

表面肌电图在膝前交叉韧带损伤患者康复的应用进展

吴熙芃¹, 崔洪星², 陈泽¹, 张皓¹, 李龙飞¹, 赵一璇¹, 李伟²

【关键词】 膝前交叉韧带损伤; 表面肌电图; 康复方案

【中图分类号】 R49; R684 【DOI】 10.3870/zgkf.2024.05.010

膝关节前交叉韧带 (anterior cruciate ligament, ACL) 损伤经常发生在运动过程中, 其中超过 70% 的 ACL 损伤发生在非接触状态下^[1], 尤其是在发生突然转向、跳跃、落地或剪切、旋转等动作时^[2]。大部分学者认为, ACL 损伤与性别、年龄、神经肌肉控制、遗传特征等因素有着密切的联系^[3]。ACL 损伤会导致膝关节的稳定性下降, 进而影响患者的步态模式^[4]。目前常用的治疗方法为手术重建治疗和持续的康复治疗, 由于目前康复方案制定主要以损伤时间为标准, 缺乏客观、量化依据导致了目前的康复效率有待进一步提升^[5]。表面肌电图 (surface electromyography, sEMG) 是一种常用的、可动态分析肌肉功能的评估方法, 具有无创、便携、可穿戴等特点, 可以实时、动态地评估肌肉运动功能^[6-7], 因而引起了越来越多学者的关注, 也有学者认为利用表面肌电评估指导制定运动处方能够极大地提升运动损伤患者的康复效率^[8]。因此, 本文拟就 sEMG 在 ACL 损伤后康复的应用予以综述, 为制定精准康复方案和提高康复效果提供参考依据。

1 ACL 损伤康复方案制定的研究现状

ACL 起自股骨外侧髁的内侧面, 斜向前下方, 止于胫骨髁间隆起的前部和内、外侧半月板的前角, 连接股骨与胫骨, 限制胫骨过度前移、内旋, 对维持膝关节的稳定起重要作用^[9]。随着全民运动的兴起, 运动损伤的发生率也在逐年上升。ACL 损伤在青壮年和运动量较大的人群中更为常见, 同时也是运动员膝关节

最常见的损伤之一, 会严重影响其运动和劳动能力^[10-11]。每年约有 3% 的运动人群发生 ACL 损伤, 对于专业运动员来说, 这一比例高达 15%^[12-13]。大多数学者认为, ACL 损伤首选治疗方式是 ACL 重建手术^[14], 其旨在恢复膝关节的功能和稳定性^[15]。在美国, 每年发生的 ACL 损伤超过 25 万例, 其中约 65% 的患者接受了 ACL 重建手术^[16]。但是, 目前患者运动能力的恢复率却并不理想。孔令华等^[17]的研究证实, 只有 40%~60% 的患者能够恢复到损伤前的运动水平。导致患者运动能力恢复效果不佳的原因有很多, 其中包括损伤程度、手术方法、患者的个体差异等, 但是, 目前越来越多的学者认为, 其与目前康复方案的制定中缺乏量化、客观的标准同样有着重要的关系。Łukasz 等^[18]通过 sEMG 测量腓绳肌的疲劳对称性发现, 在 ACL 重建后 2~3 年的足球运动员即使符合重返运动标准, 但在下肢肌肉表现方面仍存在缺陷, 因此其认为这可能会导致 ACL 再损伤, 同时也认为重返运动需要 sEMG 等客观、量化的评价指标。Rachel 等^[19]通过 sEMG 与步态分析评估了 10 名 ACL 重建前两周的患者并与健康人进行对比发现, ACL 损伤侧的伸展程度远不如对照组, 因此其认为 sEMG 与步态分析可作为一种重要的评估手段, 用于 ACL 损伤患者的康复方案评估中。Smith 等^[20]主张 ACL 损伤的患者在选择 ACL 重建术前应该先考虑非手术治疗。Davies 等^[21]表示, 严格的康复训练能够在不增加长期退行性损伤风险的情况下使患者恢复到正常水平。Czuppon 等^[22]发现, 接受过术前康复的 ACL 重建患者恢复效果更好, 能够更早地恢复运动功能。Pezzullo 等^[5]认为, 术后康复的质量对运动员重返运动的及时性以及降低再损伤的风险影响最大。Marek 等^[23]通过研究发现术后康复应在 ACL 重建术后尽早开始, 以尽量减少造成韧带损伤因素的影响; 而 Stańczak 等^[24]认为, 过早的负重会导致再损伤。因此, 如何量化、精准、客观评估患者在运动中的机体功能, 并以其

