

运动疗法在运动员跟腱病治疗中的研究现状及应用

刘洋¹, 李新通², 胡斌³, 潘玮敏⁴, 白琴¹

【关键词】 跟腱病; 运动员; 运动疗法; 研究进展

【中图分类号】 R49; R493; R685 【DOI】 10.3870/zgkf.2024.01.014

跟腱是人体内最大的肌腱,在日常活动中承受较高的负荷。负重状态下跟腱血供减少、弹性和代谢降低,易出现损伤^[1]。临床上将长期过度使用而导致的跟腱损伤称为跟腱病(achilles tendinopathy, AT),主要表现为疼痛、局部肿胀、结构与力学特性改变,常见于变向运动、跳跃或落地等相关体育项目的运动员^[2]。运动员 AT 的高发病率严重影响竞赛成绩,甚至危害退役后的生活质量^[3]。因此如何在不影响日常训练的基础上更快地缓解症状,切实有效地治疗运动员 AT 是现代康复医学关注的焦点。本文旨在综述运动疗法在运动员 AT 治疗中的研究进展。

1 AT 发病机制

AT 发病机制目前尚不明确^[4],已有研究显示跟腱损伤受内在因素和外在因素的相互作用,内在因素包括体重过大、高足弓、踝关节外侧不稳定、足底屈肌肌力不足等,外在因素包括运动平面不平整、训练强度过大、休息时间不足等^[5]。在内外因素综合作用下,跟腱胶原纤维排列结构和力学特性发生改变,易导致损伤或断裂。

由于 AT 好发于运动频率较高的人群,尤其是从事跳跃、高强度抗阻、急速变向等项目的运动员,分析可能与跟腱复杂的解剖结构和力学特性相关^[6-7]。跟腱中部供血较差,胶原纤维在外力作用下呈现不同程度的排列变化,高强度运动下其拉伸超过 8% 时,易出现损伤或断裂。Petway 等^[8]研究发现篮球运动员某些高强度技术动作,例如假步或胯下运球变向突破,超出了安全的踝关节屈曲、足外翻、躯干相对髋关节弯曲角度,易造成跟腱损伤。但也有学者指出并不是所有

跟腱损伤都与运动强度有关,鞋跟高度或踝关节背屈活动频率增加也会对跟腱和跟骨产生过度压力,改变力学特点,导致疼痛等症状出现。

2 AT 的评估与诊断

目前临床 AT 的诊断主要依据病史、临床表现和影像学检查^[9]。通常针对跟腱疼痛部位、肿胀程度、以及疼痛出现的时间节点进行临床检查,并结合影像学结果进行诊断。以往影像学主要依据 MRI 的结果精确识别跟腱内部结构变化、胶原纤维排列走行是否规则,判断跟腱的损伤情况,但实际应用因为费用高昂等因素受限,近年来伴随肌骨超声技术在康复领域快速发展,将跟腱损伤诊断带入动态可视化阶段,可推广普及^[6]。

患有 AT 运动员大多在疼痛出现之前常有运动表现不佳的现象^[10],为减缓 AT 的进一步进展,确保评估及时有效,国内外大多会依据 AT 运动员的运动表现和功能状态进行前期评估。目前较常使用维多利亚运动评估研究所量表(victorian institute of sport assessment-achilles questionnaire, VISA-A)、视觉模拟评分(visual analogue scale, VAS)、运动员训练记录来评估其功能状态及损伤情况^[11]。但患者对运动产生的疼痛耐受或恐惧会导致评估不准确^[12]。因此还需评估患者的活动参与程度、心理因素等进一步完善评估方案,指导治疗。目前评估标准尚不统一^[13],未来还需更多高质量研究来确定 AT 的最佳评估方案。

