

· 综述 · doi:10.3969/j.issn.1671-8348.2024.15.026

网络首发 [https://link.cnki.net/urlid/50.1097.R.20240301.1459.012\(2024-03-05\)](https://link.cnki.net/urlid/50.1097.R.20240301.1459.012(2024-03-05))

膝前交叉韧带损伤后本体感觉康复的研究进展*

赵一璇¹, 崔洪星², 吴熙芃¹, 李伟^{2△}

(1. 滨州医学院特殊教育与康复学院, 山东烟台 264003; 2. 滨州医学院附属医院康复医学科, 山东滨州 256699)

[摘要] 膝关节前交叉韧带(ACL)损伤是一种常见的运动损伤, ACL 损伤后出现的膝关节功能减退, 可严重影响膝关节整体的稳定性、协调性及平衡能力, 同时也会增加 ACL 再次损伤的风险。本体感觉训练不但能够增强膝关节的平衡能力, 而且还能增强膝关节的控制能力。该研究对 ACL 损伤后本体感觉的变化及 ACL 损伤后本体感觉康复的相关内容进行综述, 为进一步提升 ACL 损伤患者的功能恢复提供参考。

[关键词] 前交叉韧带损伤; 康复; 本体感觉; 前交叉韧带; 综述

[中图分类号] R686.5; R493 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1671-8348(2024)15-2381-07

Research progress on proprioceptive rehabilitation after anterior cruciate ligament injury of knee*

ZHAO Yixuan¹, CUI Hongxing², WU Xipeng¹, LI Wei^{2△}

(1. School of Special Education and Rehabilitation, Binzhou Medical University, Yantai, Shandong 264003, China; 2. Department of Rehabilitation, Affiliated Hospital of Binzhou Medical University, Binzhou, Shandong 256699, China)

[Abstract] Anterior cruciate ligament (ACL) injury of knee is a common sports injury. The hypofunction of the knee joint appears after ACL injury, which seriously affects the overall stability, coordination and balance ability of the knee joint, meanwhile also increases the risk of ACL injury again. Proprioception training can not only enhance the balance ability of the knee joint, but also enhance the control ability of the knee joint. This article reviews the changes of proprioception after ACL injury and the related contents of proprioception rehabilitation after ACL injury in order to provide reference for further improving the functional recovery of the patients with ACL injury.

[Key words] anterior cruciate ligament injury; rehabilitation; proprioceptive sense; anterior cruciate ligament; review

膝关节前交叉韧带(anterior cruciate ligaments, ACL)是膝关节内的重要韧带之一,其主要功能是限制胫骨过度前移和维持膝关节旋转稳定性^[1]。近年来随着全民运动的兴起,运动损伤的发生率也在逐年提高,而 ACL 损伤则是最常见的运动损伤之一^[2-3]。美国每年 ACL 损伤的发病数量达到 20 万人,其中 70% 由运动损伤引起^[4]。

ACL 损伤后本体感觉的恢复一直是争论的焦点^[5]。目前大多数学者认为,前交叉韧带重建术(anterior cruciate ligament reconstruction, ACLR)是 ACL 受损的首选疗法。但重建术后本体感觉的减退不仅会造成膝关节不稳,而且可能还会增加 ACL 再次损伤的风险^[6-7]。RELPH 等^[8]的研究显示,ACL 损伤后本体感觉会下降,对患者的平衡、协调功能造

成严重的影响,而且还会导致患者运动控制能力下降,使膝关节的稳定性、运动的协调性、平衡性及灵活性减退。因此,了解 ACL 损伤后本体感觉的变化规律并进行高效的本体感觉康复训练对患者运动能力的恢复至关重要。

1 ACL 损伤后本体感觉的变化

人体不同运动的调节与控制主要依靠视觉、本体感觉及前庭觉的共同作用^[9]。其中本体感觉指的是人体多个运动器官处于不同状态下出现的感受,从而对这些运动器官产生的紧张感与松弛感进行感受,并开展相应的肢体运动。本体感觉主要由支配肌肉纺锤体的原发性传入纤维传递(具有来自原发性和次级传入的肢体静态位置觉),以及主要来自原发传入的动态运动感(运动觉)组成。人体的运动功能主要在

* 基金项目:山东省自然科学基金面上项目(ZR2022MH063);山东省医药卫生科技发展计划项目(202020010886)。△ 通信作者, E-mail: yishengliwei@163.com。

