

前交叉韧带损伤治疗的发展趋势

许继荣¹, 李红^{2*}, 孙朝军², 孙哲², 林红凯¹, 肖林¹

¹大理大学临床医学院, 云南 大理

²大理大学第一附属医院关节外科, 云南 大理

收稿日期: 2023年1月16日; 录用日期: 2023年2月14日; 发布日期: 2023年2月21日

摘要

近年来, 随着人们对健康运动的重视程度不断提高, 前交叉韧带损伤已经成为一种普遍存在的运动损伤, 其发病率也在不断上升。目前, 非接触性损伤是前交叉韧带损伤的主要形式, 而诊断这种损伤的方法则包括: 病史采集、体格检查以及影像学检查。前交叉韧带损伤的治疗多种多样, 目前主要治疗方式为前交叉韧带手术重建。

关键词

膝关节, 前交叉韧带, 损伤, 发展趋势

Trends in the Treatment of Anterior Cruciate Ligament Injuries

Jirong Xu¹, Hong Li^{2*}, Chaojun Sun², Zhe Sun², Hongkai Lin¹, Lin Xiao¹

¹Clinical College of Medicine, Dali University, Dali Yunnan

²Department of Joint Surgery, The First Affiliated Hospital of Dali University, Dali Yunnan

Received: Jan. 16th, 2023; accepted: Feb. 14th, 2023; published: Feb. 21st, 2023

Abstract

In recent years, with the increasing attention to healthy sports, ACL injury has become a common sports injury, and its incidence is on the rise. Currently, non-contact injuries are the most common form of ACL injury, and methods for diagnosing these injuries include history collection, physical examination, and imaging. There are a variety of treatments for anterior cruciate ligament injury. Currently, the main treatment is anterior cruciate ligament reconstruction.

*通讯作者。

文章引用: 许继荣, 李红, 孙朝军, 孙哲, 林红凯, 肖林. 前交叉韧带损伤治疗的发展趋势[J]. 临床医学进展, 2023, 13(2): 2450-2460. DOI: 10.12677/acm.2023.132345

Keywords

Knee Joint, Anterior Cruciate Ligament, Damage, Development Trend

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

近年来,随着我国体育运动事业的不断发展,国民对体育运动的重视程度越来越高,运动损伤也呈逐年上升的趋势,其中以前交叉韧带(anterior cruciate ligament, ACL)损伤最为常见。随着运动医学的普及,关节镜外科技术也得到了广泛应用,并取得了长足的进步,ACL损伤的诊断及其治疗已成为外科学界广泛关注的一个热点课题。本文结合国内外文献从前交叉韧带解剖、损伤机制及因素、诊断、治疗及康复方面展开简要综述,旨在深入探讨目前国内外前交叉韧带损伤的治疗方法,以期为临床医生提供有效的诊断和治疗指导。

2. 解剖

ACL是膝关节内最主要纤维韧带之一,为其提供旋转和平移稳定性。ACL主要由I型和III型胶原中的成纤维细胞构成,在插入部位有少量的IV型胶原[1]。ACL韧带包含四个不同的组织学区域:1)韧带,2)未钙化的纤维软骨,3)钙化的纤维软骨,4)骨。在解剖学上,ACL分为两个束:前内侧束(the anteromedial bundle, AMB)和后外侧束(posterolateral bundle, PLB),其名称来源于胫骨插入的位置。AMB主要负责抵抗膝关节屈曲时胫骨前倾,而PLB则抵抗旋转、过伸和伸直时胫骨前倾[2]。ACL由神经纤维支配,血供主要来自膝中动脉和膝下内、外侧动脉[3]。

3. 生物力学

通常ACL传递的力随膝关节位置的变化而变化。在一项对尸体膝关节的研究中发现,在应对胫骨前负荷时,PLB总体上比AMB承受更大的力,而AMB的原位应力保持相对恒定,与屈曲角度和胫骨前负载没有多大关系[4]。PLB的原位应力是影响ACL在不同弯曲角度下的力学行为的重要因素[4]。这表明术中PLB的重建比AMB的重建更重要。在AMB和PLB共同作用下,赋予了ACL独特的生物力学特性。

4. 损伤因素及机制

ACL损伤主要存在于在体育运动中,特别是在滑雪、橄榄球、足球和篮球等运动中。ACL损伤的主要原因是非接触性,而不是由于膝关节与他人的直接碰撞所造成的,常发生于暴力扭转、急停及落地等动作,这些动作均涉及运动方向的变化。运动方向通常包括旋转动作、膝关节外侧弯曲成外翻位、膝关节伸展以及胫骨旋转[5]。基于与ACL损伤相关的神经肌肉和生物力学危险因素[6],比起跑步,当进行回避和两腿交叉切割动作时,ACL的负荷显著增加[7],这是由于膝关节内外翻和内外旋运动的大量增加所导致的。在切割运动过程中,这种压力会使ACL处于断裂的危险之中,特别是当膝关节处于0°到40°的屈曲状态时,更容易出现这种情况。相关学者认为膝关节屈曲时对胫骨的前向力更有可能损伤AMB,而膝关节伸展时更有可能损伤PLB[8]。同时股骨髁间窝狭窄及胫骨平台倾斜角增大也是影响ACL损伤

的主要因素[9][10], 目前正吸引着更多学者的研究。

5. 诊断

ACL 损伤急性期患者出现膝关节明显肿胀、疼痛及行走困难。慢性期的患者最常见的症状是膝关节错动感及疼痛, 易反复发生膝关节“扭伤”, 可逐渐加重。ACL 损伤查体时能发现明显的关节松弛, 并且 Lachman 试验、前抽屉试验及轴移试验阳性。膝关节的前稳定性通常用 Lachman 试验[11]、前抽屉试验来评估, 但前抽屉试验的敏感性较 Lachman 试验低, 而轴移试验(pivot shift test, PST)反映的是 ACL 损伤的不稳定性。