3 运动疗法

目前临床上 AT 的治疗方式分为保守治疗和手术治疗^[14]。保守治疗包括观察疗法、运动疗法、物理因子治疗、矫形鞋垫、体外冲击波、针灸、药物注射等。其中运动疗法产生的机械刺激可影响跟腱胶原纤维排列,促进胶原纤维交联的形成,提升肌腱刚度和小腿肌肉力量,该方法成本低、患者依从性好,常与其他疗法联合应用于运动员 AT 治疗。

3.1 等长训练 赛季内运动员 AT 治疗以立即减轻疼痛症状为主,等长训练作为负荷训练的起始阶段,是

基金项目:河南省中医药传承与创新人才工程(仲景工程)中医药拔尖人才基金号:豫卫中医函【2021】15号;陕西省社会科学基金项目(2019R020)

收稿日期:2022-11-21

作者单位:1. 郑州西亚斯学院, 郑州 450000; 2. 青岛市市立医院康复医学科, 青岛 266071; 3. 河南中医药大学第三附属医院, 郑州 450000; 4. 西安体育学院, 西安 710068

作者简介:刘洋(1992-),男,硕士,主管技师,主要从事运动损伤预防与康复等方面研究。

通讯作者:胡斌, hnzhyb@163.com

减少疼痛、加快恢复、防止再次损伤的最佳方式之一。Rio 等^[15]研究指出等长训练不仅不产生疼痛,训练后还可缓解肌腱疼痛,其治疗效果至少可以维持 45min。Kanniappan 等^[16]研究指出滑冰运动员在闭合运动链下连续进行躯干和髋关节的弯曲以及膝关节和踝关节的屈曲活动,导致跟腱产生角张力和应变,出现疼痛和运动表现不佳等现象,在赛前或赛后进行膝关节完全伸展、足最大跖屈状态下的腓肠肌等长收缩训练,可减少大脑皮层对肌肉的抑制,缓解疼痛且不降低肌肉力量。分析等长训练一方面通过肌肉泵作用促进血液回流,另一方面运动带来的机械刺激可兴奋被抑制的脊髓前角神经元,减轻关节源性肌肉抑制,刺激肌肉的本体感受器,激活大量的肌梭传入纤维,募集潜在的运动单位参与活动,可有效缓解水肿、疼痛,提升肌肉力量^[17]。研究发现等长训练的体位对即时止痛效果具有一定差异^[18-19]。Bradford 等^[20]发现膝关节在伸直或屈曲体位下行等长训练均可产生疼痛减轻的即时效应,可显著缓解约 50% 的疼痛,而膝关节伸展状态下疼痛缓解程度要优于屈曲状态,但不具有显著差异。这可能是因为膝关节处于完全伸直状态时,小腿三头肌的肌纤维募集程度最高,肌肉泵作用更为充分有关。因此 AT 运动员需根据训练动作的发力特点选择舒适体位,在赛前进行热身训练,缓解疼痛提升运动表现。处于康复早期的 AT 运动员可在训练前后进行等长训练以维持肌肉力量,缓解疼痛。

3.2 离心训练 离心训练被视为治疗非止点性 AT/中段 AT 的“金标准”方法(距跟腱止点 2~6cm 范围内)^[21]。AT 运动员进行离心训练时跟腱承受较高负荷可刺激肌腱胶原蛋白合成,影响细胞内稳态,促进肌腱重塑。既往研究多基于 Alfredson 提出的离心训练策略^[14],包括在伸膝的状态下激活腓肠肌、屈膝 20°下激活比目鱼肌,15 个/组×3 组,每天训练 2 次,持续 12 周,此策略可有效改善 AT 患者的疼痛及功能障碍。但由于这些研究中患者跟腱损伤程度、离心训练的负荷和速度,以及评价指标等具体参数存在一定差异,尚无法确定哪种具体实施方案最为有效^[22-32]。止点性 AT(距跟腱止点 2 cm 范围内)常伴有代谢类疾病,不利于肌腱的愈合,其治疗方式及预后与非止点性 AT/中段 AT 明显不同。研究显示仅以离心训练作为止点性 AT 的治疗手段,疗效不佳,运动表现仅能恢复至原水平的 32%~67%^[33]。目前常采用体外冲击波(extracorporeal shock wave therapy, ESWT)或离心训练结合 ESWT 的联合疗法治疗止点性 AT^[34]。ESWT 用液电、压电或电磁等发生器产生一种具有高压强性、短时性和宽频性的脉冲声波,声波的直接机械冲