基金项目: 山东省自然科学基金重点项目 (ZR2022MH063); 山东省医药卫生科技发展项目 (202020010886)

收稿日期: 2023-04-21

作者单位: 1. 滨州医学院康复医学院, 山东 烟台 264003; 2. 滨州医学院附属医院康复医学科, 山东 滨州 256603

作者简介: 吴熙芃 (1999-), 女, 硕士研究生, 主要从事运动康复方面的研究。

通讯作者: 李伟, yishengliwei@163.com

为依据制定康复方案,将对患者运动能力的恢复有着重要的意义。

2 sEMG 在其他临床疾病康复中的研究现状

sEMG 通过在皮肤上放置一对或多对电极来记录从神经肌肉活动中产生的生物电信号,量化肌肉收缩、舒张活动^[25-26]。这些信号用于监测医学行为和肌肉激活水平^[27]。它提供了一个可观察神经肌肉活动的窗口,用于诊断由神经肌肉疾病造成的肌肉功能障碍^[27]。sEMG 已经被用于评估受试者在各种活动中的神经肌肉功能,以及监测在康复期间可能发生的各种变化^[28]。Mortka 等^[29]通过表面肌电分析发现脚趾展开训练能够更好地激活踝外展肌,对踝外翻患者康复方案的制定有指导效果。Berckmans 等^[8]测量了 26 名健康受试者进行 4 项肩部运动(侧卧外旋、侧卧前屈、俯卧水平外展和俯卧伸展)时斜方肌、肩胛提肌、菱形肌、胸小肌、前锯肌的 sEMG,发现即使在胸小肌过度活跃的情况下,侧卧训练仍适合用于加强中、下斜方肌,然而对于肩胛提肌和菱形肌有过度激活的患者,应该谨慎进行这 4 种运动。这些发现能够帮助患者选择合适的恢复肩胛骨功能的运动。Noor 等^[30]记录了 11 例脑卒中患者踝关节运动时的 sEMG,从表面肌电信号中解码这些动作,并研究它们与运动障碍水平的相关性。乐琳等^[31]通过表面肌电图的评估发现,本体感觉神经肌肉促进技术和躯干训练技术可以明显增强脑卒中偏瘫患者躯干肌群力量,提高躯干控制能力,改善平衡功能,从而促进患者运动功能恢复。黄桂兰等^[32]运用表面肌电结合等速测试仪发现,基于正常行走模式的功能性电刺激能有效降低脑卒中患者下肢股四头肌及小腿三头肌的肌张力,改善偏瘫患者的下肢伸肌痉挛模式,提高下肢运动能力及步行能力,值得临床推广应用,并建议开发一个基于家庭的表面肌电系统,为脑卒中患者下肢功能运动的改善提供定制化治疗。因此,sEMG 能够指导康复方案的制定,提高康复效率。

3 sEMG 在 ACL 损伤后康复中的应用

ACL 重建后的重返运动是一个复杂的过程。Davies 等^[33]研究表明,65%~79%的优秀运动员能够恢复到受伤前的运动水平,然而临床实践中发现,ACL 重建后的运动恢复结果不尽如人意^[34]。在 3 年的随访期内,12%的优秀运动员不能达到以往的运动水平,23%的运动员结束了他们的职业生涯^[33]。ACL 重建后慢性膝关节疼痛和功能限制的发生率高达 75%^[35]。此外,再损伤的风险相对较高,20%~25%的运动员会

发生对侧撕裂或移植物再破裂。尽管大多数学者认为 ACL 重建后的运动再训练很重要,但对 ACL 损伤重建后如何进行再训练以及训练内容并不明确,因此有必要为治疗 ACL 重建患者的临床医师及治疗师提供明确的指导方针^[36]。

