

离心收缩训练在膝关节相关疾病康复中的研究进展

雷蕾¹ 成熟¹ 周静¹ 陈茉弦² 敖丽娟^{2,3}

膝关节(knee joint)是人体最大、最复杂的关节,也是最容易受伤的关节。膝关节由股骨内、外侧髁和胫骨内、外侧髁以及髌骨组成。其周围被有关节囊、韧带、滑膜囊、肌腱(或肌肉)等结构,外覆筋膜和皮肤。膝关节是极易受累关节,较为常见的膝关节疾病有前交叉韧带(anterior cruciate ligament, ACL)损伤、髌腱炎、膝关节骨关节炎(knee osteoarthritis, KOA)、半月板损伤等。目前,肌肉力量训练在膝关节相关疾病中扮演着重要的角色,而肌肉力量训练包括等长收缩训练、向心收缩训练以及离心收缩训练。离心收缩因其具有产生力量大而耗能少的特点^[1],在膝关节相关疾病中运用越来越广泛,本文就离心收缩训练在膝关节相关疾病中的应用做一综述。

1 离心收缩的特点

当外力大于肌肉所产生的内力时,肌肉在激活时被动地拉长,这样的收缩形式被称为离心收缩(eccentric contraction)^[2]。离心收缩有以下特点:①离心收缩在人体运动中起减速和储存能量的作用^[3]。②离心收缩产生的张力远大于向心收缩,现在公认的离心收缩可以产生较大张力的原因:肌肉的牵张反射,肌肉在进行离心收缩时受到强烈的牵张,会反射性地引起肌肉强烈收缩;离心收缩时肌肉中的弹性成分被拉长而产生阻力,同时肌肉中的可收缩成分也能产生最大阻力。③离心收缩能有效地增加肌肉体积,产生较大的力量,而耗氧量较少^[1]。有研究表明,在相同速度下,离心收缩产生的力量是向心收缩的2—3倍^[3]。④离心收缩对心血管产生的压力较小,能够减缓随年龄增长的生理衰退,故对老年人和部分身体虚弱的人也适用^[4]。

2 离心收缩对肌肉、肌腱的影响

离心收缩训练可以通过增加肌纤维中肌小节的数量来改变肌肉的长度,从而提高肌肉收缩的速率和增加肌肉的延展性^[5],离心收缩训练,可影响肌肉收缩的速率、肌小节数量以及肌肉的长度,可以增加肌肉的爆发力,这对于某些运动来说是非常有必要的^[6]。短期高强度的离心收缩训练能够

改变肌肉的大小。8例健康人在1周内进行2次时间为5—10.5min的股四头肌的离心收缩训练,在训练前及训练后1周用超声测股直肌和股外侧肌的厚度发现其厚度分别增长了(24±4)%、(13±2)%^[7]。还有研究表明,基于离心收缩的抗阻训练方法在改善肌肉大小方面优于传统的抗阻训练方法。并且,与传统康复训练相比,离心收缩训练更能够增加膝关节伸肌峰值力矩^[8]。

离心收缩能改变运动单位的募集阈值、放电频率、运动单位传导速度和运动单位的同步情况,这种改变可以持续1周^[9]。运动单位的募集遵循Henneman的“大小原则”^[10],即优先兴奋支配慢肌纤维的、低阈值的小运动神经元,后兴奋支配快肌纤维的、高阈值的大运动神经元。但是,有研究表明,快速的离心收缩训练可以改变运动单位的募集顺序,即使快肌中大的运动单位优先募集,这表明离心收缩可以选择性地发展快肌的肌力,可能会加速快肌纤维的肥厚^[11]。

肌卫星细胞在肌肉的生长和修复中扮演着重要的作用,离心收缩能够刺激肌卫星细胞的活化和增生,然而肌卫星细胞并不是单独发挥作用。有研究表明,在α7整合素的影响下,离心收缩能够促进骨骼肌里的间充质干细胞的表达,间充质干细胞与肌卫星细胞共同参与肌肉的生长和修复,间充质干细胞运用于基于细胞或分子的治疗方式中,可以有效地预防肌肉萎缩^[12]。

在肌腱损伤的早期,离心收缩能够促进新生血管的生成,从而促进肌腱的愈合^[13]。Kaux等^[14]对健康小鼠进行实验后发现,进行离心收缩训练相比向心收缩训练而言,更能促进新生血管和胶原纤维的生成,离心收缩训练能使肌腱横截面积增加,并改善小鼠肌腱的力学特性。

