

· 综 述 ·

前交叉韧带损伤康复治疗的研究进展

汤雨婷, 安丙辰, 郑洁皎

(复旦大学附属华东医院, 上海 200040)

摘 要 前交叉韧带(anterior cruciate ligament, ACL)重建术是治疗 ACL 损伤的金标准。由于韧带损伤对下肢神经肌肉控制系统及生物力学结构的影响, ACL 损伤的治疗不仅需要手术对韧带进行解剖重建, 更需要完善的康复治疗体系来恢复患肢的功能。康复治疗贯穿 ACL 损伤治疗的全过程, 通过肌力、神经肌肉训练, 辅以支具保护、物理治疗及心理康复, 能最大限度地促进患肢的康复。然而手术前后不同时期康复治疗方法的选择仍需进一步探究, 康复流程的标准化仍是进一步研究的重点。为此, 本文从术前康复、术后康复及心理康复 3 个方面, 对 ACL 损伤康复治疗的研究进展进行了综述。

关键词 膝损伤; 前交叉韧带; 康复; 综述

交叉韧带是膝关节重要的稳定结构, 根据解剖位置分为前交叉韧带(anterior cruciate ligament, ACL)和后交叉韧带, 临床上以 ACL 损伤最为常见。ACL 重建术是治疗 ACL 损伤的金标准^[1-2]。然而 ACL 损伤引起的功能障碍并非简单由肌肉骨骼系统损伤所致, 而是由下肢神经肌肉控制系统发生故障及生物力学结构发生改变导致^[3]。因此, 对于 ACL 损伤患者, 不仅需要手术进行解剖结构的重建, 更需要完善的康复治疗体系来恢复患肢的功能。目前, ACL 损伤的康复治疗主要包括术前康复、术后康复及心理康复^[4], 根据患者情况, 还会辅以患者教育、共同设定目标和重复功能测试等。为给 ACL 损伤康复流程的标准化提供依据, 笔者从术前康复、术后康复及心理康复 3 个方面, 对 ACL 损伤康复治疗的研究进展综述如下。

1 术前康复

加强术前康复训练可提高 ACL 损伤患者术后膝关节功能评分^[5-6]。术前康复应作为 ACL 损伤标准化康复流程的一部分。

1.1 肌力训练 不论是急性或慢性的膝关节损伤, 都会导致股四头肌肌力的下降, 这种现象被称为关节源性肌肉抑制。股四头肌肌力不足会对 ACL 重建术后患者膝关节功能的恢复产生影响^[7], 术前股四头肌肌力不足会导致术后 6 个月和 9 个月时患者下肢对称性指数降低, 且术后股四头肌肌力也会进一步减弱^[8]。股四头肌肌力减弱和膝关节活动范围减小在 ACL 重建术 1 年后还可影响膝关节功能的恢复, 术前

股四头肌肌力减弱 > 20% 和低偏心股四头肌力矩, 与术后膝关节功能评分和患者生活质量评分相关^[9]。对于 ACL 损伤患者, 在行重建术前进行适量的股四头肌肌力训练, 不仅能增加股四头肌肌力、改善膝关节功能, 还能降低动态行走时的膝关节偏移、增加步态的稳定性^[10-11]。

1.2 神经肌肉训练 神经肌肉训练是指通过刺激传入信号和负责动态关节控制的中枢机制, 增强无意识运动反应的训练^[12]。研究表明^[13-14], 神经肌肉训练可以增加膝关节稳定性、降低运动员膝关节损伤的风险。恢复运动训练项目是 White 等开发的 ACL 重建术后改善肢体对称性的训练项目, 还可减轻术后神经肌肉损伤和预防膝关节二次损伤, 在恢复运动训练中使用神经肌肉训练技术则称为微扰训练^[15-16]。Failla 等^[6]将微扰训练应用于 ACL 损伤患者的术前康复, 结果显示术后患者膝关节功能恢复良好。

2 术后康复

尽管 ACL 重建术能够恢复膝关节解剖结构的完整性, 但术后会出现肌肉抑制素显著增加, 这与肌肉力量减弱和膝关节功能评分降低密切相关^[17]。负荷降低会导致肌肉及韧带的进一步萎缩, 继而降低膝关节稳定性。ACL 重建术后快速康复治疗的疗效和安全性已得到肯定^[18]。但针对不同的手术方式和移植物, 术后康复方案的选择一直存在争议。目前 ACL 重建术后常用的康复治疗方法主要有支具保护、物理治疗、肌力训练、关节活动度训练、神经肌肉训练等。