特拉华大学的研究人员曾发布了以组织愈合时间为框架制定的康复指南。其以时间标准为基础制定的指南旨在最大限度地提高患者的运动功能,同时降低愈合组织再次损伤的风险^[16]。但损伤恢复的过程是复杂的,受诸多因素的影响,有些是一般性的,有些是 ACL 重建后特有的,重要的是要考虑神经肌肉、生物力学、本体感觉和心理认知因素及其对运动功能障碍和再训练过程的影响^[37]。目前在重返运动之前应该达到的康复标准还没有达成一致^[38]。专业的医生和反馈技术以及完成不同任务时的定性运动分析是至关重要的^[36]。因此,敖英方教授^[39]指出,量化评估关节功能和运动模式的变化,是精准康复方案的制定及康复效果评估的关键,也是制定重返运动标准的基础。

近年来,sEMG 一直被用于评估不同活动方式中的神经肌肉功能,为制定康复方案提供指导^[40]。sEMG 信号反映了肌肉功能的特征,可以向临床医师提供关于肌肉活动的信息,帮助患有肌肉功能障碍的患者制定专属康复方案^[41]。此外,sEMG 能够反映异常肌肉功能状态并且能够监测不同肌肉在步态周期中的激活状态^[28]。sEMG 与步态分析等方法相结合,可以使临床医师能够识别不同步态模式的病因并制定更具体的术后康复方案。Maeda 等^[42]记录了 ACL 重建术后 24 个月的受试者双侧大腿肌肉的表面肌电信号,并与正常受试者进行对比分析,发现双侧股内侧肌和股二头肌存在力量 and 对称性缺陷,提示在 ACL 重建术后需要长期训练。Argyro 等^[43]对 ACL 重建术后的男性运动员在单腿垂直跳跃和水平跳跃时的三维动态捕捉和 sEMG 研究发现,尽管 ACL 重建术后的受试者在水平跳跃距离和力量测试中达到了对称,但在垂直跳跃时仍表现出膝关节的生物力学缺陷,所以相比目前常用的跳跃距离、跳跃高度,三维动态捕捉和 sEMG 可以更好地识别肢体间差异,更好的反映膝关节功能,这项指标应该应用于 ACL 损伤后的重返运动测试中。Christanell 等^[44]把 16 例 ACL 重建患者随机分为 2 组,对照组实行标准康复方案,试验组在标准康复方案中加入肌电生物反馈,通过表面肌电图评估肌肉功能,结果显示股内侧肌的积分肌电值在 2 周和 6 周时显著增加,因此其认为肌电生物反馈疗法在改善膝关节的伸展中起很大作用。本课题组前期的研究也同样证实了在股外侧肌、股内侧肌和股直肌中^[45],

股外侧肌恢复到损伤前运动水平的速度是最慢的,并且双侧直腿抬高 30° 是训练股外侧肌最好的方式。因此,运动医学专家 Papagiannis 在 2019 年就指出 sEMG 能为患者制定全面精准康复治疗提供客观评估的依据^[28]。ACL 损伤后的 sEMG 研究主要集中在以下几个方面。

3.1 动态肌力研究 恢复肌肉力量是 ACL 损伤后成功康复的关键,因此肌肉力量训练在 ACL 损伤康复中是极其重要的。肌肉力量增强的一个基本要素是运动强度,sEMG 经常被用来作为运动强度的指标^[46],Zebis 等^[47]通过对 20 名健康运动员进行 9 次体重训练(体重训练是一种通过利用自身体重提供阻力来进行锻炼的方法)时腓绳肌和股四头肌的 sEMG 分析发现,体重训练对腓绳肌的恢复没有效果,但对股四头肌有效。Gowun 等^[48]研究发现使用可以测量膝关节的活动范围和膝关节周围肌肉激活强度的智能穿戴设备对 ACL 重建患者进行为期 6 周的结构化家庭康复方案,将大大改善患者股四头肌力量。这将有助于建立以家庭为基础的康复计划,以使 ACL 损伤患者得到更好的康复。研究中使用的可穿戴设备,可以使他们能够判断运动计划是否能够增加手术后膝关节的活动范围和肌肉力量。因此,医生和治疗师可以利用 sEMG 对动态肌力的研究来增强对患者膝关节康复进展的了解,这有助于制定针对每个患者的独特的、个性化的康复方案。