基于本体感觉的基础上形成,这种感觉主要通过中枢神经系统进行调控,进而在反馈机制的调动下,对肌肉、关节等器官进行控制,并增强运动功能^[10]。ACL 损伤后导致膝关节本体感觉减退,主要是因为损伤后 ACL 上的本体感受器数量下降、滑膜关节周围组织破坏导致本体感觉传入异常,滑膜关节不能很好地感知位置觉和运动觉的信号传递,从而不能限制胫骨过度前伸^[11]。不仅如此,膝关节本体感觉的产生主要源自关节周围的神经输入,且与关节囊、韧带、肌腱等组织器官有关^[12]。

虽然既往很少有研究关注单侧 ACL 损伤后对侧肢体运动时的神经、肌肉功能反应。但是诸多研究证实单侧的 ACL 损伤也会改变双侧膝关节的神经电生理和本体感觉功能。研究^[13-14]证实单侧 ACL 损伤后,双侧膝关节的本体感觉能力均会下降。KIELÉ 等^[15]认为本体感觉在膝关节稳定性中起重要作用,ACL 损伤后不仅会引起患侧本体感觉减退,而且还可能会引起健侧本体感觉减退。刘晓磊等^[16]的研究发现,在一侧 ACL 受损 4 个月后,另一侧的本体感觉也会受到不良影响,同时还会降低对姿势的控制能力。苗欣等^[17]运用脑电对 ACL 损伤患者进行位置觉测试,结果证实单侧 ACL 损伤后中枢系统会随之发生改变,导致对侧位置觉下降。因此单侧 ACL 损伤后,对侧的本体感觉也会有所下降。这说明,在康复方案的制订中,不仅要同时对损伤侧进行本体感觉训练,还要对健侧进行针对性的训练。

ALAHMARI 等^[18]研究表明,与健康人群相比,本体感觉异常患者的运动能力相对较差,在单腿站立无法维持平衡性方面尤为明显,且会影响另一侧的神经、肌肉控制能力。通常表现为关节周围韧带、肌腱、肌肉和本体感觉减退,从而使这些组织的感受器控制肢体的运动能力减弱。由于患侧无法有效地控制身体活动,以至于在运动过程中,为维持身体姿势的调整和平衡必须通过健侧进行代偿,从而导致整个身体的运动能力下降。在未实施任何疗法的前提下,ACL 受损 3 个月时尚能维持基本正常的机械感受器,但若受损超过 9 个月,则会对感受器造成严重的负面影响,受损超过 12 个月,感受器则会逐渐消失不见^[19]。上述现象是造成膝关节运动功能异常的主要因素,因此影响关节的稳定性及动作的精确性,从而导致对肢体控制能力的不断下降^[20]。因此,恢复本体感觉是 ACL 损伤后康复的重要内容。

2 ACL 损伤后本体感觉的康复方案

本体感觉通常指的是患者在自觉或不自觉的状态下,对肢体活动产生的感觉,除了位置及运动方面的感觉以外,还包括对振动的感觉。本体感觉训练则是以科学的方式确保关节控制及平衡能力恢复的训

练模式^[21]。本体感觉训练不是一种特定的训练方法,而是通过不同的训练方法充分调动身体的本体感觉和本体感受器进行身体姿势调整、运动感知和运动单元激活的综合神经肌肉调节^[22]。而且,KONRAD 等^[23]的研究表明本体感觉训练首先要强化肌腱、躯体深部的肌肉及关节等对运动感知的能力,以便有效纠正躯体准确的空间位置、姿势、运动方向的感觉。IN-GEMANSON 等^[24]的研究证实良好的本体感觉训练是促进功能恢复的关键因素。但何种康复方案可以高效地促进本体感觉恢复仍然存在争议。目前 ACL 损伤后改善本体感觉的常用康复方案主要有以下几种。