在 ACL 损伤诊断中 KT2000 测量仪用于测量膝关节前后位移的距离和 ACL 松弛, 但目前临床应用较少, 科研中应用相对较广。为确保 ACL 损伤的准确诊断, 首先应进行膝关节 X 线检查, 以确定有无退行性疾病、骨折、关节内游离体、骨赘或其他损伤。如果出现胫骨髁间棘骨折或 Segond 骨折(胫骨平台外侧的撕脱骨折), 这是 ACL 撕裂的典型影像学表现[12], 而大多数情况下, 除了关节腔积液, 膝关节 X 线检查结果仍然为正常。MRI 检查技术在诊断 ACL 损伤方面具有显著优势, 其准确率高达 90%~95%, 因此, 我们强烈推荐将其纳入 ACL 损伤诊断评估的重要组成部分, 以提高诊断效果[13]。MRI 可显示膝关节半月板、软骨、内外侧副韧带及前后交叉韧带的损伤情况, 同时评估髌腱、股四头肌腱和腘绳肌腱的大小是可靠的, 具有中等至良好的准确性[14]。因此膝关节 MRI 对 ACL 损伤的诊断来说是最有价值的影像学检查方法。通过关节镜下的 ACL 探查术, 可以准确地观察膝关节韧带、软骨、滑膜、半月板等内部结构, 这是诊断 ACL 断裂的金标准[15], 它被认为是最有效、最可靠的检查方法, 可以帮助医生更好地诊断和治疗这种疾病。

6. 治疗

然而, 不管 ACL 损伤选择怎样的治疗方式, 都强烈建议患者尽快采取措施, 如冰敷、包扎固定、抬高患肢并限制膝关节的活动。

6.1. 非手术(保守)治疗

ACL 非手术治疗主要是提高膝关节周围肌肉的力量, 建议寻找有丰富经验的物理治疗师或运动教练, 以提供有效的物理治疗方案, 以改善患者的症状和恢复情况, 尤其是股四头肌、腘绳肌。然而关于 ACL 损伤后的最佳非手术治疗, 目前尚无系统综述。在大多数关于 ACL 损伤后非手术治疗的研究中, 进行结构化康复取得了良好的疗效[16]。许多研究者推荐扰动训练用于 ACL 损伤的非手术治疗[17][18]。两项随机对照研究表明, 与对照组相比, 扰动训练具有积极的效果[19]。Sonnerycotte 和 Colombert 提出了部分 ACL 撕裂的治疗方法, 建议对膝关节胫骨前移小于 4 mm 的患者进行 3 个月的保守治疗(膝关节支具固定和康复), 并在 3 个月时重新检查胫骨前移情况。若患者病情稳定, 他们可以重新参加体育活动[20]。给予患肢膝关节支具固定以减少膝关节疼痛和积液, 并且在康复治疗师的指导下进行膝关节功能康复及特定的运动, 重点是保持患肢运动和力量, 患者重返运动的时间因人而异, 若患者在康复过程中仍无症状, 通常可在 6 至 12 周内重返运动。

关于使用生物制剂治疗 ACL 损伤的非手术治疗的研究也有报道, 其是以类似于其他韧带损伤的治疗方式促进韧带愈合, 尝试使用富血小板血浆(platelet rich plasma, PRP)或注射生长因子形成纤维蛋白凝块, 这些研究的结果是有限和可变的。在对 19 名职业足球运动员进行 PRP 治疗时, 训练时间为平均 15.33 周, 有 18 名运动员重新回到了他们当时的训练强度中[21], 这些足球运动中只有 1 人最终 ACL 完全断裂。与此同时, 在 5 年随访中, 接受 PRP 注射治疗的运动员的恢复比赛率为 78% [22]。一项研究关于关节镜辅助下将自体 PRP 注射在 ACL 部分撕裂未修复后的韧带上[23], 在 24 例患者中, 作者报告了 3 例(12.5%)

治疗失败, 2 名患者因为再次受伤导致 ACL 重建, 另 1 名患者因症状性软骨缺损需要再次手术, 在这个研究小组中, 回归运动的时间平均为 4.8 个月, 在接受这种治疗的患者中, 根据患者 IKDC 主观评分、Lysholm 评分、Tegner 评分和 Cincinnati 评分, 患者的功能从良好到优秀。因此, 目前需要长时间的随访和更好的研究设计来进一步研究生物制剂作为推荐的治疗方案。

6.2. 手术治疗

ACL 损伤目前最主要的治疗方式是 ACL 重建术, 并且 ACL 重建术通常是年轻和经常运动患者恢复膝关节稳定性的首选治疗方法, 特别是那些希望恢复旋转或变向运动的患者[24]。对于年龄较大和活动较少的患者, 或仅参与线性活动的患者, 非手术治疗更被认为是最好的治疗方式[11]。因此应该根据患者年龄、运动需求来选择合适的治疗方式。以下主要从关节镜下 ACL 重建移植物的选择、移植物放置和股骨隧道钻孔技术方面进行阐述。

6.2.1. 移植物的选择

ACL 移植物的选择需要从多方面考虑, 如移植物本身的生物学和生物力学特性以及患者的临床需求、特点和期望。

1) 骨 - 髌腱 - 骨(BTB)自体移植(Bone-patellar tendon-bone (BTB) autograft)

采用自体 BTB 移植物, 由于移植物固定后, 完全以直接止点的形式与骨道愈合, 抗拉强度大, 无骨道扩大, 无雨刷蹦极效应, 曾被誉为 ACL 重建移植物选择的“金标准”材料[25]。在最近的一项大型研究中, 自体腘绳肌移植物患者移植物断裂的翻修风险是 BTB 自体移植物患者的 2 倍[26]。并且应用自体 B-P-B 重建交叉韧带以下风险或并发症: 螺钉固定骨块移植物发生劈裂骨折、取骨时髌骨骨折的风险、髌前触发性疼痛和跪行痛[27]。髌股关节炎、髌腱炎、髌前疼痛和少年患者不宜选用。但是, 对于多发韧带损伤和翻修手术, B-P-B 移植仍具优势, 也是国际上 ACL 重建采用的常用移植物之一。