3.2 肌肉激活时间研究 肌肉的激活是运动发生和控制运动的必要条件,不同运动的进阶训练应根据其对肌肉的激活程度来确定,了解不同运动对这些肌肉激活程度的要求,对康复医师做出正确的运动建议和运动处方十分重要^[49]。Rostami 等^[13]研究发现与健康受试者相比,ACL 损伤患者在单腿垂直落地时臀中肌激活峰值较低,ACL 重建患者的臀中肌与长收肌共激活较低。臀中肌活动减少可使肢体处于内收和内旋位置,这与 ACL (再)损伤有关。因此,在有 ACL 损伤史的个体中,应考虑臀中肌的激活,将增加臀中肌的活动纳入损伤后的康复方案。试验结果表明,ACL 损伤后的髌关节肌肉的神经肌肉适应至少存在两年,所以在设计 ACL 损伤患者的康复方案时应考虑臀中肌激活练习。Mengarell 等^[2]在对健康成人肌电活动的分析发现,在单个步态周期中存在三种明确的腓肠肌/股外侧肌共激活。其中,支撑相中期膝关节的负重量最高,因此可能在行走过程中导致更长、更高和更频繁复发的 ACL 劳损。这些信息对于损伤预防和康复方案的制定是有用的,可以帮助临床医师更好地了解内在危险因素是否也与行走机制有关,以便设计更有针

对性的预防干预措施。

3.3 肌肉协同性研究 肌肉协同是神经功能向运动功能转换的关键环节,所以,运动发育和运动控制的异常都会影响肌肉协同^[50]。Rachel 等^[51]通过股四头肌和腓绳肌的 sEMG 以及步态分析来评估肌肉运动和张力,探讨急性 ACL 损伤后膝关节伸展减弱的潜在肌肉相关原因。研究发现在急性 ACL 损伤患者中,ACL 损伤肢体的伸展程度不如对照组。虽然在步态周期中,股直肌激活的时间较短,但在步态分析中发现 ACL 损伤后,腓绳肌的活动并没有差异。这些信息有助于临床医生更好地了解 ACL 损伤后急性期的肌肉功能和步态模式。

ACL 损伤后的康复不能单纯依据时间框架制定康复计划,应结合 sEMG 等客观依据制定进阶标准,逐步增加训练难度^[52]。康复医师及治疗师应该在患者力量、本体感觉、疼痛和活动范围得到改善后对其进行治疗^[53]。在重返运动之前,应该满足具体的客观、定量和定性标准^[54]。手术后的时间不应该是唯一的考虑因素,术后康复训练的干预时机、训练类型和干预强度的选择应以客观标准为基础,而不仅仅是时间框架。为了获得最佳的康复效果,康复医师需要连续进行康复评定,并选择合适的康复方案。当患者准备恢复运动时,需满足客观标准,以减少进一步损伤的风险^[55]。自 1912 年发现 sEMG 以来,肌电活动测量提供了许多正常和病理骨骼肌功能的例子,提高了我们对运动神经控制的认识,并促进了临床应用的发展^[25]。以 sEMG 为指导制定个性化和全面的康复方案不仅能提高短期康复疗效,还能促进运动员的身心健康,提高长期生活质量^[10]。

4 结论

sEMG 作为一种无创、动态、可实时监测肌肉功能的客观评估工具,广泛用于评估神经肌肉功能^[25],但是目前表面肌电评估没有确切的标准,表面肌电特征变化与训练方案没有明确的线性关系,我们需要在以后的研究中建立数据库和神经网络模型,构建一套以 sEMG 为指导的康复方案模型,为患者提供客观评估的依据,制定个体化的康复方案。

【参考文献】

- [1] Jeong J, Choi D H, Shin C S. Core Strength Training Can Alter Neuromuscular and Biomechanical Risk Factors for Anterior Cruciate Ligament Injury[J]. Am J Sports Med, 2021, 49(1): 183-192.
- [2] Mengarelli A, Strazza A, Sbröllini A, et al. Co-activation periods of gastrocnemius and vastus lateralis during walking evaluated by