2.1 平衡能力训练

平衡能力主要是通过三个主要系统的协调来实现,包括视觉、前庭觉和本体感觉。而本体感觉对膝关节功能稳定性具有重要作用,这不仅是运动系统的一个重要方面,也是平衡感觉输入信息的一个重要来源^[25-26]。在康复过程中,经常采用本体感觉联合平衡能力训练,这主要是为了提高 ACL 患者的平衡能力,增加机体的灵活性和敏捷性。因此,平衡能力训练可以提升患者的本体感觉功能,对恢复患者运动能力具有重要的意义。HUANG 等^[27]对 ACL 损伤重建患者进行了平衡促进训练,发现平衡促进训练可明显提高 ACL 损伤重建后患者膝关节本体感觉能力的恢复。季程程等^[28]也发现进行平衡训练可以提高膝关节周围肌肉组织控制能力,增强膝关节的稳定性,改善膝关节本体感觉。值得关注的是,目前本体感觉的训练主要以稳定性训练为主,因为稳定性训练能有效地促进患者动态平衡能力的提升。但也有研究证实,在不稳定的平面上进行的运动可以诱导肌腱、韧带和关节机械感受器更高的刺激和募集,这可能会增加对中枢神经系统的本体感觉反馈。FREYLER 等^[29]的研究指出,不平衡状态训练可以增加膝关节的反射敏感性,并加快膝关节周围肌肉力量的发展速度,便于促进肌肉的共同收缩以稳定膝关节。MAO 等^[30]也通过危机模拟应激跑台训练证实,患者在进行不稳定性平衡训练时,会对大脑皮层产生本体感觉、前庭觉等刺激,这些刺激通过调节肌肉和骨骼的协调控制水平促进平衡能力的增强。施明等^[31]的研究表明,采用 Dynstable 虚拟平衡训练系统进行平衡训练可改善 ACL 损伤后膝关节的本体感觉,且较传统平衡训练效果更佳。尽管目前的研究未确认何种平衡训练更有助于本体感觉的恢复,但这些研究都已经证实平衡训练有利于改善膝关节的本体感觉,而且加强平衡训练也会降低患者再次损伤的风险。因此,平衡能力训练对提高 ACL 损伤患者本体感觉及膝关节稳定性有着重要意义。

2.2 振动刺激训练

目前,关于振动刺激对本体感觉恢复机制的研究较多。振动刺激可以较快地恢复 ACL 的本体感觉功能,从而减少 ACL 损伤后的相关并发症。振动刺激可以提高本体感觉的敏感性的原因可能是振动刺激可以增强关节囊、滑膜和肌肉的本体感觉功能,以代偿 ACL 本体感觉功能的下降^[32]。为了证实这一观点,研究人员做了大量相关研究。如 TROY 等^[33]的研究发现在肌肉上进行局部振动会使肌肉快速激活,产生强直振动增强肌电图的活动^[34],以便损伤侧能快速适应身体的变化,增强膝关节的稳定性。有研究指出,振动能通过本体感受器增强中枢神经及神经、肌肉的协调功能。王艳等^[35]通过设置对照组和治疗组对患者进行位置觉测试的研究表明康复训练与振动疗法相结合,彼此互补,促进脊髓水平、大脑活动、认知程序三种层次的神经肌肉反馈达到改善本体感觉的目的,进而提高膝关节稳定性。由于振动觉是本体感觉的一部分,所以振动刺激对 ACL 损伤后本体感觉的恢复和维持关节稳定性具有积极意义。但其中涉及本体感觉训练的频率、姿势、时间等多种因素的具体方案还存在争议。而且目前的研究只能证明振动刺激对本体感觉具有一定的改善作用,但具体作用机制仍不清楚,有待于进行更深入的研究^[36-37]。

2.3 肌肉功能训练

肌肉功能是维持膝关节动态及静态稳定的重要因素,但是良好的神经控制水平是预防损伤的关键因素^[38]。而良好的神经肌肉控制能力需要通过本体感觉增强。改善患者的本体感觉,既可以强化其对膝关节肌肉主动收缩力量的控制,又可以提高关节周围的肌肉功能。这说明 ACL 损伤后肌肉功能与本体感觉功能的恢复有着密切关系。有研究认为,股四头肌和腘绳肌肌力与本体感觉恢复程度呈正相关,肌力训练与本体感觉相互促进。HU 等^[39]认为当膝关节周围肌群肌力下降时,本体感觉也会出现一定程度的下降,这也是造成膝关节稳定性和平衡能力下降的重要原因。有学者^[40-41]对使用胫骨前同种异体移植物进行 ACL 重建后的患者进行研究,发现损伤 6 个月后加强本体感觉训练可以明显改善股四头肌和腘绳肌的肌力。夏燕等^[42]的研究表明损伤后联合股四头肌、腘绳肌等肌力训练,能有效提高受伤侧的肌力和本体感觉的恢复。因此,在 ACL 损伤早期,应在消除肿胀、缓解疼痛的基础上,尽快开展股四头肌肌力训练和腘绳肌肌力训练。这两块肌肉的训练可以以代偿的方式加强对膝关节的控制,改善 ACL 的本体感觉,从而使膝关节处于稳定状态。但目前的研究尚未明确 ACL 损伤后为加强本体感觉进行肌肉功能训练的具体治疗方案,需要在未来的研究中进一步证实。

