

膝关节前交叉韧带本体感觉的研究进展*

张磊^{1,2} 李义凯^{1,3}

前交叉韧带(anterior cruciate ligament, ACL)的损伤必然会造成ACL本体感觉障碍,从而对膝关节的稳定性造成影响。传统意义上,ACL损伤后的组织学重建和生物力学功能的恢复一直是研究的重点。但近年来,对损伤的ACL进行组织学重建后,其物理稳定性得到根本改善,但很多患者仍旧存在膝关节不稳^[1]。因此,ACL中本体感觉功能对维持关节稳定性的作用开始得到人们的重视,如何有效的恢复损伤的ACL本体感觉成为研究的热点。

1 ACL中的本体感受器

Skoglund等^[2]在1956年就已发现ACL中存在神经组织,而这些神经组织实际上就是本体感受器。1984年,Schultz等^[3]通过尸检对人ACL的本体感受器进行了第一次组织学上的具体描述,并将其分为4类:Ruffini小体、Pacinian小体、Golgi腱器官和其他游离神经末梢,其中,Ruffini小体、Pacinian小体、Golgi腱器官属于机械性刺激感受器,游离神经末梢属于伤害性刺激感受器。Schutte等^[4]指出本体感受器占ACL总体积的1%—2.5%,主要分布于韧带的止点两端。支配ACL的神经是发自胫后神经的后侧关节神经。

Pacinian小体是快适应机械感受器,可感受组织的变形以及关节运动的起始、加速和终止。Ruffini小体和Golgi腱器官是慢适应机械感受器,对关节内压力、韧带张力变化做出反应,因此能感受关节的位置和旋转角度。ACL中的游离神经末梢包括传入纤维和传出纤维,分别参与感受伤害刺激和调节血管运动。感受器在组织中的分布并不均匀,机械性刺激感受器集中在韧带的末端,靠近韧带与骨骼相附着部位。这是因为与骨骼附着处的韧带组织顺应性较差,易损伤。当韧带受到应力时,附着处大量的感受器就可以发出信号,从而保护这些易损部位。ACL通过其本身的生理组织结构和本体感觉器的作用共同维持膝关节的静态稳定性。

2 ACL本体感觉的神经传导与反射

ACL除直接参与膝关节的静态稳定性外,还通过韧带-肌肉反射来维持膝关节的动态稳定性。ACL的主要生理功能是阻止胫骨相对于股骨的前向移位。通过“ACL-腓绳肌反射弧”调节,腓绳肌的收缩会对抗胫骨前移,起到保护ACL的作用。Solomonow等^[5]首次证明了ACL上感受器的传入信息可以影响到腓绳肌的肌电活动。Dyhre-Poulsen等^[6]通过关节镜下选择性电刺激ACL进一步说明了ACL-腓绳肌反射的存在及其对ACL的保护作用;他们认为,低阈值机械感受器可能是通过 γ -肌梭系统完成此反射的,而高阈值机械感受器可能是通过 γ -运动神经元来完成此反射的。Tsuda等^[7]也对再生神经的功能做了进一步研究,通过关节镜下电极刺激ACL移植物,同侧腓绳肌表面肌电值显著增加,从而证明ACL重建术后不仅有机感受器再生,而且其功能(ACL-腓绳肌反射)也可以恢复。在人体内,通过机械刺激ACL也能观察到腓绳肌的反射性收缩,也正是这种反射,维持了关节动态稳定性。但是目前为止,ACL-腓绳肌反射的具体神经传导通路仍未明确。