- surface electromyography[J]. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc*, 2016; 3696-3699.
- [3] Musahl V, Karlsson J. Anterior Cruciate Ligament Tear[J]. *N Engl J Med*, 2019, 380(24): 2341-2348.
- [4] Shanbehzadeh S, Mohseni Bandpei M A, Ehsani F. Knee muscle activity during gait in patients with anterior cruciate ligament injury: a systematic review of electromyographic studies[J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2017, 25(5): 1432-1442.
- [5] Pezzullo D J, Fadale P. Current Controversies in Rehabilitation After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction[J]. *Sports Med Arthrosc Rev*, 2010, 18(1): 43-47.
- [6] Sherman D A, Glaviano N R, Norte G E. Hamstrings Neuromuscular Function After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review and Meta-Analysis[J]. *Sports Med*, 2021, 51(8): 1751-1769.
- [7] 金佳然, 朱玉连. 表面肌电图在脑卒中康复中的应用与研究进展[J]. *中国康复*, 2016, 31(3): 197-200.
- [8] Berckmans K R, Castelein B, Borms D, et al. Rehabilitation Exercises for Dysfunction of the Scapula: Exploration of Muscle Activity Using Fine-Wire EMG[J]. *Am J Sports Med*, 2021, 49(10): 2729-2736.
- [9] Markatos K, Kaseta M K, Lалlos S N, et al. The anatomy of the ACL and its importance in ACL reconstruction[J]. *Eur J Orthop Surg Traumatol*, 2013, 23(7): 747-752.
- [10] Cheney S, Chiaia T A, de Mille P, et al. Readiness to Return to Sport After ACL Reconstruction: A Combination of Physical and Psychological Factors[J]. *Sports Med Arthrosc Rev*, 2020, 28(2): 66-70.
- [11] Meredith S J, Rauer T, Chmielewski T L, et al. [J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2020, 28(8): 2403-2414.
- [12] Briem K, Ragnarsdóttir A M, árnasón S I, et al. Altered medial versus lateral hamstring muscle activity during hop testing in female athletes 1 - 6 years after anterior cruciate ligament reconstruction[J]. *Knee Surgery, Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2016, 24(1): 12-17.
- [13] Dashti Rostami K, Naderi A, Thomas A. Hip Abductor and Adductor Muscles Activity Patterns During Landing After Anterior Cruciate Ligament Injury[J]. *J Sport Rehabil*, 2019, 28(8): 871-876.
- [14] Flagg K Y, Karavatas S G, Thompson Jr S, et al. Current criteria for return to play after anterior cruciate ligament reconstruction: an evidence-based literature review[J]. *Ann Transl Med*, 2019, 7(S7): S252-S252.
- [15] Filbay S R, Grindem H. Evidence-based recommendations for the management of anterior cruciate ligament (ACL) rupture[J]. *Best Pract Res Clin Rheumatol*, 2019, 33(1): 33-47.
- [16] Kakavas G, Malliaropoulos N, Bikos G, et al. Periodization in Anterior Cruciate Ligament Rehabilitation: A Novel Framework[J]. *Med Princ Pract*, 2021, 30(2): 101-108.
- [17] 孔令华, 李令岭. 神经肌肉训练对运动员 ACL 损伤康复与预防的研究综述[J]. *中国体育科技*, 2019, 55(10): 62-67.