2.4 肌内效贴贴扎技术

肌内效贴是一种薄而有弹性的胶带,应用于皮肤表面,对表面的肌肉产生调理作用,目的是重新平衡受损的肌肉组织。目前较多应用于运动损伤治疗等领域^[43]。肌内效贴最初由 KASE 博士证明是肌肉骨骼康复和运动损伤的治疗方法^[44]。目前,对于肌内效贴促进本体感觉恢复的原理存在争议。有研究^[45-46]认为将肌内效贴贴在皮肤上会刺激皮肤和皮下机械感受器,增加传入反馈、抑制痛觉信号,从而减轻疼痛。LIM 等^[47]认为肌内效贴可减轻皮下痛觉感受器的压力,促进血液循环,改善淋巴引流,从而减轻肿胀,减轻疼痛。尽管原理存在争议,但现有研究已证实,肌内效贴的应用对于成年健康男性膝关节位置觉的增强具有明显作用^[48]。其原因在于此方式能够在配合运动治疗的同时,对功能减弱的肌肉组织进行刺激,进而达到改善本体感觉输入的目的^[49]。而且肌内效贴能够增加皮肤和相关肌肉内感受器的信号输出,刺激脊髓中枢,从而提高本体感觉^[50]。CHO 等^[51]认为股四头肌的肌内效贴对老年骨关节炎患者具有有益的短期影响,与接受安慰剂治疗的患者相比,在本体感觉、活动和疼痛方面有明显改善。也有研究表明,本体感觉训练联合肌内效贴治疗可有效改善术后患者膝关节功能与本体感觉功能,且联合肌内效贴治疗较单纯本体感觉训练效果更佳^[52]。周越等^[48]通过观察膝关节行肌内效贴贴扎对位置觉和下肢功能的影响,认为肌内效贴能明确改善膝关节的本体感觉反应,从而提高膝关节位置觉和步行能力。综上所述,肌内效贴结合运动治疗,可加速肌肉功能的恢复,促进感觉输入,从而提高本体感觉^[53]。

肌内效贴对提升本体感觉有重要作用,其应用范围很广泛,针对不同疾病、不同治疗目的,肌内效贴的贴法不同。BISCHOFF 等^[54]将两条 I 形肌内效贴从髌骨外侧沿股四头肌外侧群和腘绳肌外侧群一直向上延伸到同侧的坐骨结节,并将另一条 I 形肌内效贴贴在胫骨结节上,并施加背侧张力。KIELE 等^[15]将 Y 形肌内效贴以髌骨为起点沿股四头肌中间肌向上延伸以促进肌肉功能恢复。因此,针对 ACL 患者应该采用特定的肌内效贴贴扎方法以提高本体感觉。

2.5 姿势控制训练

本体感觉是维持姿势控制的最重要的感觉信息之一^[55]。SANDBRINK 等^[56]研究显示,姿势控制功能是运动控制的一部分,可以认为姿势控制与本体感觉呈正相关。刘晓磊等^[57]的研究也证实了这一结果,认为本体感觉促进训练可以提高本体感觉及姿势控制能力。GABRIEL 等^[58]认为 ACL 损伤后姿势控制下降的主要原因可能是患侧及健侧本体感觉下降。尽管目前对 ACL 损伤后姿势控制的研究仍有争议,

但目前值得肯定的是对于单侧 ACL 损伤的患者,临床上应加强损伤侧及健侧本体感觉及姿势控制的联合训练。

3 ACL 损伤后保留残端或不保留残端对本体感觉的恢复的影响

目前存在较大争议的问题是 ACLR 保留 ACL 残端或不保留 ACL 残端是否会对膝关节本体感觉产生影响。有一些研究表明保留或不保留残端对本体感觉恢复没有影响。如黄泓慧等^[59]认为保留残端重建 ACL,与不保留残端重建 ACL 本体感觉没有明显的差异。柴浩等^[60]通过对新西兰兔进行研究结果表明,保留残端重建 ACL 与不保留残端重建 ACL 本体感觉恢复情况无明显差异。但也有一些研究认为保留残端会促进本体感觉的恢复。ZHANG 等^[61]对 21 只绵羊进行 ACL 保留残存纤维重建术,术后观察发现,保留 ACL 残存组织可促进 ACL 中本体感受器的再生。LEE 等^[62]对 26 例患者采用 ACL 保留残存纤维重建,对 22 例患者采用单纯 ACL 重建,术后进行一系列的自体感觉测试发现 ACL 保留残存纤维重建可产生更好的本体感觉,更利于提高患者术后满意度。由此可以看出,保留或不保留残端重建 ACL 能否促进本体感觉恢复,或者哪种保留残端方法才能更好地促进本体感觉恢复目前仍存在较大争议。