从事不习惯的或大强度的离心收缩会造成肌肉损伤,但采用渐进抗阻的离心收缩训练不会造成肌肉损伤^[15-16]。即使有轻微的损伤,但对于肌肉的重塑,损伤也是必要的^[17-18]。

3 离心收缩训练对血管的影响

Okamoto等^[19]将29例健康女性随机分为离心抗阻训练组、向心抗阻训练组和静力收缩组,对其进行为期8周,每周

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2017.12.025

1 昆明医科大学,昆明,650500; 2 昆明医科大学第二附属医院; 3 通讯作者

作者简介:雷蕾,女,硕士研究生; 收稿日期:2016-06-16

3次的训练后发现,离心抗阻训练后不增加动脉的硬度。该研究提示,对于中老年人,离心收缩训练可能是一个不错的训练方式。而后他们又发现,离心收缩训练不仅不增加动脉硬度,还能预防动脉硬化^[20]。Benedini-Elias等^[21]对制动10天后的小鼠分别进行离心收缩和被动牵伸后发现,相对于被动牵伸而言,离心收缩训练更能诱导血管生成反应,促进血管生成,特别是在进行康复训练21天后。有研究发现,进行离心收缩训练后能够短暂地增加肌腱的外周血管数量,并且不产生炎症因子以及病理形态的改变^[14]。

4 离心收缩训练在膝关节相关疾病中的应用

4.1 离心收缩训练在ACL重建术后的应用

ACL损伤是一种较为常见的运动损伤,ACL起自于胫骨髁间隆起前部,止于股骨外侧髁的内侧面上部,有防止胫骨前移和限制胫骨内旋的作用,一般情况下比较牢固,但在极端的暴力或者不恰当的运动下容易断裂,ACL损伤后不仅会造成膝关节前移和旋转的不稳定、关节活动受限、肌肉萎缩和疼痛等问题,也会造成半月板的损伤,后期还会损害软骨导致膝关节的退行性病变^[22]。在ACL损伤后多数患者需要在关节镜下进行前交叉韧带的重建,最常采用的是自体腘绳肌腱移植,但只有60%的患者在重建后完全恢复^[23]。重建后仍然会存在膝关节周围肌群的萎缩、无力,以及下肢不对称的现象^[24]。并且,重建术后如若步态不得以纠正,很容易诱发膝关节骨关节炎,故在手术后应进行合理的康复训练,以预防再次损伤。离心收缩训练因其产生较大的力量而耗能较少,从而广泛地应用于ACL重建术后的训练中^[25]。

有研究表明,ACL重建术后可以通过相关节段的脊髓前角细胞传出信号,保护性抑制关节周围肌肉功能活动而造成股四头肌变弱,并使其肌力下降,产生由反射抑制所造成的肌肉无力,即关节源性肌肉抑制(arthrogenous muscle inhibition, AMI)。然而,离心收缩和神经肌肉电刺激(neuromuscular electrical stimulation, NMES)均可能减轻关节源性肌肉抑制的现象^[26]。Lepley LK等^[27]将43例ACL重建术后的患者随机分为4个组(NMES+离心收缩训练、NMES、离心收缩训练、对照组)。NMES+离心收缩训练组和NMES组在手术后立即进行每周2次、持续6周的NMES治疗,NMES+离心收缩训练组和离心收缩训练组在术后进行每周2次、持续6周的离心收缩训练,而对照组不进行以上两种训练。分别在手术前、手术后12周以及回归运动三个时间点进行股四头肌力量和激活情况的测试。研究发现,离心收缩训练与NMES相结合较单纯NMES能更好地提高ACL重建术后患者的肌肉力量。之后,该研究组人员又发现,NMES结合离心收缩训练在改善下肢力线中有着极其重要的作用^[28]。

Coury等^[29]对5例(平均32岁)进行自体髌腱移植的ACL

损伤患者通过Biodex等速系统进行离心训练,角速度为30°/s,每周3次,训练12周,膝关节离心抗阻活动范围从20°—90°。训练后膝关节伸肌力矩从训练前的(210±60)Nm增加到训练后的(262±51)Nm,该研究显示离心收缩训练有助于股四头肌力矩的增加。

Kinikli等^[30]将33例进行了自体半腱肌和股薄肌移植的ACL损伤患者,随机分为试验组(16例)和对照组(17例),所有患者在术后1周开始康复训练,先进行2—3周的主要针对疼痛和肿胀的康复训练,3周后对照组继续进行标准的康复训练,试验组进行离心收缩和向心收缩结合的抗阻训练,每周3次,训练12周后,试验组的膝关节功能评分明显优于对照组,但试验组和对照组在改善肌力方面没有显著的差异。