2.1 支具保护 ACL 重建术后佩戴支具进行保护, 是术后康复的常规做法。佩戴支具固定膝关节于伸

直位,可减轻疼痛并对膝关节进行保护。Hart 等^[19-20]的研究表明,ACL 重建术后佩戴功能性支具可减缓骨关节炎的进展。但近年来也有学者对 ACL 重建术后佩戴支具的作用提出质疑。Lowe 等^[21]的研究表明,ACL 重建术后佩戴功能性支具可以在不牺牲膝关节功能、活动范围和本体感觉的情况下,起到对移植物的保护作用,但佩戴常规的康复支具对降低术后再次损伤率的作用有限。而 Wright 等^[22-23]的研究则发现 ACL 重建术后,戴和不戴康复支具疗效的差异无统计学意义。

2.2 肌力训练 肌力及关节活动度下降是 ACL 重建术后的常见问题,可严重影响膝关节功能的恢复^[9]。临床医生曾担心过早过强的肌力训练会导致移植物松弛、膝关节不稳。Beynon 等^[24]的研究证明,骑自行车及下蹲等闭链训练,能增加肌肉力量而不增加 ACL 的应力。因此,选择恰当的肌力训练方法很重要。

通过增加额外阻力对自身肌肉力量进行强化的抗阻训练,是 ACL 重建术后康复治疗中的常规组成部分,可有效增加肌力、减轻疼痛、改善膝关节功能。传统的抗阻训练是指在大负重的基础上使肌肉多次完成向心收缩的训练方式。近年来,有学者提出离心抗阻训练也是 ACL 重建术后潜在的康复治疗方式。Gerber 等^[25]的研究表明,仅进行离心运动与标准康复方案相比,股四头肌强度增加、每日活动水平提高、肌纤维增粗。Friedmann - Bette 等^[26]的研究表明,与传统的向心/离心训练相比离心抗阻训练可使股四头肌增粗、I 型肌纤维数量增加,从而增加肌肉运动的速度与强度。在 ACL 重建术后,进行中低强度的运动训练也会使股四头肌肌力显著增强^[27],因此在术后早期并不推荐进行高强度的抗阻训练。

人体若干部位借助关节按一定顺序衔接称为运动链。人体运动可分为开链运动和闭链运动。ACL 重建术后的肌力训练应进行开链运动还是闭链运动,一直存在争议。Fleming 等^[28]的研究表明,ACL 重建术后进行闭链运动训练的患者膝关节侧偏角较小、髌股关节疼痛较轻。Andersson 等^[29]经系统分析认为,与开链运动相比,闭链运动在缓解疼痛和降低韧带松弛度方面效果更好;但对于 ACL 损伤患者,开链运动更有利于股四头肌力量的增强,且不会造成膝关节的进一步损伤。Tagesson 等^[30]的研究证明在增强股四

头肌肌力方面,开链运动会比闭链运动更好。但也有研究^[31-33]认为,闭链运动和开链运动在改善膝关节松弛和功能、缓解膝关节疼痛方面疗效相似。但开链运动应至少在重建术后 6 周开始,过早训练可能会加剧韧带松弛。开链运动和闭链运动的区别是,开链运动有更多的孤立肌肉参与活动,但疲劳会引起肌肉力量失衡,不利于 ACL 的恢复;闭链运动是膝关节在一定的屈曲活动范围内进行的闭环训练,产生的剪切力及胫骨移位更小,膝关节更加稳定,但不能提供集中的肌肉强化。实际上有许多运动模式包括开链和闭链运动,是运动的“混合体”,因此在 ACL 重建术后具体康复方案的选择中,还应当注意根据患者情况选择合适的运动模式。

2.3 持续被动活动训练 关节粘连是 ACL 重建术后常见的并发症,粘连的关节软组织会导致膝关节生物力学结构改变而引起关节疼痛,疼痛会进一步加重关节粘连,进而造成膝关节活动范围的丧失。持续被动活动 (continuous passive motion, CPM) 是一种非负重康复训练,其基本原理是通过关节的持续被动运动使关节软骨组织产生泵作用并直接向关节软骨提供滑膜的营养供应^[34],以减轻关节肿胀以及促进组织修复^[35-36]。通过低负荷、长时间被动活动,可有效增加关节活动范围,减轻疼痛和水肿,防止瘢痕过度形成和囊膜收缩。动物实验^[34,37]证实 CPM 有利于软骨细胞修复和炎症控制,可降低创伤后关节炎发生的风险。但 CPM 在 ACL 重建术后康复治疗中的应用效果也受到一定的质疑。有研究^[38]显示 ACL 重建术后进行 CPM 与不进行 CPM,在预防关节松弛、改善关节活动度等方面无明显差异。