2) 股四头肌肌腱

近年来股四头肌腱自体移植(带或不带骨块)越来越得到术者的青睐[28]。股四头肌腱可按需获取足够的肌腱移植物, 不会明显减弱供区肌腱的强度[29], 股四头肌腱移植物可以带部分髌骨块, 特别适合交叉韧带重建术后隧道扩大需要翻修的患者一期消灭骨道, 移植物骨块与骨道形成牢固的骨性愈合。研究表明, 自体股四头肌腱移植重建 ACL 与自体腘绳肌腱相比, 弹性模量低、牵拉应变小、抗疲劳能力强、更接近膝关节交叉韧带[30]。与 BTB 相比, 移植物接触面积更大[31], 其供体部位膝前疼痛发生率降低。股四头肌肌腱交叉韧带重建后不易出现韧带松弛, 不影响膝关节的稳定性, 是一种安全、可靠、理想的交叉韧带重建移植材料。

3) 腘绳肌腱

自体腘绳肌腱移植物是术者最常选择的移植物, 尽管其使用有下降的迹象[32]。但腘绳肌腱是临床上应用最多、最广泛及最成熟的肌腱移植材料。有研究表明, 腘绳肌腱可再生并出现再血管化及胶原重建, 自体肌腱本体感觉恢复得会更早[33]。通过生物力学分析, 发现移植物的断裂承受的最大负荷比自然的 ACL 更高, 这与韧带重建的需求相一致, 四股腘绳肌腱的组织结构与原始 ACL 非常相似, 几乎可以说是完全一致的[34]。在组织结构上, 四股腘绳肌腱接近原始 ACL, 弹性优于自体骨 - 髌腱 - 骨(B-P-B)。

然而, 自体腘绳肌腱也存在缺陷, 取腱区缺损容易导致后内侧肌群力量下降, 造成后内侧结构不稳, 影响膝关节功能; 同时, 取腱时不注意容易使隐神经损伤, 导致膝前感觉障碍, 也会影响术后效果; 自体腘绳肌腱的取材量有限, 多韧带损伤修复重建需要取其他部位肌腱[35]。然而腘绳肌自体移植早期再断裂率的增加值得高危患者警惕, 尤其是年轻女性和需要从事切割和旋转运动的患者[36]。瑞典国家膝关节韧带登记处的一项大型研究表明, 腘绳肌腱移植物直径每增加 0.5 mm, 翻修手术的风险就会降低 0.86 倍

[37], 因此术中我们应该根据术中患者情况选择合适直径的移植物, 尽量减少移植物的翻修率。

4) 腓骨长肌腱(Peroneus longus tendon, PLT)

腓骨长肌位置表浅, 显露或切取比较方便, 具有足够的长度和强度, 其极限负荷、抗拉强度等各项生物力学指标均远优于正常 ACL [38]。Angthong 等[38]采用离体标本生物力学测试, 发现用 PLT 重建 ACL, 对足踝术前和术后生物力学没有明显差异, 提示 PLT 是一种合适的 ACL 重建替代移植材料。Rhatomy 等[39]研究表明, 使用自体 PLT 重建 ACL, 能够获得与腘绳肌腱相当的疗效。综上所述, 解剖学、生物力学和临床研究表明, 取 PLT 对供腱区不会造成严重影响, PLT 可作为 ACL 重建的备选或替代材料。Bi 等[40]通过对采用自体半腱肌或 PLT 行 ACL 重建的患者进行了为期 2 年的随访, 发现采用 PLT 重建 ACL 的患者在膝关节稳定性、供体部位恢复、移植物强度等方面预后良好。马辉等[41]人对 17 例行自体 PLT 进行 ACL 重建术的患者进行随访, 发现术后所有受试者均恢复至 ACL 损伤前的运动能力, 没有出现任何不良反应, 而且术后膝关节的稳定性也得到了极大的改善, 说明 PLT 作为移植物疗效显著, 副作用小。因此, 采用自体 PLT 进行 ACL 重建术, 在治疗 ACL 损伤方面具有显著优势, 术后患者的膝关节稳定性和功能评分均达到理想水平, 而且不会对供体的踝关节造成任何损伤。

5) 同种异体移植物

同种异体移植物是一种相对常见的移植物选择, 1983 年 Webster 首次报道了冻干同种异体肌腱重建 ACL 的动物实验, 之后应用冻干异体移植物重建人膝关节交叉韧带, 进行了临床应用研究, 认为同种异体肌腱移植物的优点是无供区损伤及取材部位并发症, 特别适合于多发韧带损伤、韧带重建翻修手术自体肌腱移植材料不足、因肢体膝关节特殊原因不能取自体肌腱或拒绝取自体肌腱者, 年龄较大且活动量小、对膝关节运动功能要求不高的患者[42]。但是同种异体肌腱移植物有一些缺点, 如人类免疫缺陷病毒(HIV)、乙型肝炎病毒(HBV)等感染与传播、免疫排斥反应、肌腱爬行替代重塑及生物转化缓慢和容易发生韧带松弛, 费用较高等[43]。采用异体肌腱移植物重建 ACL, 可根据手术需要选择合适的移植物。