击效应以及空化作用间接产生的机械效应,引起人体组织和细胞的变化而达到治疗目的^[35]。Wang 等^[36]的研究表明 ESWT 可诱导血管形成,改善受伤组织的血液供应并启动局部修复机制,减少损伤和疼痛。Mansur 等^[37]应用 12 周低能量 ESWT 结合离心训练治疗 19 名止点性 AT 患者,其中离心训练策略采用 Alfredson 训练,24 周后接受 VISA-A、VAS、美国骨科足踝学会问卷调查作为最终随访,结果显示患者疼痛减轻,功能得到显著改善。然而采用 ESWT 治疗 AT 的研究中,均需在治疗后进行冰敷以缓解治疗带来的疼痛,并且限制运动员初期的运动训练,这对于备赛阶段的运动员而言可能并不合适。

综上,离心训练对运动员 AT 治疗效果尽管已被证实,但训练过程中,运动员承受的负荷目前尚未有统一标准^[38]。大多采用以 5kg 作为递增单位的背包负重,若训练后的第二天出现疼痛加重则减轻负荷或停止训练,这对于运动员日常训练而言具有一定的风险,有学者建议若想快速恢复或提升运动员运动能力还应与牵伸、关节松动、针灸等其他治疗手段相结合^[39],降低治疗过程中的疼痛。除此之外,运动员 AT 治疗效果还需结合训练项目特点,运动员近期训练规划,与教练员沟通后制定相应的负荷递增方案,为运动员提供安全有效的个体化治疗。

3.3 高强度低速抗阻训练 高强度低速抗阻训练(heavy slow resistance training, HSRT)是一种将向心训练与离心训练相结合的运动模式,在安全可控的低速下进行高强度负荷训练^[40]。HSRT 已被证明是治疗肌腱病有效的方法^[41],压力负荷可刺激肌腱胶原蛋白合成,正向调节细胞反应,促进肌腱愈合。Beyer 等^[42]将 HSRT 与 Alfredson 离心训练对 AT 的疗效进行比较后发现,两种方法在改善疼痛和功能方面取得相似效果,而且差异无显著统计学意义。但 HSRT 组患者满意度显著高于离心训练组,分析可能是两种训练方案的时间存在较大的差异,随着患者症状改善 HSRT 会逐渐减少训练重复次数,可能提升了患者的满意度和依从性。目前一些研究认为 Alfredson 离心训练与 HSRT 训练相比,跖屈力量提升效果不佳,仅是一种主动拉伸治疗^[43]。而 HSRT 在安全可控的速度及频率下,训练形式、强度与竞技运动员的日常训练相似,有利于跟腱及机体综合能力的提升。

3.4 血流限制训练 血流限制训练(blood flow restriction training, BFRT)又称加压训练,是指在训练期间通过特殊的加压装置对肢体进行加压,闭塞静脉血的同时阻塞部分动脉血流,机体处于缺血缺氧的状态以提升训练效果^[44]。现有研究发现 BFRT 可促进