现存的研究对 ACL 损伤最佳的训练介入时间和最佳的康复训练方案存在较大争议。目前尚未有研究对 ACL 损伤后的本体感觉变化趋势进行过总结,因此 ACL 损伤后何时介入本体感觉康复训练、介入哪些本体感觉康复训练仍然存在争议。

4 展 望

ACL 的本体感觉训练对膝关节的稳定性起着至关重要的作用,人体所有运动都是在本体感觉的基础上形成的,本体感受器可感知肌肉、肌腱和韧带的动态变化情况。ACL 损伤后随着时间的推移本体感觉会有不同程度的降低,尽管手术后通过本体感觉训练可以改善患者的部分本体感觉,但很难恢复到手术前的状态。而且,目前对于本体感觉训练方式及手术方式仍存在较大的争议。因此,探讨 ACL 本体感觉损伤和恢复机制,建立针对本体感觉损伤的康复训练方案及模式,进一步提高康复治疗水平,是今后研究的重点。

参考文献

[1] RENSTRÖM P A. Eight clinical conundrums relating to anterior cruciate ligament (ACL) injury in sport: recent evidence and a personal reflection: table 1[J]. Br J Sports Med, 2013, 47

(6):367-372.

- [2] SIMONSON R, PIUSSI R, HÖGBERG J, et al. Effect of quadriceps and hamstring strength relative to body weight on risk of a second acl injury: a cohort study of 835 patients who returned to sport after acl reconstruction[J]. Orthop J Sports Med, 2023, 11(4):23259671231157386.
- [3] SANDERS T L, MARADIT K H, BRYAN A J, et al. Incidence of anterior cruciate ligament tears and reconstruction: a 21-year population-based study[J]. Am J Sports Med, 2016, 44(6):1502-1507.
- [4] KELECHI R O, MOHSIN S F, JOSEPH S T, et al. Length of time between anterior cruciate ligament reconstruction and return to sport does not predict need for revision surgery in national football league players[J]. Arthroscopy, 2019, 35(1):158-162.
- [5] MA J, ZHANG D, ZHAO T, et al. The effects of proprioceptive training on anterior cruciate ligament reconstruction rehabilitation: a systematic review and meta-analysis[J]. Clin Rehabil, 2021, 35(4):506-521.
- [6] KHOSRAVANI S, BUCHANAN J, JOHNSON M D, et al. Effect of neck botulinum neurotoxin injection on proprioception and somatosensory-motor cortical processing in cervical dystonia[J]. Neurorehabil Neural Repair, 2020, 34(4):309-320.
- [7] 代瑞兰, 敖英芳. 前交叉韧带重建术后运动生物力学特征[J]. 科技导报, 2022, 40(2):27-35.
- [8] RELPH N, HERRINGTON L. The effect of conservatively treated acl injury on knee joint position sense[J]. Sports Phys Ther, 2016, 11(4):536-543.
- [9] VANDEVOORDE K, ORBAN DE XIVRY J J. Does proprioceptive acuity influence the extent of implicit sensorimotor adaptation in young and older adults? [J]. J Neurophysiol, 2021, 126(4):1326-1344.
- [10] 刘俊华, 杨凌, 杨冬. 本体感觉与运动控制研究进展[J]. 生理科学进展, 2021, 52(4):259-264.
- [11] MA X, LU L, ZHOU Z, et al. Correlations of strength, proprioception, and tactile sensation to return-to-sports readiness among patients with anterior cruciate ligament reconstruction [J]. Front Physiol, 2022, 13:1046141.
- [12] ZANDIYEH P, KÜPPER J C, MOHTADI N G