- [18] Oleksy Ł, Mika A, Sulowska-Daszyk I, et al. The Evaluation of Asymmetry in Isokinetic and Electromyographic Activity (sEMG) of the Knee Flexor and Extensor Muscles in Football Players after ACL Rupture Reconstruction and in the Athletes following Mild Lower-Limb Injuries[J]. *J Clin Med*, 2023, 12(3): 1144.
- [19] Frank R M, Lundberg H, Wimmer M A, et al. Hamstring Activity in the Anterior Cruciate Ligament Injured Patient: Injury Implications and Comparison With Quadriceps Activity[J]. *Arthroscopy*, 2016, 32(8): 1651-1659.
- [20] Smith T O, Postle K, Penny F, et al. Is reconstruction the best management strategy for anterior cruciate ligament rupture? A systematic review and meta-analysis comparing anterior cruciate ligament reconstruction versus non-operative treatment [J]. *Knee*, 2014, 21(2): 462-470.
- [21] Smith T O, Davies L, Hing C B. Early versus delayed surgery for anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review and meta-analysis[J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2010, 18(3): 304-311.
- [22] Czuppon S, Racette B A, Klein S E, et al. Variables associated with return to sport following anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review[J]. *Br J Sports Med*, 2014, 48(5): 356-364.
- [23] Lyp M, Stanisławska I, Witek B, et al. The Timing of Rehabilitation Commencement After Reconstruction of the Anterior Cruciate Ligament[J]. *Adv Exp Med Biol*, 2018, 1096: 53-57.
- [24] Stańczak K, Dom zalski M, Synder M, et al. Return to Motor Activity after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction - Pilot Study[J]. *Ortop Traumatol Rehabil*, 2014, 16(5): 477-486.
- [25] Cappellini G, Sylos-Labini F, Assenza C, et al. Clinical Relevance of State-of-the-Art Analysis of Surface Electromyography in Cerebral Palsy[J]. *Front Neurol*, 2020, 11: 583296.
- [26] 李扬政, 吴方超. 表面肌电屈曲-放松测试及影响因素研究进展[J]. *中国运动医学杂志*, 2017, 36(3): 270-274.
- [27] Gohel V, Mehendale N. Review on electromyography signal acquisition and processing[J]. *Biophys Rev*, 2020, 12(6): 1361-1367.
- [28] Papagiannis G I, Triantafyllou A I, Roumpelakis I M, et al. Methodology of surface electromyography in gait analysis: review of the literature[J]. *J Med Eng Technol*, 2019, 43(1): 59-65.
- [29] Mortka K, Wiertel-Krawczuk A, Lisiński P. Muscle Activity Detectors—Surface Electromyography in the Evaluation of Abductor Hallucis Muscle[J]. *Sensors (Basel)*, 2020, 20(8): 2162.
- [30] Noor A, Waris A, Gilani S O, et al. Decoding of Ankle Joint Movements in Stroke Patients Using Surface Electromyography [J]. *Sensors (Basel)*, 2021, 21(5): 1575.
- [31] 乐琳, 李哲, 郭钢花, 等. PNF 技术对脑卒中患者躯干控制的疗效观察及躯干屈伸肌群表面肌电指标分析[J]. *中国康复*, 2019, 34(12): 627-630.
- [32] 黄桂兰, 许意, 任彩丽, 等. 表面肌电结合等速测试仪评价功能性电刺激对脑卒中患者下肢痉挛及其功能影响的临床研究[J]. *中国康复*, 2022, 37(1): 17-20.
- [33] Davies W T, Myer G D, Read P J. Is It Time We Better Understood the Tests We are Using for Return to Sport Decision Making Following ACL Reconstruction? A Critical Review of the Hop Tests[J]. *Sports Med*, 2020, 50(3): 485-495.