6.2.2. 移植物的放置

移植物放置的位置对 ACL 重建后的膝关节功能有重要影响。在膝关节伸展过程中, 移植物张力过高可能导致术后不能完全屈曲, 进而可能导致移植物拉伸[44]。预防 PCL 撞击可通过 3 种不同的方式来实现: 拓宽股骨髁间窝宽度, 使 PCL 和股骨外侧髁之间的间隙超出移植物直径 1 mm, 通过将胫骨隧道与胫骨内侧关节线形成 60°~65°角, 使股骨隧道向侧壁下方移动, 有效降低 PCL 撞击的风险, 同时也确保了胫骨隧道的外侧边缘能够穿过胫骨的外侧嵴, 从而达到良好的治疗效果[44]。然而 Maak 等[45]人发现, 不管股骨隧道定位如何, 都不能避免移植物发生撞击, 而且发现定位在 AMB 时撞击是最明显, 而在印迹中心和后外内侧束, 撞击的概率显著减少。根据本研究的结果, 作者建议将股骨隧道的位置从传统的高位(AMB 位置)进行调整, 以便更好地达到印迹中心和 PLB 的位置。张春礼等[46]学者通过双源 CT 三维重建 ACL 移植重建后的移植物和骨隧道, 分析移植物撞击的情况, 结果显示, 撞击组与无撞击组骨隧道中心的位置不管是在胫骨侧, 还是股骨侧均无显著性差异。然而对于 ACL 损伤病史相对较长者, ACL 部分已吸收, 常存在髁间窝增生、狭窄, 因此, 即使骨隧道的位置精确定位, 仍有可能发生移植物受到碰撞的危险。因此, 术中应检查是否有骨质增生, 如果存在增生情况应予以适当切除。对于韧带张力的大小和最佳的膝关节屈曲角度目前没有共识。

6.2.3. ACL 单束与双束重建

在单束手术后, 10%至 30%的患者出现 ACL 重建后膝关节持续不稳定[44], 这导致单束重建的回归运动率仅为 60%至 70%。同时文献[47]报道显示, 有 10%~30%的 ACL 解剖单束重建的患者出现术后残余疼痛、活动不稳, 只有不到 60%的患者在功能上能够完全恢复。单束 ACL 重建虽然可以恢复膝关节前

后的稳定性,但会导致膝关节无法抵抗复合旋转载荷,且不具有正常的旋转运动学[44]。双束 ACL 重建能更好地抵抗施加在膝关节上的外力[48]。并且 ACL 进行双束重建后,其物理形态和功能可以更接近正常生理,因此许多术者热衷于改进 ACL 双束重建。周刚等[49]学者研究表明,选择双束重建 ACL 具有良好的中期疗效,并通过 MRI 复查证实所重建的双束大部分都能够长期健康存活,即使少部分患者出现所重建两束的部分缺失情况,本质上仍能维持良好的膝关节稳定性。虽然双束技术在恢复正常膝关节运动学方面更好,但也有一些缺点,手术难度大、重建失败的原因,可能是由于骨隧道定位困难及定位不正确。

6.2.4. 股骨隧道钻孔技术

制造股骨隧道有不同的技术。在 ACL 重建手术中,钻取股骨隧道常采取由外向内法和传统前内侧入路。国外有部分研究[50]表明,股骨隧道钻取的长度在关节镜下 ACL 重建术中与手术成功率有关。代册乙等[51]人证实,在关节镜下 ACL 重建术中,手术成功的几率与股骨隧道的钻取长度存在明显的关系。而高士基等[52]研究结果显示,由外向内法钻取股骨隧道和传统前内侧入路法钻取股骨隧道方式在关节镜下 ACL 重建术中,股骨隧道钻取的长度进行比较,差异无统计学意义。股骨隧道钻取的长度是否与钻取方法、手术成功与否有关,仍需进一步通过不同角度钻取隧道的大样本实验来证实。

从患者膝关节功能及本体感受来看,孙学斌等[53]学者发现,经过对比,外向内组和经前内侧入路组术后 IKDC 评分和 Lysholm 评分的差异均具有统计学意义,表明两种钻取股骨隧道的方法均能够获得良好的术后效果。然而,两组患者术后 IKDC 评分和 Lysholm 评分的差异并不显著,这表明在术后,两组患者的膝关节主观感觉和运动功能方面没有显著差异。谢育光等[54]等研究结构显示,由外向内法和经前内侧入路法的股骨隧道,两组术后 IKDC 评分以及 Lysholm 评分均高于术前,经过对两种股骨隧道钻取的方法的研究,结果表明,它们都能够达到良好的效果,而且在组间的比较中,这种差异没有显著性,因此可以推断出它们之间没有明显的区别。经过研究发现,由外向内入路的屈膝角度和进针的角度以及进针的方向对上述结果产生了显著的影响,但是目前尚不清楚这些影响的具体原因。

总之,ACL 损伤的治疗方式多种多样,应根据患者的自身情况、相关辅助检查的评估来决定适合患者的最佳治疗方式。一个国际 ACL 管理专家小组在 2019 年发表了关于 ACL 损伤管理的共识声明[11],他们一致同意:手术和非手术治疗都是可接受的治疗方案;对于希望恢复跳跃、交叉、旋转运动的患者,首选手术治疗;对于只希望恢复直线平面活动的患者,非手术治疗是一种不错的选择,但如果患者在日常生活中反复经历膝关节功能不稳定,则不太合适非手术治疗。

7. ACL 重建后康复

膝关节 ACL 损伤修复重建后,应早期进行康复训练,防止组织粘连、挛缩。康复方案的制订应遵循移植物愈合的组织学转归及生物力学特性,既不可过于激进,也不可过于保守[55],并且术前康复也是非常重要的,ACL 重建手术应该在炎症、水肿消退后,关节活动度基本恢复正常,肌肉功能及步态基本恢复正常后进行。另外,应该对患者进行康复教育,减轻患者对手术和康复的恐惧心理,熟悉术后康复的项目,为术后康复做好思想准备[56]。

然而以 ACL 重建后以时间间隔为中心的康复方案逐渐被标准的指南[57]所取代。ACL 重建后的首要关键标准之一是实现完全的被动和主动伸展膝关节。膝关节伸展丧失导致关节生物力学异常,进而导致关节软骨接触压力异常和股四头肌激活受抑制[58]。对于无股四头肌的患者延迟实现完全主动膝关节伸展至关重要,可以利用髌股关节活动来恢复髌骨的正常平移。