3 ACL本体感觉的测定方法

测定膝关节ACL本体感觉内容和形式的目前尚无认可的标准测定方法。目前临床上应用的测定本体感觉的方法大致包括以下4类。①角度重现法或称位置重现法,此方法主要测量膝关节的位置觉。预先让受试者的膝关节被动或主动地定位于某一屈曲的角度,然后令受试者依靠自我判断重新建立上述角度,并对角度重建的精确度进行测量。②阈值测量法,利用辅助仪器提供缓慢而持续的膝关节被动性运动,测量运动起始时的关节角度与受试者能够察觉到运动时的关节角度,比较两种角度的差异,以此判断膝关节本体感觉的精确度。③视觉模型法,视觉模型试验要求受试者在膝关节经过被动或主动的定位后,通过自我判断在膝关节模型上实现上述定位角度,或通过观察模型的角度,受试者经被动或主动运动在自身的膝关节上实现此角度,然后计算受试

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2017.02.027

*基金项目:四川省科技支撑计划项目课题(2014SZ0185);泸州市科技计划项目课题(2013LZLY-K59);四川医科大学-四川医科大学附属中医医院联合专项项目课题(LYYK201312-10)

1 南方医科大学中医药学院,广州,510515; 2 四川医科大学附属中医医院; 3 通讯作者

作者简介:张磊,男,住院医师,博士研究生; 收稿日期:2015-10-29

者膝关节与模型的角度差异,并以此判断本体感觉的精确度。④体感诱发电位测量法,反映肌肉的反射性收缩能力,常通过体感诱发电位和肌电图来评定,为神经肌肉活动模式的评价提供了一个有价值的参考。

前三种评定方法主要测试膝关节本体感觉的传入活动的的能力,而最后一种方法则是测试其传出活动的的能力。各种测量方法都存在一定的局限性,主要原因在于测试不能将视觉、听觉和其他信号的相互区分,容易造成干扰。而且我们还了解到影响本体感觉测量结果的因素远非这么简单,它可能还与年龄、关节松弛度、联合损伤(软骨、半月板和其他韧带损伤)等因素有关。

4 ACL本体感觉与膝关节的稳定性

ACL作为膝关节重要的稳定结构,ACL损伤以后,膝关节不仅直接降低机械稳定性,更重要的是影响膝关节的本体感觉,使其神经传导和反射功能及其后的一系列神经整合过程出现问题,从而影响膝关节稳定性。

以组织学研究为基础,越来越多的研究开始关注ACL损伤后本体感觉功能状态。Denti等^[8]对损伤的ACL上的机械感受器进行研究,机械感受器会随损伤时间的增加而数量逐渐减少,但是研究结果受到了很多客观原因的限制。Ochi等^[9]研究发现,伴有ACL损伤患膝的反射性腘绳肌收缩的潜伏期较正常膝显著延长,提示ACL损伤后维持关节稳定的ACL-腘绳肌反射弧受损。在此基础之上,Adachi等^[10]发现了ACL上机械感受器数量与膝关节本体感觉之间的正相关性。也有研究发现^[11],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。但总的来讲,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,从而影响关节的活动度及稳定性。

5 ACL损伤后本体感觉的恢复

5.1 ACL重建术

Goertzen等^[12]首先报道了异体ACL移植重建后的神经再生,神经和血管相伴一并重新长入ACL胶原束带。但同时也应指出,手术后相当长的一段时间内,本体感觉仍是有缺陷的,而且具体的恢复时间也尚未明确^[13]。在ACL重建术中,保留残端的有利于本体感觉的恢复^[14]。同时,Noh等^[15]运用了重新拉紧技术用滑膜覆盖韧带残端,提高了ACL重建术后本体感觉。Taketomi^[16]把三维重建技术应用在保留ACL残端的ACL重建术上去的良好效果。目前,大多数的研究结果表明^[17-20],ACL重建手术可以使本体感觉得到一定程度的恢复,但与康复的时间、手术方式、移植物等有关。