肌肉肥大,防止肌肉萎缩,并凭借较低负荷很好地避免高强度抗阻训练所存在的潜在风险,目前已广泛应用于肌骨损伤康复^[45]。

跟腱损伤的运动员带病进行运动训练已是常态,日常训练或治疗中出现的疼痛也影响着训练效果和康复进程,而BFRT通过内源性阿片和内源性大麻素机制可有效减轻运动引起的疼痛^[46],对于因疼痛无法耐受高负荷训练或备赛期的运动员而言,该方法可有效管理疼痛提升运动表现。另一方面相较于传统离心训练或HSRT使用高达70%一次重复最大力量(1 repetition maximum, 1RM)的运动强度,BFRT仅需使用20%~40%的1RM的强度即可。Magnusson等^[47]对健康跟腱人群进行血流限制训练,结果显示跟腱的形态和力学特性都产生有益的影响,主要体现在肌腱的硬度、厚度、信号强度、皮肤温度等方面。备赛期AT运动员可在早期治疗阶段进行BFRT,尽快缓解疼痛,恢复训练,也可根据训练项目特点及训练计划结合离心训练或HSRT进行联合治疗。

4 运动员AT的康复周期

运动员AT的康复大致分为4个阶段,包括了症状管理与减轻负荷阶段(损伤后的1~2周),恢复阶段(2~5周),重建阶段(3~12周)以及回归运动阶段(3~6个月)。促进跟腱恢复的运动疗法应及早进行,以预防肌肉萎缩维持机体功能状态,后续阶段进行特定负荷及形式的运动训练,助力运动员尽快回归赛场,其运动形式、强度与阶段周期可根据患者运动水平和恢复状况进行个体化调整。

4.1 症状管理与减轻负荷阶段 该阶段治疗目的是停止超负荷和持续损伤带来的恶性循环。此阶段侧重疼痛管理,避免完全休息,进行单/双脚离心或向心收缩形式的提踵训练,维持身体机能。常见的运动形式主要有平稳地面上脚跟抬起后缓慢落下(3×10次重复);坐位脚跟抬高(3×10次重复);踝泵训练等内容。期间以疼痛等级作为进阶指标监控训练进程,若疼痛严重限制等张训练(VAS≥5)则先进行等长训练,以缓解疼痛^[10]。Bayer等^[48]研究显示跟腱损伤后尽早进行下肢肌肉动员可提前约21d恢复运动训练。Medeiros等^[49]也发现跟腱损伤的足球运动员伤后首周即进行无负重状态下的肌肉动员,可在6个月后完全康复并恢复竞技训练,并且2年随访未出现再次损伤。尽早进行肌肉动员,可延缓肌肉萎缩、维持下肢肌群的协调控制能力,避免后续进行渐进式增强训练时出现损伤,加快康复进程。与此同时,根据运动员实际情况结合针灸、药物、ESWT、血流限制训练等治疗方法进

行联合治疗,可快速改善疼痛症状,加速康复。

4.2 恢复阶段 该阶段治疗目的是恢复机体功能,逐步提升跟腱负荷耐受能力。此阶段侧重提升小腿、踝足部肌肉力量,关节活动范围来维持良好的生物力学,避免在跳跃、跑步的推离阶段出现损伤,其训练形式为离心或向心收缩的提踵训练,通过增加运动速度和阻力来增加运动负荷,运动平面由原先的平稳地面改为台阶边缘,抵抗自身重力。一般认为运动员进行速度、方向快速转换等高强度动作时,施加在跟腱上的拉伸负荷超出其耐受范围,是产生跟腱损伤的主要因素,因此运动员可从此期开始逐渐进行安全位置对应的技术动作训练,适应特定动作的发力特点和活动角度,有助于降低AT发病率^[8,50]。

基于以上,处于恢复期的运动员AT需在疼痛允许的范围内提升下肢力量、不同运动角度下跟腱负荷耐受能力,以适应后续进行的增强式训练。以疼痛等级作为进阶指标来监控训练进程,若进行等长训练(5×45s)后,患者主观报告VAS<5,可尝试进行等张训练,负荷强度应个体化循序渐进^[42]。而且运动员可结合自身项目特点以及跟腱损伤部位调整方案,对于中段AT患者而言,可将提踵训练由水平面改为斜坡,双侧提踵改为辅助下单侧提踵。止点性AT患者可进行水中跑步、减重机下跑步。此外,还需进行足底屈肌力量练习、膝关节和髋关节的控制练习,避免再次损伤。