尽管在单纯 ACL 重建后重新开始负重的精确时间仍存在争议,但临床实践指南建议在允许的情况下,早期进行全面负重练习或术后立即负重[59]。许多研究未能证明使用术后膝关节支具有任何优势[60]。

并且股四头肌的激活和加强是 ACL 重建康复的主要重点。除了身体因素外,动机和自我效能等心理因素已被证明在 ACL 重建[61]后发挥重要作用。恢复运动的心理准备与恢复到损伤前的活动水平[62]有很强的相关性,这表明在康复[63]期间关注患者的心理状态是有益的。因此我们在 ACL 重建术后应该从多方面着手患者康复训练,包括康复动作的指导、心灵安慰及心理疗法的介入,以助于患者更好的康复。

中医药治疗在我国有着悠久的历史,作为一种非手术治疗方式,近年来在治疗 ACL 损伤上发展迅速。中医疗法主要在 ACL 重建术后的康复治疗中疗效显著,在降低 ACL 重建术后的反应性炎症、改善膝关节的功能方面具有独特优势[64]。研究人员樊继康等[65]人发现,在接受关节镜 ACL 手术后,通过使用中药治疗并加上针灸疗法以及康复训练,可以有效地改善患者的膝关节功能,此研究将 70 例 ACL 损伤患者随机分成 2 组,每组 35 例。研究发现,在早期接受中医治疗的情况下,试验组的膝关节功能评分、主动伸膝角度的改善情况、疼痛评分以及拉赫曼试验都比对照组更好。钟希伟等学者[66]经过针刺治疗 ACL 损伤重建术后的股四头肌萎缩,实验结果表明,尽管无法完全逆转肌肉萎缩,但可以显著改善膝关节活动功能,增加股四头肌肌量,缓解疼痛,且这种差异具有显著的统计学意义($P < 0.05$)。经过研究发现,将中医疗法与康复训练相结合,可以有效地改善 ACL 重建术后股四头肌萎缩的症状,这一发现值得在临床实践中推广应用。

8. 预防

在临床工作中,大多数患者提出 ACL 损伤应该如何预防。事实上 ACL 损伤完全预防是不可能的,但减少 ACL 损伤是可能的。鉴于绝大部分 ACL 损伤是非接触性或间接接触性损伤,也就意味着许多损伤是可以预防的[67] [68]。众所周知,与 ACL 损伤相关的神经肌肉和生物力学因素,如动态膝关节外翻负荷、平缓膝关节屈曲和同侧躯干倾斜[67] [68],是作为减轻 ACL 损伤计划中神经肌肉干预的目标[69]。神经肌肉训练计划,如 FIFA 11+,已被证明可以有效减少原发性 ACL 损伤,使用神经肌肉训练计划可使女性运动员中所有 ACL 损伤减少 50%,非接触式 ACL 损伤减少 67% [70],该计划的有效性与运动员的依从性和频率有关。减少继发性 ACL 损伤的策略很重要,ACL 重建后中后期康复的优化以神经肌肉功能为主,应从孤立的肌肉力量恢复开始,到完全的运动特异性修复[71]。一旦患者获得足够的力量(膝伸肌和屈肌等速运动缺陷 $< 20\%$),就应立即开始有针对性的神经肌肉训练计划[72] [73],在一定程度上可以降低 ACL 再损伤。

9. 结论

前交叉韧带损伤可致使患者膝关节功能减退,进一步出现软骨及半月板损伤,若治疗不及时可能出现骨性关节炎甚至丧失膝关节功能等,严重者甚至致残,不同程度上降低了患者的生活质量。在充分了解膝关节的解剖学和生物力学基础上,应用更新改进的手术方式,可以帮助患者恢复正常的膝关节功能,提高患者的生活质量。ACL 重建被作为 ACL 损伤最主要的治疗方式,但其有多种选择。移植物的选择及放置位置、进行单束还是双束重建、股骨隧道钻孔方式等,术者必须从患者的需求出发,综合考虑治疗方式的优缺点,做出最优化的选择,再结合术前及术后合理的康复计划,使得患者的膝关节功能得到最大程度上的恢复,以此提高患者的满意度。