5.2 神经肌肉本体感觉促进技术

神经肌肉本体感觉促进技术(proprioceptive neuromus-

cular facilitation,PNF)是一项通过刺激本体感受器来促进神经肌肉功能恢复的技术,通过促进肢体本体感觉、控制能力、平衡和协调能力等神经肌肉功能的恢复,改善肢体的功能适应性,由神经、肌肉、触觉、听觉、视觉、运动感觉等共同参与。Pollock等^[21]认为,PNF技术的理论基础决定了其有效的康复治疗效果。近年来,随着研究的不断进行和深入,PNF技术更广泛地应用于脑外伤、脑血管疾病、脊髓外伤,以及周围神经系统损伤的临床康复治疗。PNF技术主要是通过刺激人体的本体感受器,激活和收集最大数量的运动肌纤维参与功能性活动,从而促进瘫痪的肌肉收缩,同时通过调节感觉神经的兴奋性来改变肌肉张力,缓解肌痉挛的发生^[22]。Pahnabi等^[23]研究发现,ACL损伤后保守治疗比ACL重建术更有利于本体感觉的恢复。

5.3 电刺激

针灸是一种中国传统疗法,常采用针刺腧穴得气来治疗疾病,目前多采用电针疗法代替针灸疗法。人体及动物实验均已证实电针刺刺激穴位疗法对治疗疼痛、活动障碍、组织再生等方面具有确切的效果^[24]。同时,针刺机制的研究也备受重视。早期的动物实验及人体临床研究发现^[25],针刺效应主要由中枢神经系统介导,即针刺能够促进中枢系统内的内源性阿片肽及单胺类神经递质的释放,引起特定生理学效应而达到治疗的目的。有研究表明^[26],通过电刺激膝关节ACL,相关屈肌群或伸肌群可被反射性激活而参与稳定膝关节活动,还可通过韧带、肌肉的反射活动主动维持膝关节的稳定。稳定性一旦加强,本体感觉可以得到较好的恢复,进而预防ACL的再次损伤。

此外,支具保护、生物反馈训练和平衡功能训练等也是关节本体感觉康复的重要方法^[27]。

6 小结

ACL本体感觉功能对维持膝关节稳定性是有着重要作用,研究膝关节ACL本体感觉,尤其是ACL损伤后,本体感觉的改变情况,以及通过何种治疗手段恢复其本体感觉功能越来越受到广泛重视。因此,探讨ACL本体感觉损伤及康复机制,建立针对ACL损伤所造成的本体感觉障碍的有效治疗方法和治疗模式,对进一步提高临床康复治疗水平有指导意义,是今后的研究重点。

参考文献

- [1] Boeth H, Duda GN, Heller MO, 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.
- [2] Skoglund S. Anatomical and physiological studies of knee

