关节侧方及旋转运动时十分重要的结构,根据胫骨附着点的位置,ACL分为前内侧束、后

外侧束<sup>[4]</sup>。ACL作为膝关节的机械稳定装置,主要作用是在膝关节的屈伸运动时防止胫骨的过度前移。其损伤常见于枢轴运动及旋转运动时<sup>[5-6]</sup>。②ACL损伤导致继发性骨关节炎:ACL损伤不仅导致膝关节机械稳定装置的受损,而且还会导致膝关节本体感觉功能的缺陷<sup>[4]</sup>。患者会反复发生膝关节的不稳定事件,进一步导致半月板撕裂和软骨损伤<sup>[7]</sup>。从而增加骨关节炎的患病率<sup>[8]</sup>。③ACL对肌力的影响:ACL损伤后腘绳肌及股四头肌肌力代偿性增高,进而维持膝关节稳定性<sup>[9]</sup>。

### 1.2 ACL中本体感受器对关节的功能性稳定作用

①正常的ACL具有较好的本体感受器;它参与维持膝关节功能性稳定。ACL损伤后将导致膝关节机械性及功能性不稳,ACL重建术使损伤的ACL恢复较好的韧带张力,但患者仍存在膝关节不稳的临床表现。临床检查无关节脱位及其他器质性的病变。研究人员发现本体感受器起了重要作用<sup>[10]</sup>。也有学者提出,ACL损伤后导致膝关节功能性不稳,主要归因于ACL中本体感受器数量及功能的损伤,导致神经肌肉反馈系统的减退,对肌肉控制力的减弱,从而不能限制胫骨的过度移动,进而产生膝关节功能性不稳定<sup>[10-12]</sup>。②本体感觉与膝关节功能相关性:Jensen等<sup>[13]</sup>对

收稿日期:2014-01-20

作者单位:四川大学华西医院康复医学科,四川大学康复医学系,四川省康复医学重点实验室,成都 610041

作者简介:陈瑶(1988-),女,硕士研究生,主要从事退行性骨关节炎损伤康复研究。

通讯作者:何成奇, hxfhcq@126.com

ACL 损伤病史 1 年以上, 膝关节的临床功能差异、轴移试验示关节囊松弛度不同的 2 组患者进行本体感觉测试, 发现 2 组患者仅有主动关节活动度重现差异有意义, 其余被动重现, 被动活动阈值均无明显差异。Roberts 等<sup>[14]</sup>对膝关节本体感觉功能与个体活动水平、关节囊松弛、半月板损伤、侧副韧带损伤、软骨损伤、年龄、自我功能评价之间的相关性进行了研究; 膝关节本体感觉功能的测量指标为膝关节被动运动阈值的感知力; 研究发现, 软骨边缘的病变, 关节囊松弛, 以及年龄与本体感觉功能成负相关, 较好的运动水平与损伤后本体感觉的恢复呈正相关。此研究还发现: 膝关节功能的主观感受与膝关节本体感觉功能具有直接相关关系<sup>[14]</sup>。

1.3 前交叉韧带中神经及感受器的分布 ①ACL 的神经起源: 1984 年 Schultz 等<sup>[15]</sup>从尸检和截肢标本时获得的交叉韧带, 对韧带组织进行切片染色, 首先从组织学上描述了 ACL 中轴突和神经末梢机械感受器的存在。ACL 中最主要的神经来源于胫后神经, 这些神经纤维及感受器广泛分布于关节囊、半月板及韧带中, 充当传感器的作用, 接受应力的刺激转化成电信号进而传入中枢<sup>[18]</sup>。②ACL 的感受器分布及功能: ACL 中的感受器主要包括帕西尼小体、鲁菲尼小体、高尔基复合体及其它游离神经末梢。其中鲁菲尼小体作为快适应感受器, 主要参与感知关节的运动觉; 帕西尼小体及高尔基复合体作为慢适应感受器主要参与感知关节的位置觉<sup>[16-17]</sup>。这些机械感受器将本体感觉反馈到大脑中, 维持机体平衡, 预防运动损伤。其中高尔基复合器官和高尔基样受体在制约膝关节运动和本体感觉传入方面起了重要作用<sup>[16, 18, 20]</sup>。一些神经电生理的研究报道: 膝关节在运动, 特别是朝极限方向运动时, 胫后神经及内侧神经存在电兴奋状态<sup>[19]</sup>。