4.3 重建阶段 该阶段治疗目的是强化小腿肌肉力量、增强跟腱对负荷的耐受能力,完成向竞技项目训练阶段过度^[13]。此阶段侧重提升负荷强度,继续进行提踵训练,以背包负重的形式逐步增加负荷强度,逐步开始跑步、跳跃等形式的训练。研究指出运动员在重建阶段进行渐进式增强训练时容易出现跟腱损伤,训练中突然出现被动的踝背屈是导致跟腱受损的主要原因^[51]。Loturco等^[52]发现增强式训练阶段出现跟腱断裂时,运动员足外翻角度增加并伴有过度的膝关节伸展,腓肠肌内侧张力过大等特点。这可能是训练休息不足导致肌肉疲劳状态下 α 运动神经受到抑制,肌肉募集程序发生改变,出现踝关节背屈角度增大,足跟位置延迟性控制等现象;也可能是负重训练前进行的肌肉激活训练不足,导致踝背屈控制或膝-踝关节协调性降低,因此进行增强式训练时还需结合运动员项目特点制定训练方案,改善下肢肌肉协调和控制能力。期间仍需继续进行等长和等张训练的组合训练,以控制增强式训练可能导致的跟腱疼痛与疲劳。

目前缺乏统一的负荷进阶标准,需在疼痛监控下进行。日常走路疼痛评分在1~2分时,可开始进行跳

跃训练,训练平面可由水平向斜坡逐渐过度;单腿跳跃20次后,VAS评分<2分即可进行跑步练习^[13]。期间仍需进行提踵练习,以促进跟腱愈合。

4.4 回归运动阶段 该阶段的目的是使运动员全面恢复体育训练^[12]。跟腱组织在高负荷训练后的36~72h内得到充分恢复是进行全面体育训练的前提,此阶段可选择HSRT、血流限制结合低强度抗阻训练、向心-离心收缩联合训练等方法,提升功能性肌力、本体感觉、灵敏度、运动控制等。其运动形式包括负荷下快速变向、跳跃、加速/减速、特定的技术动作等。以足球运动员AT为例,此阶段的训练方法主要有超等长训练(小腿跳、跳深训练、深蹲跳)、蛤壳运动、弹力带侧向行走、保加利亚蹲等^[49]。需要注意的是,运动员在此期进行运动时,跟腱对高强度负荷耐受性仍可能不足,过早进行全面训练有一定损伤风险,尤其是进行特定技术动作适应性训练时需在训练后的第二天进行疼痛、肿胀等评估。此阶段需与教练组沟通,结合运动员负荷耐受程度、训练计划共同制定个体化训练方案,训练3~4周后可重新划分运动等级调整负荷强度,促进运动员运动表现和机体功能的全面恢复。

5 小结与展望

AT是运动损伤中的常见病和多发病,目前AT的运动疗法多集中于等长训练、离心训练、HSRT及BFRT等形式,对于运动员而言,需要结合竞赛项目特点,制定科学合理的周期性康复方案,以快速改善疼痛症状、提升运动表现。因缺乏负荷进阶标准,训练中需严格监测运动员疼痛评分和主观疲劳程度,确保治疗安全有效。未来还需更多高质量的随机对照研究,探索AT的最佳评估治疗方案,助力运动员重返赛场。