4.2 离心收缩训练在髌腱炎中的应用

髌腱炎是由于髌韧带接受过度的、不恰当的负荷而产生的炎症反应^[31]。目前,髌腱炎大多用非手术方法治疗,比如休息、离心收缩训练、冷疗、非甾体类抗炎药、硬化剂注射、体外冲击波治疗、糖皮质激素注射、富血小板血浆注射等,而离心收缩训练是非手术治疗中最受欢迎的治疗方法^[32]。

Jonsson等^[33]将19例患有髌腱炎的患者随机分为离心收缩训练组(10例)和向心收缩训练组(9例),训练方法是患者站在倾斜25°的斜板上,离心收缩组从直立位屈曲到70°的位置,而向心收缩组则从70°屈曲位到直立位。训练频率为每周7天,每天2次,每次3组,每组15次,共12周。结果在离心收缩组中有9例对治疗较为满意,疼痛减轻明显,随访(32个月左右)发现所有进行离心收缩的患者都很满意并依从性好,但是所有进行向心收缩的患者却均在之后进行了手术或者硬化剂注射。

有研究表明,超声引导下的组织间经皮电解(intratissue percutaneous electrolysis, EPI)结合离心收缩训练治疗髌腱炎能够有效地改善膝关节的功能,并具有长期安全性^[34]。此外,Frohm等^[35]将20例髌腱炎的患者随机分为I组(11例):借助Browsman离心负荷装置进行下蹲训练,从直立位屈膝到110°,每周2天,每天4组,每组4次。其中1组热身,后3组以自身最大能力进行训练。II组(9例):在25°倾斜面上做患腿的下蹲训练,每周2天,每天3组,每组15次。进行为期12周的训练后发现两组患者的功能都有明显的改善,疼痛减轻,但是这两组治疗效果没有显著的差异。

4.3 离心收缩训练在KOA中的应用

KOA患者下肢会出现肌肉无力的问题,特别是股四头肌^[36]。股四头肌无力的程度直接关系到下肢的功能并与疼痛相关,可以利用抗阻训练的方法来增强股四头肌的肌力,在抗阻训练中,离心抗阻训练是一个不错的选择。

Gür等^[37]将23例确诊为KOA的患者随机分为向心收缩组(9例)、离心收缩+向心收缩组(8例)和对照组(6例),向心

收缩组接受每周3天,每天12组,共8周的膝关节等速屈伸肌向心收缩训练,离心收缩+向心收缩组接受每天6次膝关节屈伸肌向心收缩及6次膝关节屈伸肌离心收缩训练,对照组不进行任何训练。在训练前和训练8周后测试指标,得出离心收缩结合向心收缩更能够提高KOA患者的功能能力,特别是上、下楼梯,但是在改善KOA患者疼痛和肌力问题上没有显著的差异。

Hernandez等^[38]对1例58岁的双侧KOA的患者进行了等速离心抗阻训练(第1周:角速度45°/s,负荷为40%—50%的最大自主离心收缩。第2—3周:角速度60°/s,负荷为50%—60%的最大自主离心收缩。第4—12周:角速度60°/s—90°/s,负荷大于70%的最大自主离心收缩),训练时间为12周,每周训练2次,每次训练3组,在训练前、训练12周后测试指标,研究发现在角速度60°/s、180°/s下膝关节屈伸肌峰值力矩均有所增加。并且训练12周后,用超声检测股直肌的厚度发现,患者左右侧股直肌厚度也有所增加。该研究说明离心收缩训练改善了该患者的肌肉体积和力量。此外,患者在训练后,疼痛、ADL、运动/反应、生存质量都有所改善。

Jegu等^[39]将80例患有内侧间室KOA患者随机分为等速离心收缩训练组(40例)和等速向心收缩训练组(40例),利用Cybex 6000等速系统训练6周,每周2次,结果发现等速离心收缩训练在提高股四头肌肌力、改善KOA患者疼痛、静力平衡以及WOMAC评分上具有更大的优势。

5 小结

离心收缩因其产生的力量比向心收缩大而耗能较少,现已广泛运用于与膝关节相关的疾病中。虽然已经证实离心收缩在改善股四头肌体积或横截面积、肌肉力量以及改善关节活动度中有较好的效果,但对于离心收缩训练的强度、频率、时间以及最佳干预时间没有一个确切的定论。因此,以后需要更多的随机对照试验研究,就负荷、速度以及重复次数等方面不仅可以制订出更为有效的训练方案,而且有助于发现离心收缩的潜在作用机制。虽然,离心收缩有很多积极的作用,但也有不利之处。比如,不恰当的离心收缩可以导致肌肉激活不均^[40],最终可能导致力量的不平衡。离心收缩也能减少反射活性,引起关节的不稳定^[41]。因此,从长远的角度来看,在制定训练计划时应当考虑上述不利因素。