- H, et al. Effect of stochastic resonance on proprioception and kinesthesia in anterior cruciate ligament reconstructed patients[J]. *Biomech*, 2019,84:52-57.
- [13] HATTON A L, CROSSLEY K M, CLARK R A, et al. Between-leg differences in challenging single-limb balance performance one year following anterior cruciate ligament reconstruction[J]. *Gait Posture*, 2017,52:22-25.
- [14] XU J, ZHOU X, GUO X, et al. Effects of unilateral electroacupuncture on bilateral proprioception in a unilateral anterior cruciate ligament injury model[J]. *Med Sci Monit*, 2018,24:5473-5479.
- [15] KIELĚ D, SOLIANIK R. Four-week application of kinesiotaping improves proprioception, strength, and balance in individuals with complete anterior cruciate ligament rupture[J]. *Strength Cond Res*, 2023,37(1):213-219.
- [16] 刘晓磊, 张鸿悦, 章耀华, 等. 前交叉韧带重建术后患者膝本体感觉与姿势控制的相关性[J]. *中国康复*, 2021,36(3):170-173.
- [17] 苗欣, 黄红拾, 胡晓青, 等. 膝关节前交叉韧带断裂后单腿位置觉测试时脑电功率谱的变化特征[J]. *北京大学学报(医学版)*, 2021,53(5):871-876.
- [18] ALAHMARI K A, SILVIAN P, AHMAD I, et al. Effectiveness of low-frequency stimulation in proprioceptive neuromuscular facilitation techniques for post ankle sprain balance and proprioception in adults: a randomized controlled trial[J]. *BioMed Res Int*, 2020,2020:9012930.
- [19] KOSY J D, MANDALIA V I. Anterior cruciate ligament mechanoreceptors and their potential importance in remnant-preserving reconstruction: a review of basic science and clinical findings[J]. *J Knee Surg*, 2018,31(8):736-746.
- [20] STRONG A, ARUMUGAM A, TENGMAN E, et al. Properties of knee joint position sense tests for anterior cruciate ligament injury: a systematic review and meta-analysis[J]. *Orthop J Sports Med*, 2021,9(6):23259671211007880.
- [21] MA Y, YIN K, ZHUANG W, et al. Effects of combining high-definition transcranial direct current stimulation with short-foot exercise on chronic ankle instability: a pilot randomized and double-blinded study[J]. *Brain Sci*, 2020,10(10):749.
- [22] YU N. Effect of ankle proprioception training on preventing ankle injury of martial arts athletes[J]. *BioMed Res Int*, 2022,2022:8867724.
- [23] KONRAD A, ALIZADEH S, DANESHJOO A, et al. Chronic effects of stretching on range of motion with consideration of potential moderating variables: a systematic review with meta-analysis[J]. *Sport Health Sci*, 2023,13(2):186-194.
- [24] INGEMANSON M L, ROWE J R, CHAN V, et al. Somatosensory system integrity explains differences in treatment response after stroke[J]. *Neurology*, 2019,92(10):1098-1108.
- [25] HADAMUS A, BIAŁOSZEWSKI D. Objective assessment of knee proprioception and sensorimotor function in patients with primary gonarthrosis before and after knee replacement[J]. *Ortop Traumatol Rehabil*, 2017,19(5):403-414.
- [26] 陈能, 吕燃, 马少云, 等. 膝关节炎患者全膝关节置换术后本体感觉的研究进展[J]. *风湿病与关节炎*, 2019,8(5):63-67.
- [27] HUANG Z, XIE X, LI L, et al. Intravenous and Topical tranexamic acid alone are superior to tourniquet use for primary total knee arthroplasty. A prospective, randomized controlled trial randomized controlled trial[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2017,99(24):2053-2061.
- [28] 季程程, 杨鹏飞, 张信波, 等. 神经肌肉训练在前交叉韧带重建术后康复中的应用进展[J]. *中国康复理论与实践*, 2020,26(8):917-922.
- [29] FREYLER K, KRAUSE A, GOLLHOFER A, et al. Specific stimuli induce specific adaptations: sensorimotor training vs. reactive balance training[J]. *PLoS One*, 2016,11(12):0167557.
- [30] MAO Y, CHEN P, LI L, et al. Virtual reality training improves balance function[J]. *Neural Regen Res*, 2014,9(17):1628-1634.
- [31] 施明, 潘文平, 曾明, 等. 虚拟现实平衡训练对前交叉韧带重建术后膝关节本体感觉的效果[J]. *中国康复理论与实践*, 2020,26(12):1458-1463.
- [32] CHEUNG W H, LI C Y, ZHU T Y, et al. Improvement in muscle performance after one-year cessation of low-magnitude high-frequency vibration in community elderly[J]. *J Musculoskelet Neuronal Interact*, 2016,16(1):4-11.
- [33] TROY B J, DEWIG D R, JOHNSTON C D.