## 2 本体感觉

2.1 本体感受器的定义和作用 ACL 中本体感受器是感受触觉模电变化的专业感受器。它包括对关节运动觉及位置觉的感知力<sup>[16]</sup>。关节软组织的变形或关节负荷牵拉 ACL 从而激发关节本体感受器的活动, 本体感受器作为反射弧中感受器的作用, 将信息传入中枢神经系统, 使中枢感知关节所处的空间位置, 反射性兴奋相应肌肉, 维持关节稳定性<sup>[20]</sup>。在运动中本体感觉与视觉、前庭觉的整合, 将机体的位置和平衡状态传入中枢, 通过中枢处理, 作用于传出神经调节肌肉张力, 提高关节稳定性<sup>[21]</sup>。本体感觉与运动系统动静态功能相关的部分主要包括三方面的内容: 关节位置的感知; 关节运动的感知(关节运动的速度、方向及加速

度的感知); 反射回应和肌张力调节回路的传出活动能力。前两者反映本体感觉的传入活动能力, 后者反映其传出活动的能力<sup>[22]</sup>。

2.2 本体感觉的测定 本体感觉的测量只能通过间接的方式完成。临床常用的测定方法有以下几种。关节位置重现法: 包括膝关节主动、被动位置的重现和膝关节被动运动感知阈<sup>[23]</sup>。膝关节被动运动感知阈测定通常由静止开始, 低角速度带动膝关节做被动屈或伸的动作, 记录膝节能感知到运动的最小角度位移<sup>[24]</sup>。Flenhagen 等<sup>[25]</sup>及 Nagai 等<sup>[26]</sup>对关节运动感知阈测定包括垂直方向的屈伸运动及水平方向的内旋外旋运动; 在屏蔽视听觉后, 以 0.25°/s 的速度被动运动, 直到测试者感知到关节运动及运动方向时停止。Boerboom 等<sup>[27]</sup>对 16 名健康受试者进行膝关节被动运动阈值测试, 初始位置分别为屈曲 20°、40°; 初始运动方向分别为屈曲、伸直。12d 后进行重复测定, 发现随年龄升高, 感知阈值升高; 且女性较男性有更高的被动运动感知阈。有学者对膝关节被动运动感知阈测定本体感觉的方法进行了信度和效度的分析, 证实用膝关节被动运动阈值感知力来评估关节本体感觉的功能具有较好的可靠性和有效性<sup>[24, 28]</sup>。

2.3 本体感觉与膝关节功能相关性 Gokeler 等<sup>[29]</sup>对本体感觉和膝关节功能临床结局相关性进行研究。纳入了 1990~2009 年间发表的有关 ACL 损伤、重建的英文文献, 临床指标包括: 肌肉力量, 关节松弛度, 跳跃测试, 平衡测试, 客观膝关节评分等级, 患者恢复运动的情况。总体上, 本体感觉和关节松弛度, 平衡功能, 跳跃测试之间的相关性较低。仅有 4 个研究证实本体感觉与肌肉力量, 平衡功能和跳跃测试结局存在中度相关。而 Nagai 等<sup>[30]</sup>对膝关节本体感觉, 肌肉力量与运动动力学三者的关系进行了横断面的研究发现: 个体较高的本体感觉和肌肉力量在膝关节动态运动中能够更好地控制初始运动时膝关节的屈曲角度。