基金项目

本文系云南省教育厅科学研究基金项目“富血小板血浆(PRP)治疗关节镜下前交叉韧带重建术后的临床疗效分析”编号为:2022Y849。

参考文献

- [1] Baek, G.H., Carlin, G.J., Vogrin, T.M., Woo, S.L. and Harner, C.D. (1998) Quantitative Analysis of Collagen Fibrils of Human Cruciate and Meniscomfemoral Ligaments. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, **357**, 205-211. <https://doi.org/10.1097/00003086-199812000-00026>
- [2] Duthon, V.B., Barea, C., Abrassart, S., Fasel, J.H., Fritschy, D. and Menetrey, J. (2006) Anatomy of the Anterior Cruciate Ligament. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, **14**, 204-213. <https://doi.org/10.1007/s00167-005-0679-9>
- [3] 王守安, 张胜昌, 钟震亚, 等. 膝交叉韧带的血供及其临床意义[J]. 中国临床解剖学杂志, 2009, 27(5): 516-519.
- [4] Sakane, M., Fox, R.J., Woo Glen, S.L.-Y., et al. (1997) *In Situ* Forces in the Anterior Cruciate Ligament and Its Bundles in Response to Anterior Tibial Loads. *Journal of Orthopaedic Research*, **15**, 285-293. <https://doi.org/10.1002/jor.1100150219>
- [5] Boden, B.P., Torg, J.S., Knowles, S.B. and Hewett, T.E. (2009) Video Analysis of Anterior Cruciate Ligament Injury: Abnormalities in Hip and Ankle Kinematics. *The American Journal of Sports Medicine*, **37**, 252-259. <https://doi.org/10.1177/0363546508328107>
- [6] Hewett, T.E., Myer, G.D. and Ford, K.R. (2005) Reducing Knee and Anterior Cruciate Ligament Injuries among Female Athletes: A Systematic Review of Neuromuscular Training Interventions. *The Journal of Knee Surgery*, **18**, 82-88. <https://doi.org/10.1055/s-0030-1248163>
- [7] Besier, T.F., Lloyd, D.G., Cochrane, J.L. and Ackland, T.R. (2001) External Loading of the Knee Joint during Running and Cutting Maneuvers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, **33**, 1168-1175. <https://doi.org/10.1097/00005768-200107000-00014>
- [8] Petersen, W. and Zantop, T. (2007) Anatomy of the Anterior Cruciate Ligament with Regard to Its Two Bundles. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, **454**, 35-47. <https://doi.org/10.1097/BLO.0b013e31802b4a59>
- [9] Uhorchak, J.M., Scoville, C.R., Williams, G.N., et al. (2003) Risk Factors Associated with Noncontact Injury of the Anterior Cruciate Ligament: A Prospective Four-Year Evaluation of 859 West Point Cadets. *The American Journal of Sports Medicine*, **3**, 831-842. <https://doi.org/10.1177/03635465030310061801>
- [10] Lin, L.J., Akpınar, B. and Meislin, R.J. (2020) Tibial Slope and Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Outcomes. *JBJS Reviews*, **8**, e0184. <https://doi.org/10.2106/JBJS.RVW.19.00184>
- [11] Diermeier, T., Rothrauff, B.B., Engebretsen, L., Lynch, A.D., Ayeni, O.R., Paterno, M.V., et al. (2020) Treatment after Anterior Cruciate Ligament Injury: Panther Symposium ACL Treatment Consensus Group. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, **28**, 2390-2402. <https://doi.org/10.1007/s00167-020-06012-6>
- [12] Sherman, M.F., Warren, R.F., Marshall, J.L. and Savatsky, G.J. (1988) A Clinical and Radiographical Analysis of 127 Anterior Cruciate Insufficient Knees. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, **227**, 229-237. <https://doi.org/10.1097/00003086-198802000-00027>
- [13] 王心怡. MRI 在膝关节前交叉韧带撕裂的应用价值[J]. 影像研究与医学应用, 2020, 4(10): 29-30.
- [14] Takeuchi, S., Rothrauff, B.B., Taguchi, M., Kanto, R., Onishi, K. and Fu, F.H. (2021) *In Situ* Cross-Sectional Area of the Quadriceps Tendon Using Preoperative Magnetic Resonance Imaging Significantly Correlates with the Intraoperative Diameter of the Quadriceps Tendon Autograft. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, **29**, 742-749. <https://doi.org/10.1007/s00167-020-05993-8>
- [15] Sarimo, J., Rantanen, J., Heikkilä, J., et al. (2002) Acute Traumatic Hemarthrosis of the Knee. Is Routine Arthroscopic Examination Necessary? *Scandinavian Journal of Surgery*, **91**, 361-364. <https://doi.org/10.1177/145749690209100410>
- [16] Monk, A.P., Davies, L.J., Hopewell, S., et al. (2016) Surgical versus Conservative Interventions for Treating Anterior Cruciate Ligament Injuries. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, No. 4, Article No. CD011166. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD011166.pub2>
- [17] Nawasreh, Z., Logerstedt, D., Marmon, A. and Snyder-Mackler, L. (2019) Clinical and Biomechanical Efficacies of Mechanical Perturbation Training after Anterior Cruciate Ligament Rupture. *Journal of Sport Rehabilitation*, **28**, 877-886. <https://doi.org/10.1123/jsr.2017-0363>
- [18] Ramkumar, P.N., Haeberle, H.S., Ramanathan, D., et al. (2019) Remote Patient Monitoring Using Mobile Health for Total Knee Arthroplasty: Validation of a Wearable and Machine Learningbased Surveillance Platform. *The Journal of Arthroplasty*, **34**, 2253-2259. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2019.05.021>
- [19] Fitzgerald, G.K., Axe, M.J. and Snyder-Mackler, L. (2000) The Efficacy of Perturbation Training in Nonoperative Anterior Cruciate Ligament Rehabilitation Programs for Physically Active Individuals. *Physical Therapy*, **80**, 128-151. <https://doi.org/10.1093/ptj/80.2.128>
- [20] Sonnery-Cottet, B. and Colombet, P. (2016) Partial Tears of the Anterior Cruciate Ligament. *Orthopaedics and Trau-*