2.4 神经肌肉训练 膝关节中包含大量的机械感受器,仅在 ACL 中就发现 49 个机械感受器,它们在膝关节本体感觉和姿势控制中发挥重要作用^[39]。交叉韧带损伤后机械感受器的缺失会导致腓总神经皮质体感诱发电位的减少,为适应损伤带来的变化,中枢神经系统会发生重构。尽管如此,ACL 损伤患者仍会有明显的本体感觉减退,会对双下肢姿势控制及着地时膝关节的屈曲、外翻控制产生影响^[40],导致继发的膝关节损伤。因此,ACL 重建术后的康复治疗重点不仅仅是增强肌力,还需解决潜在的神经肌肉控制缺陷。神经肌肉训练可以改善下肢神经肌肉功能,加强机体对于运动和姿势的控制^[41]。Shim 等^[42]的研究

表明, ACL 重建术后患者在神经肌肉训练后, 患膝站立位胫骨前移较训练前明显减小。在一项系统分析^[4]中, 9 项研究结果显示神经肌肉训练能改善 ACL 重建术后患者的膝关节功能, 但有 2 项研究结果显示神经肌肉训练对患者术后功能无明显影响, 认为这可能是由于训练方法差异所致。Grooms 等^[43]的研究发现, 频闪观测视觉反馈中断作为一种新的神经肌肉训练方法, 可改变膝关节着地时矢状面和前平面的状态。

2.5 物理治疗 ACL 损伤严重的患者, 术后疼痛、肿胀明显, 单一进行运动疗法的局限性很大。冷疗、神经肌肉电刺激等物理治疗能改善肌肉抑制状态, 在运动前暂时减少关节源性肌肉抑制 (arthrogenous muscle inhibition, AMI), 并增加股四头肌的募集, 可以作为肌力训练的辅助治疗方法^[44]。

2.5.1 冷疗 冷疗是一种易获得、低成本、操作方便的物理治疗方法。术后进行冷疗可有效地缓解患肢疼痛和肿胀^[45-46]。Hart 等^[47]研究发现冷疗后附加康复运动比单纯进行冷疗或单纯进行康复运动, 更有利于股四头肌肌力的恢复, 且患者对康复训练的适应过程较短。Kuenze 等^[48]的研究表明, 对于 ACL 重建术后患者, 进行 2 周的冷疗辅助康复训练可以改善股四头肌的功能, 维持下肢的对称性。

2.5.2 神经肌肉电刺激 神经肌肉电刺激 (neuromuscular electrical stimulation, NMES) 可减少突触前抑制, 常作为肌力训练的补充, 以减少 AMI 并促进股四头肌的募集^[49-50]。Labanca 等^[50]的研究表明, 在重复坐-立-坐运动的基础上叠加 NMES 进行早期干预, ACL 重建术后患者的膝关节伸肌肌力明显增强, 疼痛感减轻, 下肢负荷对称性高于无叠加组。研究^[4,51]显示, 与单纯标准物理治疗相比, NMES 联合标准物理治疗在 ACL 重建术后早期可明显增加股四头肌肌力和改善膝关节功能。

3 心理康复

随着 ACL 损伤康复治疗方案的完善, 心理康复也逐渐引起人们的重视。决定回归伤前运动是 ACL 损伤患者一个重要的心理反应^[52-53], 但害怕再受伤会潜在影响术后膝关节功能的恢复^[54-55], 而回归运动的心理准备、预期恢复时间以及心理控制是决定患者是否能回归伤前运动的重要因素^[56]。Coronado 等^[57]的研究表明心理社会策略可改善患者术后生活