- joint innervation of the cat[J]. *Acta Physiol Scand*, 1956, 36 (124): 1—101.
- [3] Schultz RA, Miller DC, Kerr CS, et al. Mechanoreceptors in human cruciate ligaments. A histological study[J]. *Bone Joint Surg*, 1984, 66(7): 1072—1076.
- [4] Schutte MJ, Dabezies EJ, Zimny ML, et al. Neural anatomy of the human anterior ligament[J]. *Bone Joint Surg Am*, 1987, 69(2): 243—247.
- [5] Solomonow M, Baratta R, Zhou BH, et al. The synergistic action of the anterior cruciate ligament and thigh muscles in maintaining joint stability[J]. *Am J Sports Med*, 1987, 15 (3): 207—213.
- [6] Dyhre-Poulsen P, Krogsgaard MR. Muscular reflexes elicited by electrical stimulation of the anterior cruciate ligament in humans[J]. *Appl Physiol*, 2000, 89(6): 2191—2195.
- [7] Tsuda E, Ishibashi Y, Okamura Y, et al. Restoration of anterior cruciate ligament-hamstring reflex arc after anterior cruciate ligament reconstruction[J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2003, 11(2): 63—67.
- [8] Denti M, Monteleone M, Berardi A, et al. Anterior cruciate ligament mechanoreceptors. Histologic studies on lesions and reconstruction[J]. *Clin Orthop Relat Res*, 1994, (308): 29—32.
- [9] Ochi M, Iwasa J, Uchio Y, et al. The regeneration of sensory neurones in the reconstruction of the anterior cruciate ligament[J]. *Bone Joint Surg Br*, 1999, 81(5): 902—906.
- [10] Adachi N, Ochi M, Uchio Y, et al. Mechanoreceptors in the anterior cruciate ligament contribute to the joint position sense[J]. *Acta Orthop Scand*, 2002, 73(3): 330—334.
- [11] 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.
- [12] Goertzen M, Gruber J, Dellmann A, et al. Neurohistological studies in allogeneic cruciate ligament transplants as intra-articular ligament replacement[J]. *Z Orthop Ihre Grenzgeb*, 1993, 131(5): 420—424.
- [13] 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.
- [14] Hu J, Qu J, Xu D, et al. Clinical outcomes of remnant preserving augmentation in anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review[J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2014, 22(9): 1976—1985.
- [15] Noh JH, Yoon KH, Song SJ, et al. Re-tensioning technique to cover the graft with remnant in anterior cruciate ligament reconstruction[J]. *Arthrosc Tech*, 2014, 3(6): 679—682.
- [16] Taketomi S, Inui H, Sanada T, et al. Remnant-preserving anterior cruciate ligament reconstruction using a three-dimensional fluoroscopic navigation system[J]. *Knee Surg Relat Res*, 2014, 26(3): 168—176.
- [17] Hopper DM, Creagh MJ, Formby PA, et al. Functional measurement of knee joint position sense after anterior cruciate ligament reconstruction[J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2003, 84(6): 868—872.
- [18] Adachi N, Ochi M, Uchio Y, et al. Reconstruction of the anterior cruciate ligament. Single-versus double-bundle multi-stranded hamstring tendons[J]. *Bone Joint Surg Br*, 2004, 86 (4): 515—520.
- [19] Lee DH, Lee JH, Ahn SE, et al. Effect of time after anterior cruciate ligament tears on proprioception and postural stability[J]. *PLoS One*, 2015, 10(9): 139—138.
- [20] Papalia R, Franceschi F, Tecame A, et al. Anterior cruciate ligament reconstruction and return to sport activity: postural control as the key to success[J]. *Int Orthop*, 2015, 39 (3): 527—534.
- [21] Pollock JW, Faber KJ, Athwal GS. Prosthetic replacement for distal humerus fractures[J]. *Orthop Clin North Am*, 2008, 39(2): 87—200.
- [22] 蒋敏, 罗伦, 苏文渊, 等. 本体感觉神经肌肉促进技术结合生物反馈刺激治疗对脑卒中患者上肢功能恢复的影响[J]. *中国康复医学杂志*, 2015, 30(8): 833—835.
- [23] Pahnabi G, Akbari M, Ansari NN, et al. Comparison of the postural control between football players following ACL reconstruction and healthy subjects[J]. *Med J Islam Repub Iran*, 2014, 28: 101.
- [24] Sugimoto D, Alentorn-Geli E, Mendiguchía J, et al. Biomechanical and neuromuscular characteristics of male athletes: implications for the development of anterior cruciate ligament injury prevention programs[J]. *Sports Med*, 2015, 45 (6): 809—822.
- [25] Han JS. Acupuncture analgesia: Areas of consensus and controversy[J]. *Pain*, 2011, 152(3S): 41—48.
- [26] Li S, Shen T, Liang Y, et al. Effects of miniscalpel-needle release on chronic neck pain: A retrospective analysis with 12-month follow-up[J]. *PLoS One*, 2015, 10(8): 133—137.
- [27] 韩秀兰, 刘开锋, 许轶, 等. 膝关节本体感觉训练对偏瘫患者平衡功能的影响[J]. *中国康复医学杂志*, 2015, 30(8): 790—794.