- matology: Surgery and Research*, **102**, S59-S67. <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2015.06.032>
- [21] Seijas, R., Ares, O., Cusco, X., Alvarez, P., Steinbacher, G. and Cugat, R. (2014) Partial Anterior Cruciate Ligament Tears Treated with Intra-ligamentary Plasma Rich in Growth Factors. *World Journal of Orthopedics*, **5**, 373-378. <https://doi.org/10.5312/wjo.v5.i3.373>
- [22] Agel, J., Arendt, E.A. and Bershadsky, B. (2005) Anterior Cruciate Ligament Injury in National Collegiate Athletic Association Basketball and Soccer: A 13-Year Review. *The American Journal of Sports Medicine*, **33**, 524-530. <https://doi.org/10.1177/0363546504269937>
- [23] Koch, M., Matteo, B.D., Eichhorn, J., et al. (2018) Intra-Ligamentary Autologous Conditioned Plasma and Healing Response to Treat Partial ACL Ruptures. *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery*, **138**, 675-683. <https://doi.org/10.1007/s00402-018-2885-1>
- [24] Musahl, V. and Karlsson, J. (2019) Anterior Cruciate Ligament Tear. *New England Journal of Medicine*, **380**, 2341-2348. <https://doi.org/10.1056/NEJMcpl805931>
- [25] Widuchowski, W., Widuchowska, M., Ko czy, B., et al. (2012) Femoral Press-Fit Fixation in ACL Reconstruction Using Bone-Patellar Tendon-Bone Autograft: Results at 15 Years Follow-Up. *BMC Musculoskeletal Disorders*, **13**, Article No. 115. <https://doi.org/10.1186/1471-2474-13-115>
- [26] Persson, A., Fjeldsgaard, K., Gjertsen, J.E., Kjellsen, A.B., Engebretsen, L., Hole, R.M., et al. (2014) Increased Risk of Revision with Hamstring Tendon Grafts Compared with Patellar Tendon Grafts after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Study of 12,643 Patients from the Norwegian Cruciate Ligament Registry, 2004-2012. *The American Journal of Sports Medicine*, **42**, 285-291. <https://doi.org/10.1177/0363546513511419>
- [27] Busam, M.L., Provencher, M.T. and Bach Jr., B.R. (2008) Complications of Anterior Cruciate Ligament Reconstruction with Bone-Patellar Tendon-Bone Constructs: Care and Prevention. *The American Journal of Sports Medicine*, **36**, 379-394. <https://doi.org/10.1177/0363546507313498>
- [28] Slone, H.S., Romine, S.E., Premkumar, A. and Xerogeanes, J.W. (2015) Quadriceps Tendon Autograft for Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Comprehensive Review of Current Literature and Systematic Review of Clinical Results. *Arthroscopy*, **31**, 541-554. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2014.11.010>
- [29] Hunnicutt, J.L., Gregory, C.M., McLeod, M.M., et al. (2019) Quadriceps Recovery after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction with Quadriceps Tendon versus Patellar Tendon Autografts. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, **7**, Article ID: 2325967119839786. <https://doi.org/10.1177/2325967119839786>
- [30] Lee, J.K., Lee, S. and Lee, M.C. (2016) Outcomes of Anatomic Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Bone-Quadriceps Tendon Graft versus Double-Bundle Hamstring Tendon Graft. *The American Journal of Sports Medicine*, **44**, 2323-2329. <https://doi.org/10.1177/0363546516650666>
- [31] Kim, S.J., Kumar, P. and Oh, K.S. (2009) Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Autogenous Quadriceps Tendon-Bone Compared with Bone-Patellar Tendon-Bone Grafts at 2-Year Follow-up. *Arthroscopy*, **25**, 137-144. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2008.09.014>
- [32] Arnold, M.P., Calcei, J.G., Vogel, N., Magnussen, R.A., Clatworthy, M., Spalding, T., et al. (2021) ACL Study Group Survey Reveals the Evolution of Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Graft Choice over the Past Three Decades. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, **29**, 3871-3876. <https://doi.org/10.1007/s00167-021-06443-9>
- [33] Terauchi, R., Arai, Y., Hara, K., et al. (2016) Magnetic Resonance Angiography Evaluation of the Bone Tunnel and Graft Following ACL Reconstruction with a Hamstring Tendon Autograft. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, **24**, 169-175. <https://doi.org/10.1007/s00167-014-3358-x>
- [34] Li, G., Papannagari, R., Defrate, L.E., et al. (2006) Comparison of the ACL and ACL Graft Forces before and after ACL Reconstruction: An in-Vitro Robotic Investigation. *Acta Orthopaedica*, **77**, 267-274. <https://doi.org/10.1080/17453670610046019>
- [35] 蒋钦, 陈志伟. 关节镜下自体腘绳肌肌腱重建前交叉韧带术后并发症研究进展[J]. 国际骨科学杂志, 2018, 39(6): 349-352.
- [36] Salem, H.S., Varzhapetyan, V., Patel, N., Dodson, C.C., Tjoumakaris, F.P. and Freedman, K.B. (2019) Anterior Cruciate Ligament Reconstruction in Young Female Athletes: Patellar versus Hamstring Tendon Autografts. *The American Journal of Sports Medicine*, **47**, 2086-2092. <https://doi.org/10.1177/0363546519854762>
- [37] Snaebjörnsson, T., Hamrin Senorski, E., Ayeni, O.R., Alentorn-Geli, E., Krupic, F., Norberg, F., et al. (2017) Graft Diameter as a Predictor for Revision Anterior Cruciate Ligament Reconstruction and KOOS and EQ-5D Values: A Cohort Study from the Swedish National Knee Ligament Register Based on 2240 Patients. *The American Journal of Sports Medicine*, **45**, 2092-2097. <https://doi.org/10.1177/0363546517704177>
- [38] Anghong, C., Chernchujit, B., Apivatgaroon, A., et al. (2015) The Anterior Cruciate Ligament Reconstruction with the Peroneus Longus Tendon: A Biomechanical and Clinical Evaluation of the Donor Ankle Morbidity. *Journal of the Medical Association of Thailand*, **98**, 555-560.