参考文献

- [1] Lindstedt SL, LaStayo PC, Reich TE. When active muscles lengthen: properties and consequences of eccentric contractions[J]. *News Physiol Sci*, 2001, 16:256—261.
- [2] Lovering RM, Brooks SV. Eccentric exercise in aging and diseased skeletal muscle: good or bad?[J]. *Journal of Applied Physiology*, 2014, 116(11):1439—1445.
- [3] McNeill W. About eccentric exercise[J]. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*, 2015, 19(3):553—557.
- [4] Gluchowski A, Harris N, Dulson D et al. Chronic eccentric exercise and the older adult[J]. *Sports Medicine*, 2015, 45(10):1413—1430.
- [5] Proske U, Morgan DL. Muscle damage from eccentric exercise: mechanism, mechanical signs, adaptation and clinical applications[J]. *J Physiol*, 2001, 537(Pt 2):333—345.
- [6] Guilhem G, Cornu C, Guevel A. Neuromuscular and muscle-tendon system adaptations to isotonic and isokinetic eccentric exercise[J]. *Ann Phys Rehabil Med*, 2010, 53(5):319—341.
- [7] Leong CH, McDermott WJ, Elmer SJ, et al. Chronic eccentric cycling improves quadriceps muscle structure and maximum cycling power[J]. *Int J Sports Med*, 2014, 35(7):559—565.
- [8] Raj IS, Bird SR, Westfold BA, et al. Effects of eccentrically biased versus conventional weight training in older adults[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 2012, 44(6):1167—1176.
- [9] Semmler JG. Motor unit activity after eccentric exercise and muscle damage in humans[J]. *Acta Physiologica*, 2014, 210(4):754—767.
- [10] Hhenneman E. Relation between size of neurons and their susceptibility to discharge[J]. *Science*, 1957, 126(3287):1345—1347.
- [11] Hodson-Tole EF, Wakeling JM. Motor unit recruitment for dynamic tasks: current understanding and future directions[J]. *J Comp Physiol B*, 2009, 179(1):57—66.
- [12] Valero MC, Huntsman HD, Liu J, et al. Eccentric exercise facilitates mesenchymal stem cell appearance in skeletal muscle[J]. *PLoS One*, 2012, 7(1):e29760.
- [13] Nakamura N, Fujita T, Kumasaka R, et al. Serum lipid profile and plasma fatty acid composition in hemodialysis patients: comparison with chronic kidney disease patients[J]. *In Vivo*, 2008, 22(5):609—611.
- [14] Kaux JF, Drion P, Libertiaux V, et al. Eccentric training improves tendon biomechanical properties: a rat model[J]. *J Orthop Res*, 2013, 31(1):119—124.
- [15] LaStayo PC, Woolf JM, Lewek MD, et al. Eccentric muscle contractions: their contribution to injury, prevention, rehabilitation, and sport[J]. *J Orthop Sports Phys Ther*, 2003, 33(10):557—571.
- [16] Gerber JP, Marcus RL, Dibble LE, et al. Safety, feasibility, and efficacy of negative work exercise via eccentric muscle activity following anterior cruciate ligament reconstruction[J]. *J Orthop Sports Phys Ther*, 2007, 37(1):10—18.
- [17] Evans WJ, Cannon JG. The metabolic effects of exercise-induced muscle damage[J]. *Exerc Sport Sci Rev*, 1991, 19:

- 99—125.
- [18] Schoenfeld BJ. Does exercise-induced muscle damage play a role in skeletal muscle hypertrophy?[J]. *J Strength Cond Res*, 2012, 26(5):1441—1453.
- [19] Okamoto T, Masuhara M, Ikuta K. Effects of eccentric and concentric resistance training on arterial stiffness[J]. *J Hum Hypertens*, 2006, 20(5):348—354.
- [20] Okamoto T, Masuhara M, Ikuta K. Effects of muscle contraction timing during resistance training on vascular function[J]. *J Hum Hypertens*, 2009, 23(7):470—478.
- [21] Benedini- Elias PC, Morgan MC, Cornachione AS, et al. Post-immobilization eccentric training promotes greater hypertrophic and angiogenic responses than passive stretching in muscles of weanling rats[J]. *Acta Histochem*, 2014, 116(3):503—513.
- [22] Petersen W. Does ACL reconstruction lead to degenerative joint disease or does it prevent osteoarthritis? How to read science[J]. *Arthroscopy*, 2012, 28(4):448—450.
- [23] Biau DJ, Tournoux C, Katsahian S, et al. ACL reconstruction: a meta-analysis of functional scores[J]. *Clin Orthop Relat Res*, 2007, 458:180—187.
- [24] Gokeler A, Hof AL, Arnold MP, et al. Abnormal landing strategies after ACL reconstruction[J]. *Scand J Med Sci Sports*, 2010, 20(1):e12—e19.
- [25] Lindstedt SL, Reich TE, Keim P, et al. Do muscles function as adaptable locomotor springs?[J]. *J Exp Biol*, 2002, 205(Pt 15):2211—2216.
- [26] Palmieri-Smith RM, Thomas AC, Wojtys EM. Maximizing quadriceps strength after ACL reconstruction[J]. *Clin Sports Med*, 2008, 27(3):405—424.
- [27] Lepley LK, Wojtys EM, Palmieri-Smith RM. Combination of eccentric exercise and neuromuscular electrical stimulation to improve quadriceps function post-ACL reconstruction [J]. *The Knee*, 2015, 22(3):270—277.
- [28] Lepley LK, Wojtys EM, Palmieri-Smith RM. Combination of eccentric exercise and neuromuscular electrical stimulation to improve biomechanical limb symmetry after anterior cruciate ligament reconstruction[J]. *Clinical Biomechanics*, 2015, 30(7):738—747.
- [29] Coury HJCG, Brasileiro JS, Salvini TF, et al. Change in knee kinematics during gait after eccentric isokinetic training for quadriceps in subjects submitted to anterior cruciate ligament reconstruction[J]. *Gait & Posture*, 2006, 24(3):370—374.
- [30] Kinikli GI. The effect of progressive eccentric and concentric training on functional performance after autogenous hamstring anterior cruciate ligament reconstruction: a randomized controlled study[J]. *Acta Orthopaedica et Traumatologica Turcica*, 2014, 48(3):283—289.
- [31] Rodriguez-Merchan EC. The treatment of patellar tendinopathy[J]. *Journal of Orthopaedics and Traumatology*, 2013, 14(2):77—81.
- [32] Schwartz A, Watson JN, Hutchinson MR. Patellar Tendinopathy[J]. *Sports Health: A Multidisciplinary Approach*, 2015, 7(5):415—420.
- [33] Jonsson P. Superior results with eccentric compared to concentric quadriceps training in patients with jumper's knee: a prospective randomised study[J]. *British Journal of Sports Medicine*, 2005, 39(11):847—850.
- [34] Abat F, Gelber PE, Polidori F, et al. Clinical results after ultrasound-guided intratissue percutaneous electrolysis (EPI®) and eccentric exercise in the treatment of patellar tendinopathy[J]. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 2015, 23(4):1046—1052.
- [35] Frohm A, Saartok T, Halvorsen K, et al. Eccentric treatment for patellar tendinopathy: a prospective randomised short-term pilot study of two rehabilitation protocols[J]. *British Journal of Sports Medicine*, 2007, 41(7):e7.
- [36] Hurley MV, Newham DJ. The influence of arthrogenous muscle inhibition on quadriceps rehabilitation of patients with early, unilateral osteoarthritic knees[J]. *Br J Rheumatol*, 1993, 32(2):127—131.
- [37] Gür H, Çakın N, Akova B, et al. Concentric versus combined concentric- eccentric isokinetic training: Effects on functional capacity and symptoms in patients with osteoarthritis of the knee[J]. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 2002, 83(3):308—316.
- [38] Hernandez HJ, McIntosh V, Leland A, et al. Progressive Resistance Exercise with Eccentric Loading for the Management of Knee Osteoarthritis[J]. *Frontiers in Medicine*, 2015, 2.
- [39] Jegu AG, Pereira B, Andant N, et al. Effect of eccentric isokinetic strengthening in the rehabilitation of patients with knee osteoarthritis: Isogo, a randomized trial[J]. *Trials*, 2014, 15:106.
- [40] Hedayatpour N, Falla D, Arendt-Nielsen L, et al. Sensory and electromyographic mapping during delayed-onset muscle soreness[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 2008, 40(2):326—334.
- [41] Hedayatpour N, Falla D. Delayed onset of vastii muscle activity in response to rapid postural perturbations following eccentric exercise: a mechanism that underpins knee pain after eccentric exercise?[J]. *Br J Sports Med*, 2014, 48(6):429—434.