【参考文献】

- [1] 郑伟鑫,刘培琰,梁晓军,等. AT的研究进展[J]. 中国修复重建外科杂志, 2020, 34(12): 1619-1623.
- [2] 牛永刚,雷园园,赵焕彬. 运动康复治疗AT的研究进展[J]. 中国康复医学杂志, 2016, 31(05): 583-585.
- [3] Marberry SM, Filmlalter SE, Pujalte GGA, et al. Self-reported foot strike patterns and sonographic evidence of Achilles tendinopathy in asymptomatic marathon runners[J]. J Sports Sci, 2022, 40(12): 1308-1314.
- [4] Ramires LC, Jeyaraman M, Muthu S, et al. Application of Orthobiologics in Achilles Tendinopathy: A Review. Life (Basel) [J]. 2022, 12(3): 399.
- [5] Andere NFB, Godoy AL, Mochizuki L, et al. Biomechanical evaluation in runners with Achilles tendinopathy[J]. Clinics (Sao Paulo), 2021, 76: e2803.
- [6] 万春友,张伟业,刘钊,等. 跟腱损伤诊断与治疗的研究进展[J]. 中国骨伤, 2022, 35(01): 1-4.
- [7] Silbernagel KG, Hanlon S, Sprague A. Current Clinical Concepts: Conservative Management of Achilles Tendinopathy[J]. J Athl Train, 2020, 55(5): 438-447.
- [8] Petway AJ, Jordan MJ, Epsley S, et al. Mechanisms of Achilles Tendon Rupture in National Basketball Association Players[J]. J Appl Biomech. 2022, 38(6): 398-403.
- [9] Corrigan P, Hornsby S, Pohlig RT, et al. Tendon loading in runners with Achilles tendinopathy: Relations to pain, structure, and function during return-to-sport. Scand J Med Sci Sports[J]. 2022, 32(8): 1201-1212.
- [10] de Vos RJ, Vlist AC, Zwerver J, et al. Dutch multidisciplinary guideline on Achilles tendinopathy[J]. Br J Sports Med, 2021, 55(20): 1125-1134.
- [11] Cook JL, Rio E, Purdam CR, et al. Revisiting the continuum model of tendon pathology: what is its merit in clinical practice and research? [J]. Br J Sports Med, 2016, 50(19): 1187-1191.
- [12] Vos RJ, Vlist AC, Zwerver J, et al. Dutch multidisciplinary guideline on Achilles tendinopathy[J]. Br J Sports Med, 2021, 55(20): 1125-1134.
- [13] Vicenzino B, Vos RJ, Alfredson H, et al. ICON 2019-International Scientific Tendinopathy Symposium Consensus: There are nine core health-related domains for tendinopathy (CORE DOMAINS): Delphi study of healthcare professionals and patients [J]. Br J Sports Med, 2020, 54(8): 444-451.
- [14] Martin RL, Chimenti R, Cuddeford T, et al. Achilles Pain, Stiffness, and Muscle Power Deficits: Midportion Achilles Tendinopathy Revision 2018[J]. J Orthop Sports Phys Ther, 2018, 48(5): A1-A38.
- [15] Rio E, Kidgell D, Purdam C, et al. Isometric exercise induces analgesia and reduces inhibition in patellar tendinopathy[J]. Br J Sports Med, 2015, 49(19): 1277-1283.
- [16] Kanniappan V, Sathosh AM. To Compare the Effect of Eccentric Exercises and Isometric Exercises for Achilles Tendinitis in Skaters[J]. J Lifestyle Med, 2020, 10(1): 49-54.
- [17] 姜峰,管骏涛,宋佳成,等. 等长收缩训练促进犬慢性缺血心肌血流灌注的研究[J]. 中国康复医学杂志, 2016, 31(6): 611-616.
- [18] Lenhart RL, Francis CA, Lenz AL, et al. Empirical evaluation of gastrocnemius and soleus function during walking[J]. J Biomech, 2014, 47(12): 2969-2974.
- [19] Cronin NJ, Avela J, Finni T, et al. Differences in contractile behaviour between the soleus and medial gastrocnemius muscles during human walking[J]. J Exp Biol, 2013, 216(Pt 5): 909-914.
- [20] Bradford B, Rio E, Murphy M, et al. Immediate Effects of two Isometric Calf Muscle Exercises on Mid-portion Achilles Tendon Pain[J]. Int J Sports Med, 2021, 42(12): 1122-1127.
- [21] Korakakis V, Whiteley R, Tzavara A, et al. The effectiveness of extracorporeal shockwave therapy in common lower limb conditions: a systematic review including quantification of patient-rated pain reduction[J]. Br J Sports Med, 2018, 52(6): 387-407.
- [22] Boesen AP, Hansen R, Boesen MI, et al. Effect of High-Volume Injection, Platelet-Rich Plasma, and Sham Treatment in Chronic Midportion Achilles Tendinopathy: A Randomized Double-Blind