质量、焦虑情绪和恐惧心理。患者心理和情感要求已经成为保障康复效果的积极因素之一, 因此有必要将心理康复纳入 ACL 损伤的康复治疗方案^[3-4,58]。

4 小 结

康复治疗贯穿 ACL 损伤患者治疗的全过程。术前康复以减轻肿胀和炎症、增加关节活动范围及股四头肌肌力为主, 辅心理指导, 使患者在心理和生理上做好充分术前准备; 术后根据患者损伤严重程度、手术方式、移植物的选择、个人体质及对术后功能的要求等多种因素制定康复计划, 不仅要注重肌肉力量和关节活动度训练, 更需要加强本体感觉和神经肌肉训练, 以提高患膝的动态稳定性。随着康复技术的不断进步与发展和康复流程标准化的构建, 必将有更多 ACL 损伤患者受益。但 ACL 损伤综合康复方案的制定尚需更多的循证医学证据加以支撑, 并应更注重长期效果, 以促进膝关节功能的完全恢复。

参考文献

- [1] LAI C C H, ARDERN C L, FELLER J A, et al. Eighty - three per cent of elite athletes return to preinjury sport after anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review with meta - analysis of return to sport rates, graft ruptures and performance outcomes [J]. Br J Sports Med, 2018, 52(2): 128 - 138.
- [2] ARDERN C L, EKÅS G R, GRINDEM H, et al. 2018 International Olympic Committee consensus statement on prevention, diagnosis and management of paediatric anterior cruciate ligament (ACL) injuries [J]. Br J Sports Med, 2018, 52(7): 422 - 438.
- [3] GRINDEM H, RISBERG M A, EITZEN I. Two factors that may underpin outstanding outcomes after ACL rehabilitation [J]. Br J Sports Med, 2015, 49(22): 1425.
- [4] VAN MELICK N, VAN CINGEL R E, BROOIJMANS F, et al. Evidence - based clinical practice update: practice guidelines for anterior cruciate ligament rehabilitation based on a systematic review and multidisciplinary consensus [J]. Br J Sports Med, 2016, 50(24): 1506 - 1515.
- [5] GRINDEM H, GRANAN L P, RISBERG M A, et al. How does a combined preoperative and postoperative rehabilitation programme influence the outcome of ACL reconstruction 2 years after surgery? A comparison between patients in the delaware-oslo ACL cohort and the norwegian national knee ligament registry [J]. Br J Sports Med, 2015, 49(6): 385 - 389.
- [6] FAILLA M J, LOGERSTEDT D S, GRINDEM H, et al. Does extended preoperative rehabilitation influence outcomes 2