- Time course of the effects of vibration on quadriceps function in individuals with anterior cruciate ligament reconstruction[J]. *J Electromyogr Kinesiol*, 2021, 56:102508.
- [34] EKLUND G, HAGBARTH K E. Normal variability of tonic vibration reflexes in man[J]. *Exp Neurol*, 1966, 16(1):80-92.
- [35] 王艳, 吴珊红, 戚彪, 等. 振动疗法结合常规康复训练对前交叉韧带重建术后膝关节本体感觉及动态稳定性的影响[J]. *中国康复医学杂志*, 2021, 36(7):858-862.
- [36] 祝叶, 舒晴, 余达蔚, 等. 基于神经肌肉控制理论探讨本体感觉与前交叉韧带损伤的关系[J]. *华西医学*, 2022, 37(5):688-692.
- [37] MOUARDES D, MENETREY J, MAROT V, et al. Anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review and meta-analysis of outcomes for quadriceps tendon autograft versus bone-patellar tendon-bone and hamstring-tendon autografts[J]. *Am J Sports Med*, 2019, 47(14):3531-3540.
- [38] DOS A T, GABRIEL F, VIEIRA T D, et al. Neuromotor treatment of arthrogenic muscle inhibition after knee injury or surgery [J]. *Sports Health*, 2024, 16(3):383-389.
- [39] HU S, MA X. Relationship of strength, joint kinesthesia, and plantar tactile sensation to dynamic and static postural stability among patients with anterior cruciate ligament reconstruction[J]. *Front Physiol*, 2023, 14:1112708.
- [40] BAKOWSKI P, CIEMNIEWSKA-GORZELA K, BAKOWSKA-ŻYWIĆKA K, et al. Similar outcomes and satisfaction of the proprioceptive versus standard training on the knee function and proprioception, following the anterior cruciate ligament reconstruction[J]. *Applied Sci*, 2021, 11(8):3494.
- [41] KAYA D, GUNAY-DENIZ H, SAYACA C, et al. Effects on Lower extremity neuromuscular control exercises on knee proprioception, muscle strength, and functional level in patients with ACL reconstruction[J]. *BioMed Res Int*, 2019, 2019:1694695.
- [42] 夏燕, 仇珍珍, 黄冬梅. 本体感觉强化联合肌力训练在全膝关节置换术后康复中的应用[J]. *上海护理*, 2022, 22(1):5-9.
- [43] 王智勇, 王刚, 邢贞通, 等. 肌内效贴对膝关节军事训练伤治疗作用的观察[J]. *解放军医学院学报*, 2020, 41(5):481-484.
- [44] LIU K, QIAN J, GAO Q, et al. Effects of kinesio taping of the knee on proprioception, balance, and functional performance in patients with anterior cruciate ligament rupture: a retrospective case series[J]. *Medicine*, 2019, 98(48):17956.
- [45] CHEN S M, LO S K, COOK J. The effect of rigid taping with tension on mechanical displacement of the skin and change in pain perception[J]. *Med Sport*, 2018, 21(4):342-346.
- [46] DONEC V, KUBILIUS R. The effectiveness of kinesio taping for pain management in knee osteoarthritis: a randomized, double-blind, controlled clinical trial[J]. *Ther Adv Musculoskeletal Dis*, 2019, 11:1759720X19869135.
- [47] LIM E C, TAY M G. Kinesio taping in musculoskeletal pain and disability that lasts for more than 4 weeks: is it time to peel off the tape and throw it out with the sweat? A systematic review with meta-analysis focused on pain and also methods of tape application[J]. *Sports Med*, 2015, 49(24):1558-1566.
- [48] 周越, 朱悦彤, 王紫敏, 等. 膝关节使用肌内效贴对位置觉及下肢功能的影响[J]. *中国康复理论与实践*, 2020, 26(9):1097-1101.
- [49] NURMI T, HAKONEN M, BOURGUIS-GNON M, et al. Proprioceptive response strength in the primary sensorimotor cortex is invariant to the range of finger movement[J]. *Neuroimage*, 2023, 269:119937.
- [50] TU S J, WOLEDGE R C, MORRISSEY D. Does “Kinesio tape” alter thoracolumbar fascia movement during lumbar flexion? An observational laboratory study[J]. *J Bodyw Mov Ther*, 2016, 20(4):898-905.
- [51] CHO H, KIM E H, KIM J, et al. Kinesio taping improves pain, range of motion, and proprioception in older patients with knee osteoarthritis: a randomized controlled trial[J]. *Am J Phys Med Rehabil*, 2015, 94(3):192-200.
- [52] 李瑾, 宋佳凝, 李健, 等. 本体感觉训练联合肌内效贴对全膝关节置换术后患者膝关节功能与本体感觉的影响[J]. *中国康复*, 2022, 37(3):145-148.
- [53] 张新强, 冯会成. 振动刺激促进前交叉韧带重建