- [34] Buckthorpe M. Optimising the Late-Stage Rehabilitation and Return-to-Sport Training and Testing Process After ACL Reconstruction[J]. Sports Med, 2019, 49(7): 1043-1058.
- [35] Lohmander L S, Östenberg A, Englund M, et al. High prevalence of knee osteoarthritis, pain, and functional limitations in female soccer players twelve years after anterior cruciate ligament injury: High OA Prevalence in ACL-Injured Female Soccer Players[J]. Arthritis Rheum, 2004, 50(10): 3145-3152.
- [36] Buckthorpe M. Recommendations for Movement Re-training After ACL Reconstruction[J]. Sports Med, 2021, 51(8): 1601-1618.
- [37] 鲁智勇, 普江艳. 改良运动损伤预防方案在前交叉韧带损伤预防中的应用[J]. 中国康复医学杂志, 2021, 36(4): 388-397.
- [38] Andrade R, Pereira R, van Cingel R, et al. How should clinicians rehabilitate patients after ACL reconstruction? A systematic review of clinical practice guidelines (CPGs) with a focus on quality appraisal (AGREE II)[J]. Br J Sports Med, 2020, 54(9): 512-519.
- [39] 敖英芳. 我国运动医学发展与北京冬奥会和健康中国建设[J]. 北京大学学报(医学版), 2021, 53(5): 823-827.
- [40] Rampichini S, Vieira T M, Castiglioni P, et al. Complexity Analysis of Surface Electromyography for Assessing the Myoelectric Manifestation of Muscle Fatigue: A Review[J]. Entropy (Basel), 2020, 22(5): 529.
- [41] Balbinot G, Li G, Wiest M J, et al. Properties of the surface electromyogram following traumatic spinal cord injury: a scoping review[J]. J Neuroeng Rehabil, 2021, 18(1): 105.
- [42] Maeda N, Urabe Y, Tsutsumi S, et al. Symmetry tensiomyographic neuromuscular response after chronic anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction[J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2018, 26(2): 411-417.
- [43] Kotsifaki A, Van Rossom S, Whiteley R, et al. Single leg vertical jump performance identifies knee function deficits at return to sport after ACL reconstruction in male athletes[J]. Br J Sports Med, 2022, 56(9): 490-498.
- [44] Christanell F, Hoser C, Huber R, et al. The influence of electromyographic biofeedback therapy on knee extension following anterior cruciate ligament reconstruction: a randomized controlled trial[J]. Sports Med Arthrosc Rehabil Ther Technol, 2012, 4(1): 41.
- [45] Li W, Li Z, Qie S, et al. Biomechanical Evaluation of Preoperative Rehabilitation in Patients of Anterior Cruciate Ligament Injury[J]. Orthop Surg, 2020, 12(2): 421-428.
- [46] 胡凤丹. 表面肌电在临床康复中的应用进展[J]. 赣南医学院学报, 2021, 41(7): 740-744.
- [47] Zebis M K, Sørensen M H, Lauridsen H B, et al. Electromyography Evaluation of Bodyweight Exercise Progression in a Validated Anterior Cruciate Ligament Injury Rehabilitation Program: A Cross-Sectional Study[J]. Am J Phys Med Rehabil, 2019, 98(11): 998-1004.
- [48] Kim G, Kim W S, Kim T W, et al. Home-based rehabilitation using smart wearable knee exercise device with electrical stimulation after anterior cruciate ligament reconstruction: A study protocol for a randomized controlled trial[J]. Medicine (Baltimore), 2020, 99(20): e20256.
- [49] 吴媛, 樊静, 赖小松, 等. 三种常见划船运动对肩胛部、腹部和下背部肌肉激活的比较[J]. 中国康复医学杂志, 2022, 37(9): 1186-1191.
- [50] 辜禹, 陈楠, 刘倩, et al. 肌肉协同理论在小儿脑性瘫痪康复评定中的应用进展[J]. 中国康复理论与实践, 2020, 26(6): 673-677.
- [51] Frank R M, Lundberg H, Wimmer M A, et al. Hamstring Activity in the Anterior Cruciate Ligament Injured Patient: Injury Implications and Comparison With Quadriceps Activity[J]. Arthroscopy, 2016, 32(8): 1651-1659.
- [52] Perraton L, Clark R, Crossley K, et al. Impaired voluntary quadriceps force control following anterior cruciate ligament reconstruction: relationship with knee function[J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2017, 25(5): 1424-1431.
- [53] 秦爽, 钱菁华. 前交叉韧带损伤康复的研究进展[J]. 中国运动医学杂志, 2017, 36(9): 834-839.
- [54] 郭俊夫, 朱伟民. 前交叉韧带重建术后健康侧肢体生物力学对称性研究进展[J]. 中华骨与关节外科杂志, 2022, 15(4): 307-314.
- [55] Cavanaugh J T, Powers M. ACL Rehabilitation Progression: Where Are We Now? [J]. Curr Rev Musculoskelet Med, 2017, 10(3): 289-296.

作者·读者·编者

《中国康复》杂志 2019 年转为月刊

2018 年 12 月,《中国康复》编辑部收到正式批文,从 2019 年起,《中国康复》杂志变更刊期为月刊,中国标准刊号 ISSN 1001-2001, CN 42-1251/R. 大 16 开,64 内页,每月 25 日出版,每册定价 10.00 元,全年 120.00 元整。

订阅方式:直接向《中国康复》编辑部订购,电话:(027)69378389;E-mail:zgkf1986@163.com