- ded Prospective Study[J]. *Am J Sports Med*, 2017,45(9):2034-2043.
- [23] de Vos RJ, Weir A, van Schie HT, et al. Platelet-rich plasma injection for chronic Achilles tendinopathy: a randomized controlled trial[J]. *JAMA*, 2010,303(2):144-149.
- [24] Beyer R, Kongsgaard M, Hougs Kjær B, et al. Heavy Slow Resistance Versus Eccentric Training as Treatment for Achilles Tendinopathy: A Randomized Controlled Trial[J]. *Am J Sports Med*, 2015, 43(7):1704-1711.
- [25] de Jonge S, de Vos RJ, Van Schie HT, et al. One-year follow-up of a randomised controlled trial on added splinting to eccentric exercises in chronic midportion Achilles tendinopathy[J]. *Br J Sports Med*, 2010,44(9): 673-677.
- [26] de Jonge S, de Vos RJ, Weir A, et al. One-year follow-up of platelet-rich plasma treatment in chronic Achilles tendinopathy: a double-blind randomized placebo-controlled trial[J]. *Am J Sports Med*, 2011,39(8):1623-1629.
- [27] Pearson J, Rowlands D, Highet R. Autologous blood injection to treat achilles tendinopathy A randomized controlled trial[J]. *J Sport Rehabil*, 2012,21(3):218-224.
- [28] Rompe JD, Nafe B, Furia JP, et al. Eccentric loading, shock-wave treatment, or a wait-and-see policy for tendinopathy of the main body of tendo Achillis: a randomized controlled trial[J]. *Am J Sports Med*, 2007,35(3): 374-383.
- [29] Silbernagel KG, Thomeé R, Eriksson BI, et al. Continued sports activity, using a pain-monitoring model, during rehabilitation in patients with Achilles tendinopathy: a randomized controlled study[J]. *Am J Sports Med*, 2007,35(6):897-906.
- [30] Stevens M, Tan CW. Effectiveness of the Alfredson protocol compared with a lower repetition-volume protocol for midportion Achilles tendinopathy: a randomized controlled trial[J]. *J Orthop Sports Phys Ther*, 2014, 44(2):59-67.
- [31] Yelland MJ, Sweeting KR, Lyftogt JA, et al. Prolotherapy injections and eccentric loading exercises for painful Achilles tendinosis: a randomised trial[J]. *Br J Sports Med*, 2011,45(5):421-428.
- [32] Zhang BM, Zhong LW, Xu SW, et al. Acupuncture for chronic Achilles tendinopathy: a randomized controlled study[J]. *Chin J Integr Med*, 2013,19(12):900-904.
- [33] Magnan B, Bondi M, Pierantoni S, et al The pathogenesis of Achilles tendinopathy: a systematic review[J]. *Foot Ankle Surg*, 2014,20(3):154-159.
- [34] Zhi X, Liu X, Han J, et al. Nonoperative treatment of insertional Achilles tendinopathy: a systematic review[J]. *J Orthop Surg Res*, 2021,16(1):233.
- [35] 段小军,杨柳,黄合琴. 体外冲击波治疗跟腱慢性腱病的研究进展[J]. *中国医学前沿杂志(电子版)*, 2015,7(11):5-9.
- [36] Wang CJ, Huang HY, Pai CH. Shock wave-enhanced neovascularization at the tendon-bone junction: an experiment in dogs[J]. *J Foot Ankle Surg*, 2002,41(1):16-22.