- years after ACL reconstruction? A comparative effectiveness study between the moon and delaware – oslo ACL cohorts [J]. *Am J Sports Med*, 2016, 44(10): 2608 – 2614.
- [7] LOGERSTEDT D, LYNCH A, AXE M J, et al. Pre – operative quadriceps strength predicts IKDC2000 scores 6 months after anterior cruciate ligament reconstruction [J]. *Knee*, 2013, 20(3): 208 – 212.
- [8] DE JONG S N, VAN CASPEL D R, VAN HAEFF M J, et al. Functional assessment and muscle strength before and after reconstruction of chronic anterior cruciate ligament lesions [J]. *Arthroscopy*, 2007, 23(1): 21 – 28.
- [9] DE VALK E J, MOEN M H, WINTERS M, et al. Preoperative patient and injury factors of successful rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction with single – bundle techniques [J]. *Arthroscopy*, 2013, 29(11): 1879 – 1895.
- [10] EITZEN I, MOKSNES H, SNYDER – MACKLER L, et al. A progressive 5 – week exercise therapy program leads to significant improvement in knee function early after anterior cruciate ligament injury [J]. *J Orthop Sports Phys Ther*, 2010, 40(11): 705 – 721.
- [11] SHAARANI S R, O’HARE C, QUINN A, et al. Effect of prehabilitation on the outcome of anterior cruciate ligament reconstruction [J]. *Am J Sports Med*, 2013, 41(9): 2117 – 2127.
- [12] RISBERG M A, MØRK M, JENSSEN H K, et al. Design and implementation of a neuromuscular training program following anterior cruciate ligament reconstruction [J]. *J Orthop Sports Phys Ther*, 2001, 31(11): 620 – 631.
- [13] AALTONEN S, KARJALAINEN H, HEINONEN A, et al. Prevention of sports injuries; systematic review of randomized controlled trials [J]. *Arch Intern Med*, 2007, 167(15): 1585 – 1592.
- [14] OLSEN O E, MYKLEBUST G, ENGBRETSSEN L, et al. Exercises to prevent lower limb injuries in youth sports; cluster randomised controlled trial [J]. *BMJ*, 2005, 330(7489): 449.
- [15] CAPIN J J, ZARZYCKI R, ITO N, et al. Gait mechanics in women of the ACL – sports randomized control trial; interlimb symmetry improves over time regardless of treatment group [J]. *J Orthop Res*, 2019, 37(8): 1743 – 1753.
- [16] ARUNDALE A J H, CUMMER K, CAPIN J J, et al. Report of the clinical and functional primary outcomes in men of the ACL – sports trial; similar outcomes in men receiving secondary prevention with and without perturbation training 1 and 2 years after acl reconstruction [J]. *Clin Orthop Relat Res*, 2017, 475(10): 2523 – 2534.
- [17] MENDIAS C L, LYNCH E B, DAVIS M E, et al. Changes in circulating biomarkers of muscle atrophy, inflammation, and cartilage turnover in patients undergoing anterior cruciate ligament reconstruction and rehabilitation [J]. *Am J Sports Med*, 2013, 41(8): 1819 – 1826.
- [18] GRANT J A. Updating recommendations for rehabilitation after ACL reconstruction; a review [J]. *Clin J Sport Med*, 2013, 23(6): 501 – 502.
- [19] HART H F, CROSSLEY K M, COLLINS N J, et al. Bracing of the reconstructed and osteoarthritic knee during high dynamic load tasks [J]. *Med Sci Sports Exerc*, 2017, 49(6): 1086 – 1096.
- [20] JALALI M, FARAHMAND F, ESFANDIARPOUR F, et al. The effect of functional bracing on the arthrokinematics of anterior cruciate ligament injured knees during lunge exercise [J]. *Gait Posture*, 2018, 63: 52 – 57.
- [21] LOWE W R, WARTH R J, DAVIS E P, et al. Functional bracing after anterior cruciate ligament reconstruction; a systematic review [J]. *J Am Acad Orthop Surg*, 2017, 25(3): 239 – 249.
- [22] WRIGHT R W, FETZER G B. Bracing after ACL reconstruction; a systematic review [J]. *Clin Orthop Relat Res*, 2007, 455: 162 – 168.
- [23] LOBB R, TUMILTY S, CLAYDON L S. A review of systematic reviews on anterior cruciate ligament reconstruction rehabilitation [J]. *Phys Ther Sport*, 2012, 13(4): 270 – 278.
- [24] BEYNNON B D, FLEMING B C. Anterior cruciate ligament strain in – vivo; a review of previous work [J]. *J Biomech*, 1998, 31(6): 519 – 525.
- [25] GERBER J P, MARCUS R L, DIBBLE L E, et al. Effects of early progressive eccentric exercise on muscle size and function after anterior cruciate ligament reconstruction; a 1 – year follow – up study of a randomized clinical trial [J]. *Phys Ther*, 2009, 89(1): 51 – 59.
- [26] FRIEDMANN – BETTE B, PROFIT F, GWECHENBERGER T, et al. Strength training effects on muscular regeneration after ACL reconstruction [J]. *Med Sci Sports Exerc*, 2018, 50(6): 1152 – 1161.
- [27] KRISTENSEN J, FRANKLYN – MILLER A. Resistance training in musculoskeletal rehabilitation; a systematic review [J]. *Br J Sports Med*, 2012, 46(10): 719 – 726.
- [28] FLEMING B C, OKSENDAHL H, BEYNNON B D. Open – or closed – kinetic chain exercises after anterior cruciate ligament reconstruction? [J]. *Exerc Sport Sci Rev*, 2005, 33(3): 134 – 140.
- [29] ANDERSSON D, SAMUELSSON K, KARLSSON J. Treat-