## 3 ACL 损伤与重建后本体感觉的变化

3.1 ACL 损伤后关节本体感觉的损伤 ACL 正常关节与 ACL 损伤关节, 以及 ACL 损伤关节与 ACL 重建术后关节中的本体感觉有较大的区别。ACL 重建是维持膝关节的机械力学稳定的主要因素; 本体感觉的恢复是膝关节功能重建的重要因素<sup>[10]</sup>。Henriksson 等<sup>[31]</sup>研究发现: 与 ACL 正常对照组相比, ACL 损伤组及 ACL 重建组在单腿站立时具有较差的姿势控制力及平衡功能。Arockiaraj 等<sup>[23]</sup>对 25 例单侧 ACL 损伤患者的患侧、健侧及正常对照组本体感觉功能进行评估; 评估内容包括膝关节位置觉, 被动运动感

知阈值,单侧肢体站立时的重心移动范围;研究发现,与对照组相比,ACL损伤组的患侧及健侧的本体感觉都有明显缺失,并且缺失程度是相似的;表明本体感觉的损伤具有双侧对称性。

3.2 ACL重建方式对本体感觉的影响 Qi等<sup>[32]</sup>对57例ACL部分断裂患者进行关节镜下ACL重建时采用了保留残存韧带的方式;随访约22.5个月后发现,关节镜下ACL重建与保护残余束对膝关节稳定性有更好的效果,它可以增加ACL的血管生成和胶原蛋白形成,改善膝关节的本体感觉功能。Nagai等<sup>[26]</sup>对ACL重建术后1年患者的本体感觉进行评估,发现ACL重建侧与健侧在膝关节内旋方向被动运动感知阈值上存在有统计意义差异。然而Hong等<sup>[33]</sup>进行了一项前瞻性随机对照试验,实验组采用保留残余韧带组织重建术,对照组进行标准的ACL重建术;对其进行2年的随访,研究显示,保留残存的ACL组织较使用同种异体移植物在关节稳定性,滑膜覆盖率,本体感觉恢复方面没有明显的优势。

#### 4 多因素共同作用影响本体感觉及关节稳定性

关节稳定性的维持依赖于本体感觉的输入,神经肌肉稳定性的改变,关节囊的松弛度及韧带结构的稳定性,以及膝盖软骨和骨结构的完整<sup>[34]</sup>。它们共同维系关节稳定性,许多研究也表明ACL损伤后,腘绳肌及股四头肌肌纤维的募集增多,肌力增强从而减少由于胫骨过度前移,引起的半月板、其它韧带组织的损伤,以进一步维持关节功能<sup>[9,35]</sup>。关节功能性稳定的维持很大程度上依赖于关节内本体感受器的功能。关节内的本体感受器广泛存在于关节囊、交叉韧带及侧副韧带、及肌腱中<sup>[17]</sup>。由于关节损伤导致的关节内组织的损伤,会影响关节的机械性稳定,同时由于损伤了广泛分布于关节内的感受器,会影响关节的功能性稳定。对关节稳定性的康复,仅仅做到机械力学的恢复是不够的,术后的提高本体感受器及神经肌肉控制力的康复训练越来越得到康复医学界的重视<sup>[10]</sup>。目前对于关节稳定性的康复方案包括:等速肌力训练,全身振动疗法,传统中医针灸,运动疗法等。

#### 5 小结

ACL是维持膝关节的机械性及功能性稳定的重要组织之一。ACL中含有感知关节运动的机械感受器,参与感知关节位置觉及运动觉。ACL损伤后膝关节的本体感觉也受到相应程度的损伤,导致膝关节的不稳。对于ACL本体感觉的重建,手术方式仍存在争议,大多认为保留残存韧带的方式对关节本体感觉

及稳定性的恢复优于传统重建方式。但仍有学者持有不同观点。原因如下:①缺乏严格统一的造模方案;②手术方式及手术水平差异大,基线统一困难;③随访时间不够,关节稳定性及本体感觉的测量无金指标。ACL损伤及重建术后,本体感觉及关节稳定性的恢复也受到骨科学及康复学医师的关注,但目前尚没有最佳康复方案。对于本体感觉康复处方的研究仍是目前及未来研究的重点。尚需要更多的基础及临床研究以进一步探讨本体感觉的损伤及康复机制。