- [37] Mansur NSB, Baumfeld T, Villalon F, et al. Shockwave Therapy Associated With Eccentric Strengthening for Achilles Insertional Tendinopathy: A Prospective Study[J]. *Foot Ankle Spec*, 2019, 12(6):540-545.
- [38] Rabusin CL, Menz HB, McClelland JA, et al. Efficacy of heel lifts versus calf muscle eccentric exercise for mid-portion Achilles tendinopathy (HEALTHY): a randomised trial[J]. *Br J Sports Med*, 2021,55(9):486-492.
- [39] 徐仁杰,张玉鑫,施加加. 小腿三头肌低强度离心收缩与跟腱牵伸训练治疗跟腱挛缩的疗效对比研究[J]. *中国康复*, 2021,36(2):102-105.
- [40] 李新通,覃华生,陈沛,等. 物理疗法在运动员髌腱末端病治疗中的研究现状与应用[J]. *中国康复*, 2022,37(1):47-51.
- [41] Heitkamp HSJ, Kapitza C. The Management of Mid-Portion Achilles Tendinopathy from a Physiotherapeutic Point of View: A Systematic Review[J]. *Sportverletz Sportschaden*, 2021, 35(1):24-35.
- [42] Beyer R, Kongsgaard M, Hougs Kjær B, et al. Heavy Slow Resistance Versus Eccentric Training as Treatment for Achilles Tendinopathy: A Randomized Controlled Trial[J]. *Am J Sports Med*, 2015,43(7):1704-1711.
- [43] Allison GT, Purdam C. Eccentric loading for Achilles tendinopathy—strengthening or stretching [J]. *Br J Sports Med*, 2009, 43(4):276-279.
- [44] 李新通,潘玮敏,覃华生,等. 血流限制训练:加速肌肉骨骼康复的新方法[J]. *中国组织工程研究*, 2019,23(15):2415-2420.
- [45] 苏明莉,刘西纺,张葆欣,等. 血流限制训练在膝关节功能康复中的应用现状[J]. *中国康复医学杂志*, 2021,36(3):375-382.
- [46] Hughes L, Grant I, Patterson SD. Aerobic exercise with blood flow restriction causes local and systemic hypoalgesia and increases circulating opioid and endocannabinoid levels[J]. *J Appl Physiol* (1985), 2021,131(5):1460-1468.
- [47] Magnusson SP, Kjaer M. The impact of loading, unloading, ageing and injury on the human tendon[J]. *J Physiol*, 2019,597(5):1283-1298.
- [48] Bayer ML, Magnusson SP, Kjaer M, et al. Early versus Delayed Rehabilitation after Acute Muscle Injury[J]. *N Engl J Med*, 2017,377(13):1300-1301.
- [49] Medeiros DM. Conservative treatment of Achilles tendon partial tear in a futsal player: A case report. *Physiother Theory Pract* [J]. 2021,37(10):1158-1165.
- [50] Ready LV, Li NY, Worobey S, et al. Influence of Preseason Versus In-Season Play on Achilles Tendon Injuries in the National Football League [J]. *Orthop J Sports Med*, 2021, 9(12):3259671211056083.
- [51] De la Fuente C, Ramirez-Campillo R, Gallardo-Fuentes F, et al. Pattern analysis of a complete Achilles tendon rupture suffered during high jump preparation in an official national-level athletic competition[J]. *Sports Biomech*, 2022,21(3):312-322.
- [52] Loturco I, De la Fuente C, Bishop C, et al. Video-based biomechanical analysis of an unexpected Achilles tendon rupture in an Olympic sprinter[J]. *J Biomech*, 2021,117:110246.