- 后本体感觉恢复机制研究进展[J]. 陕西医学杂志, 2022, 51(1):125-129.
- [54] BISCHOFF L, BABISCH C, BABISCH J, et al. Effects on proprioception by Kinesio taping of the knee after anterior cruciate ligament rupture[J]. *Orthop Surg Traumatol*, 2018, 28(6): 1157-1164.
- [55] LIU Z, WANG Q, SUN W, et al. Balancing sensory inputs: somatosensory reweighting from proprioception to tactile sensation in maintaining postural stability among older adults with sensory deficits[J]. *Front Public Health*, 2023, 11:1165010.
- [56] SANDBRINK K J, MAMIDANNA P, MICHAELIS C, et al. Contrasting action and posture coding with hierarchical deep neural network models of proprioception[J]. *Elife*, 2023, 12: e81499.
- [57] 刘晓磊, 章耀华, 郭恒冰, 等. 本体觉促进训练对前交叉韧带重建术后患者膝关节功能和姿势控制的效果[J]. 中国康复理论与实践, 2019, 25(4):472-476.
- [58] GABRIEL G A, HARRIS L R, HENRIQUES D Y P, et al. Multisensory visual-vestibular training improves visual heading estimation in younger and older adults[J]. *Front Aging Neurosci*, 2022, 14:816512.
- [59] 黄泓慧, 潘华山, 赖春柏. 关节镜下保留残端与不保留残端重建前交叉韧带: 前瞻性、随机、对照研究的 Meta 分析[J]. 中国组织工程研究, 2021, 25(32):5227-5231.
- [60] 柴浩, 吴婷, 舒莉, 等. 保留与不保留残端重建前交叉韧带后本体感觉恢复的比较[J]. 中国组织工程研究, 2019, 23(15):2332-2337.
- [61] ZHANG L, JIANG K, CHAI H, et al. A comparative animal study of tendon grafts healing after remnant-preserving versus conventional anterior cruciate ligament reconstruction[J]. *Med Sci Monit*, 2016, 22:3426-3437.
- [62] LEE B I, KIM C H, JANG B W, et al. Preservation of the tibial remnant in anterior cruciate ligament reconstruction may improve postoperative proprioceptive function[J]. *Orthopedics*, 2020, 43(4):231-236.

(收稿日期:2024-01-08 修回日期:2024-06-05)

(编辑:石芸)

(上接第 2380 页)

- 11:e67368.
- [29] YEN C H, HSU C M, HSIAO S Y, et al. Pathogenic mechanisms of myeloma bone disease and possible roles for NRF2[J]. *Int J Mol Sci*, 2020, 21(18):6723.
- [30] LIU F, TAN F, TONG W, et al. Effect of Zuoguiwan on osteoporosis in ovariectomized rats through RANKL/OPG pathway mediated by β 2AR[J]. *Biomed Pharmacother*, 2018, 103:1052-1060.
- [31] 赵勤英. 中医特殊护理对 2 型糖尿病合并骨质疏松症患者生活质量的影响[J]. 四川中医, 2019, 37(6):213-216.
- [32] 袁秋宝, 孔海军. 不同形式运动对原发性骨质疏松患者骨代谢指标影响的 Meta 分析[J]. 中国组织工程研究, 2020, 24(17):2782-2788.
- [33] 尹宁. 康复护理干预在老年女性骨质疏松症患者髌骨骨折术后的应用价值[J]. 中外女性健康研究, 2023, 8(18):113-115.
- [34] 李敏, 王妮, 王晗. 心理护理结合加速康复外科护理在骨质疏松性胸腰椎压缩性骨折患者中的应用[J]. 中西医结合护理, 2023, 9(6):13-16.
- [35] 王婕, 宁艳娇, 冯亚静, 等. 我国骨质疏松症护理的研究热点分析[J]. 承德医学院学报, 2021, 38(4):320-323.
- [36] 叶琼珠. 疼痛护理在老年骨质疏松患者中的效果观察及对睡眠质量的影响[J]. 世界睡眠医学杂志, 2023, 10(6):1255-1257.
- [37] ROEBUCK G, MAZZOLINI M, MOHEBBI M, et al. Anxiety disorders are associated with reduced bone mineral density in men: findings from the geelong osteoporosis study[J]. *Acta Psychiatr Scand*, 2023, 148(1):47-59.
- [38] 彭辉. 老年骨质疏松髋部骨折 48 h 手术绿色通道病房及相关护理[J]. 新疆医学, 2022, 52(2):222-225.
- [39] 李巧玲, 张慧丽, 王灿. 协同护理健康引导对老年女性骨质疏松症患者应对方式、自我效能及生活质量的影响[J]. 中国医药导报, 2022, 19(22):4.
- [40] KENNEL K A, SFEIR J G, DRAKE M T. Optimizing DXA to assess skeletal health: key concepts for clinicians[J]. *J Clin Endocrinol Metab*, 2020, 105(12):632.

(收稿日期:2023-11-29 修回日期:2024-03-04)

(编辑:张芃捷)