#### 【参考文献】

- [1] Richard C, Mather, Lane Koening, et al. Societal and Economic Impact of Anterior Cruciate Ligament Tears[J]. J Bone Joint Surg Am, 2013, 95(19): 1751-1759.
- [2] Heide Boeth, Georg N, Duda, et al. Anterior Cruciate Ligament-Deficient Patients With Passive Knee Joint Laxity Have a Decreased Range of Anterior-Posterior Motion During Active Movements[J]. Am J Sports Med, 2013, 41(5): 1051-1057.
- [3] Flandry F, Hommel G. Normal anatomy and biomechanics of the knee[J]. Sports Med Arthrosc, 2011, 19(2): 82-92.
- [4] Chhabra A, Starman JS, Ferretti M, et al. Anatomic, radiographic, biomechanical, and kinematic evaluation of the anterior cruciate ligament and its two functional bundles[J]. J Bone Joint Surg Am, 2006, 88(4): 2-10.
- [5] Spindler KP, Wright RW. Clinical practice. Anterior cruciate ligament tear[J]. N Engl J Med, 2008, 359(20): 2135-2142.
- [6] Noyes FR, Butler DL, Grood ES, et al. Biomechanical analysis of human ligament grafts used in knee-ligament repairs and reconstructions[J]. J Bone Joint Surg Am, 1984, 66(3): 344-352.
- [7] Nathan A, Andrew S, Brian J, et al. The Functional and Surgical Anatomy of the Anterior Cruciate Ligament[J]. Operative Techniques in Sports Medicine, 2013, 21(1): 2-9.
- [8] Iestad BE, Engebretsen L, Storheim K, et al. Knee osteoarthritis after anterior cruciate ligament injury: a systematic review[J]. Am J Sports Med, 2009, 37(7): 1434-1443.
- [9] Klyne DM, Keays SL, Bullock-Saxton JE, et al. The effect of anterior cruciate ligament rupture on the timing and amplitude of gastrocnemius muscle activation: a study of alterations in EMG measures and their relationship to knee joint stability [J]. J Electromyogr Kinesiol, 2012, 22(3): 446-455.
- [10] Dhillon MS, Bali K, Prabhakar S. Proprioception in anterior cruciate ligament deficient knees and its relevance in