- ment of anterior cruciate ligament injuries with special reference to surgical technique and rehabilitation; an assessment of randomized controlled trials [J]. *Arthroscopy*, 2009, 25(6):653–685.
- [30] TAGESSON S, OBERG B, GOOD L, et al. A comprehensive rehabilitation program with quadriceps strengthening in closed versus open kinetic chain exercise in patients with anterior cruciate ligament deficiency: a randomized clinical trial evaluating dynamic tibial translation and muscle function [J]. *Am J Sports Med*, 2008, 36(2):298–307.
- [31] PERRY M C, MORRISSEY M C, KING J B, et al. Effects of closed versus open kinetic chain knee extensor resistance training on knee laxity and leg function in patients during the 8– to 14– week post– operative period after anterior cruciate ligament reconstruction [J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2005, 13(5):357–369.
- [32] UCAR M, KOCA I, EROGLU M, et al. Evaluation of open and closed kinetic chain exercises in rehabilitation following anterior cruciate ligament reconstruction [J]. *J Phys Ther Sci*, 2014, 26(12):1875–1878.
- [33] JEWISS D, OSTMAN C, SMART N. Open versus closed kinetic chain exercises following an anterior cruciate ligament reconstruction; a systematic review and meta– analysis [J]. *J Sports Med (Hindawi Publ Corp)*, 2017, 2017:4721548.
- [34] CHANG N J, SHIE M Y, LEE K W, et al. Can early rehabilitation prevent posttraumatic osteoarthritis in the patellofemoral joint after anterior cruciate ligament rupture? Understanding the pathological features [J]. *Int J Mol Sci*, 2017, 18(4):E829.
- [35] LIAO C D, HUANG Y C, CHIU Y S, et al. Effect of body mass index on knee function outcomes following continuous passive motion in patients with osteoarthritis after total knee replacement; a retrospective study [J]. *Physiotherapy*, 2017, 103(3):266–275.
- [36] CHAUDHRY H, BHANDARI M. Cochrane in CORR(®): continuous passive motion following total knee arthroplasty in people with arthritis (Review) [J]. *Clin Orthop Relat Res*, 2015, 473(11):3348–3354.
- [37] CHANG N J, LEE K W, CHU C J, et al. A preclinical assessment of early continuous passive motion and treadmill therapeutic exercises for generating chondroprotective effects after anterior cruciate ligament rupture [J]. *Am J Sports Med*, 2017, 45(10):2284–2293.
- [38] KRUSE L M, GRAY B, WRIGHT R W. Rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction; a systematic review [J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2012, 94(19):1737–1748.
- [39] HOWELLS B E, CLARK R A, ARDERN C L, et al. The assessment of postural control and the influence of a secondary task in people with anterior cruciate ligament reconstructed knees using a nintendo wii balance board [J]. *Br J Sports Med*, 2013, 47(14):914–919.
- [40] HEWETT T E, MYER G D, FORD K R, et al. Biomechanical measures of neuromuscular control and valgus loading of the knee predict anterior cruciate ligament injury risk in female athletes; a prospective study [J]. *Am J Sports Med*, 2005, 33(4):492–501.
- [41] BENIS R, BONATO M, LA TORRE A. Elite female basketball players' body– weight neuromuscular training and performance on the Y– balance test [J]. *J Athl Train*, 2016, 51(9):688–695.
- [42] SHIM J K, CHOI H S, SHIN J H. Effects of neuromuscular training on knee joint stability after anterior cruciate ligament reconstruction [J]. *J Phys Ther Sci*, 2015, 27(12):3613–3617.
- [43] GROOMS D R, CHAUDHARI A, PAGE S J, et al. Visual– Motor control of drop landing after anterior cruciate ligament reconstruction [J]. *J Athl Train*, 2018, 53(5):486–496.
- [44] BUCKTHORPE M, LA ROSA G, VILLA F D. Restoring knee extensor strength after anterior cruciate ligament reconstruction; a clinical commentary [J]. *Int J Sports Phys Ther*, 2019, 14(1):159–172.
- [45] MARTIMBIANCO A L, GOMES DA SILVA B N, DE CARVALHO A P, et al. Effectiveness and safety of cryotherapy after arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction. A systematic review of the literature [J]. *Phys Ther Sport*, 2014, 15(4):261–268.
- [46] RAYNOR M C, PIETROBON R, GULLER U, et al. Cryotherapy after ACL reconstruction: a meta– analysis [J]. *J Knee Surg*, 2005, 18(2):123–129.
- [47] HART J M, KUENZE C M, DIDUCH D R, et al. Quadriceps muscle function after rehabilitation with cryotherapy in patients with anterior cruciate ligament reconstruction [J]. *J Athl Train*, 2014, 49(6):733–739.
- [48] KUENZE C M, KELLY A R, JUN H P, et al. Unilateral quadriceps strengthening with disinhibitory cryotherapy and quadriceps symmetry after anterior cruciate ligament reconstruction [J]. *J Athl Train*, 2017, 52(11):1010–1018.
- [49] LEPPLEY L K, WOJTYS E M, PALMIERI– SMITH R M. Combination of eccentric exercise and neuromuscular electrical stimulation to improve quadriceps function post– ACL reconstruction [J]. *Knee*, 2015, 22(3):270–277.