- anterior cruciate ligament reconstruction[J]. *Indian J Orthop*, 2011, 45(4):294-300.
- [11] Dhillon MS, Bali K, Prabhakar S. Differences among mechanoreceptors in healthy and injured anterior cruciate ligaments and their clinical importance[J]. *Muscles Ligaments Tendons J*, 2012, 2(1):38-43.
- [12] Borsa PA, Lephart SM, Irrgang JJ, et al. The effects of joint position and direction of joint motion on proprioceptive sensibility in anterior cruciate ligament-deficient athletes[J]. *Am J Sports Med*, 1997, 25(3):336-340.
- [13] Jensen TO, Fischer-Rasmussen T, Kjaer M, et al. Proprioception in poor- and well-functioning anterior cruciate ligament deficient patients [J]. *Journal Of Rehabilitation Medicine*, 2002, 34(3):141-149.
- [14] Roberts D, Andersson G, Fridén T. Knee joint proprioception in ACL-deficient knees is related to cartilage injury, laxity and age: a retrospective study of 54 patients [J]. *Acta Orthop Scand*, 2004, 75(1):78-83.
- [15] Schultz RA, Miller DC, Kerr CS, et al. Mechanoreceptors in human cruciate ligaments. A histological study [J]. *J Bone Joint Surg Am*, 1984, 66(7):1072-1076.
- [16] Johansson H, Sjölander P, Sojka P. A sensory role for the cruciate ligaments[J]. *Clin Orthop Relat Res*, 1991(268):161-178.
- [17] Lee BI, Min KD, Choi HS, et al. Immunohistochemical study of mechanoreceptors in the tibial remnant of the ruptured anterior cruciate ligament in human knees[J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2009, 17(9):1095-1101.
- [18] Zantop T, Petersen W, Sekiya JK, et al. Anterior cruciate ligament anatomy and function relating to anatomical reconstruction[J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2006, 14(10):982-992.
- [19] Krauspe R, Schmidt M, Schaible HG. Sensory innervation of the anterior cruciate ligament. An electrophysiological study of the response properties of single identified mechanoreceptors in the cat[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 1992, 74(3):390-407.
- [20] Dhillon MS, Bali K, Prabhakar S. Proprioception in anterior cruciate ligament deficient knees and its relevance in anterior cruciate ligament reconstruction[J]. *Indian J Orthop*, 2011, 45(4):294-300.
- [21] Hewett TE, Paterno MV, Myer GD. Strategies for enhancing proprioception and neuromuscular control of the knee[J]. *Clin Orthop Relat Res*, 2002(402):76-94.
- [22] 周谋旺. 前交叉韧带本体感觉的研究[C]. 第十一次全国物理医学与康复学会议. 沈阳, 2009.
- [23] Arockiaraj J, Korula RJ, Oommen AT, et al. Proprioceptive changes in the contralateral knee joint following anterior cruciate injury[J]. *Bone Joint J*, 2013, 95B(2):188-191.
- [24] Fischer-Rasmussen T, Jensen PE. Proprioceptive sensitivity and performance in anterior cruciate ligament-deficient knee joints[J]. *Scand J Med Sci Sports*, 2000, 10(2):85-89.
- [25] Flenhagen Johan, Ageberg Eva, Ljung Jonatan. Test-retest reliability of knee kinesthesia in healthy adults[J]. *BMC musculoskeletal disorders*, 2007(8):57-57.
- [26] Nagai T, Heebner NR, Sell TC, et al. Restoration of sagittal and transverse plane proprioception following anatomic double-bundle ACL reconstruction[J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2013, 21(9):2048-2056.
- [27] Boerboom AL, Huizinga MR, Kaan WA, et al. Validation of a method to measure the proprioception of the knee[J]. *Gait Posture*, 2008, 28(4):610-614.
- [28] Reider B, Arcand MA, Diehl LH, et al. Proprioception of the knee before and after anterior cruciate ligament reconstruction[J]. *Arthroscopy*, 2003, 19(1):2-12.
- [29] Gokeler A, Benjaminse A, Hewett TE, et al. Proprioceptive deficits after ACL injury: are they clinically relevant[J]? *Br J Sports Med*, 2012, 46(3):180-192.
- [30] Nagai T, Sell TC, House AJ, et al. Knee proprioception and strength and landing kinematics during a single-leg stop-jump task[J]. *J Athl Train*, 2013, 48(1):31-38.
- [31] Henriksson M, Ledin T, Good L. Postural control after anterior cruciate ligament reconstruction and functional rehabilitation[J]. *Am J Sports Med*, 2001, 29(3):359-366.
- [32] Qi W, Wang JL, Qu F, et al. Arthroscopic reconstruction of anterior cruciate ligament with preservation of the remnant bundle[J]. *Zhongguo Gu Shang*, 2013, 26(5):376-380.
- [33] Hong L, Li X, Zhang H, et al. Anterior cruciate ligament reconstruction with remnant preservation: a prospective, randomized controlled study[J]. *Am J Sports Med*, 2012, 40(12):2747-2755.
- [34] Schipplein OD, Andriacchi TP. Interaction between active and passive knee stabilizers during level walking[J]. *J Orthop Res*, 1991, 9(1):113-119.
- [35] Yanagawa T, Shelburne K, Serpas F, et al. Effect of hamstrings muscle action on stability of the ACL-deficient knee in isokinetic extension exercise [J]. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*, 2002, 17(9-10):705-712.