- [39] Rhatomy, S., Hartoko, L., Setyawan, R., *et al.* (2020) Single Bundle ACL Reconstruction with Peroneus Longus Tendon Graft: 2-Years Follow-up. *Journal of Clinical Orthopaedics and Trauma*, **11**, S332-S336. <https://doi.org/10.1016/j.jcot.2019.09.004>
- [40] Bi, M., Zhao, C., Zhang, S., *et al.* (2018) All-Inside Single-Bundle Reconstruction of the Anterior Cruciate Ligament with the Anterior Half of the Peroneus Longus Tendon Compared to the Semitendinosus Tendon: A Two-Year Follow-up Study. *The Journal of Knee Surgery*, **31**, 1022-1030. <https://doi.org/10.1055/s-0038-1627466>
- [41] 马辉, 王国栋, 张大海, 等. 取自体腓骨长肌腱行膝关节镜下前交叉韧带重建的效果观察[J]. 中国临床实用医学, 2020, 11(6): 53-55. <https://doi.org/10.3760/cma.j.cn115570-20200708.00958>
- [42] Mariscalco, M.W., Magnussen, R.A., Mehta, D., *et al.* (2014) Autograft versus Nonirradiated Allograft Tissue for Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review. *The American Journal of Sports Medicine*, **42**, 492-499. <https://doi.org/10.1177/0363546513497566>
- [43] 王孟, 杨国夫. 应用同种异体肌腱重建前交叉韧带研究进展[J]. 医学综述, 2017, 23(15): 3032-3035.
- [44] Prodromos, C.C., Fu, F.H., Howell, S.M., Johnson, D.H. and Lawhorn, K. (2008) Controversies in Soft-Tissue Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Grafts, Bundles, Tunnels, Fixation, and Harvest. *Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*, **16**, 376-384. <https://doi.org/10.5435/00124635-200807000-00003>
- [45] Maak, T.G., Bedi, A., Raphael, B.S., *et al.* (2011) Effect of Femoral Socket Position on Graft Impingement after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *The American Journal of Sports Medicine*, **39**, 1018-1023. <https://doi.org/10.1177/0363546510395477>
- [46] 张春礼, 徐虎, 王迎春, 等. 前十字韧带移植重建后移植物撞击新类型[J]. 中华骨科杂志, 2015, 35(4): 380-386.
- [47] Devgan, A., Singh, A., Gogna, P., *et al.* (2015) Arthroscopic Anatomical Double Bundle Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Prospective Longitudinal Study. *Indian Journal of Orthopaedics*, **49**, 136-142. <https://doi.org/10.4103/0019-5413.152406>
- [48] Nishimoto, K., Kuroda, R., Mizuno, K., *et al.* (2009) Analysis of the Graft Bending Angle at the Femoral Tunnel Aperture in Anatomic Double Bundle Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Comparison of the Transtibial and the Far Anteromedial Portal Technique. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, **17**, 270-276. <https://doi.org/10.1007/s00167-008-0680-1>
- [49] 周钢, 林坚平, 王广积, 等. 关节镜下双束解剖重建前交叉韧带中期疗效观察[J]. 中华创伤骨科杂志, 2018, 20(1): 80-84. <https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.1671-7600.2018.01.015>
- [50] Basdekis, G., Abisafi, C. and Christel, P. (2009) Effect of Knee Flexion Angle on Length and Orientation of Posterolateral Femoral Tunnel Drilled through Anteromedial Portal during Anatomic Doublebundle Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Arthroscopy*, **25**, 1108-1114. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2009.05.018>
- [51] 代朋乙, 黄昌林. 关节镜下一期修复重建膝关节多发韧带损伤的疗效观察[J]. 解放军医学杂志, 2019, 44(1): 57-62.
- [52] 高士基, 刘宁. 通过三入路技术建立股骨骨道的关节镜下前十字韧带重建术[J]. 中华骨科杂志, 2018, 38(23): 1444-1450.
- [53] 孙学斌, 岐飞, 曹力. 关节镜下不同股骨隧道钻取方式前交叉韧带重建的短期疗效研究[J]. 中国内镜杂志, 2020, 26(5): 55-60.
- [54] 谢育光, 李望平, 谢和胤. 关节镜下前交叉韧带重建术不同股骨隧道钻取方式的短期疗效研究[J]. 中国医药科学, 2021, 11(5): 217-219.
- [55] Biggs, A., Jenkins, W.L., Urch, S.E. and Shelbourne, K.D. (2009) Rehabilitation for Patients Following ACL Reconstruction: A Knee Symmetry Model. *North American Journal of Sports Physical Therapy: NAJSPT*, **4**, 2-12.
- [56] Laskowski, E.R. (2014) ACL Injury and Rehabilitation. *Current Physical Medicine and Rehabilitation Reports*, **2**, 35-40. <https://doi.org/10.1007/s40141-013-0036-8>
- [57] Cavanaugh, J.T. and Powers, M. (2017) ACL Rehabilitation Progression: Where Are We Now? *Current Reviews in Musculoskeletal Medicine*, **10**, 289-296. <https://doi.org/10.1007/s12178-017-9426-3>
- [58] Shelbourne, K.D. and Gray, T. (2009) Minimum 10-Year Results after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: How the Loss of Normal Knee Motion Compounds other Factors Related to the Development of Osteoarthritis after Surgery. *The American Journal of Sports Medicine*, **37**, 471-480. <https://doi.org/10.1177/0363546508326709>
- [59] Logerstedt, D.S., Scalzitti, D., Risberg, M.A., Engebretsen, L., Webster, K.E., Feller, J., *et al.* (2017) Knee Stability and Movement Coordination Impairments: Knee Ligament Sprain Revision 2017. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, **47**, A1-A47. <https://doi.org/10.2519/jospt.2017.0303>
- [60] Mayr, H.O., Hochrein, A., Hein, W., Hube, R. and Bernstein, A. (2010) Rehabilitation Results Following Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Using a Hard Brace Compared to a Fluid-Filled Soft Brace. *Knee*, **17**, 119-126.

- <https://doi.org/10.1016/j.knee.2009.07.002>
- [61] Christino, M.A., Fantry, A.J. and Vopat, B. G. (2015) Psychological Aspects of Recovery Following Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*, **23**, 501-509. <https://doi.org/10.5435/JAAOS-D-14-00173>
- [62] Arderm, C.L., Österberg, A., Tagesson, S., Gauffin, H., Webster, K.E. and Kvist, J. (2014) The Impact of Psychological Readiness to Return to Sport and Recreational Activities after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *British Journal of Sports Medicine*, **48**, 1613-1619. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2014-093842>
- [63] Arderm, C.L., Taylor, N.F., Feller, J.A., Whitehead, T.S. and Webster, K.E. (2013) Psychological Responses Matter in Returning to Preinjury Level of Sport after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Surgery. *The American Journal of Sports Medicine*, **41**, 1549-1558. <https://doi.org/10.1177/0363546513489284>
- [64] 闵重函, 周瑛, 荆琳, 等. 手法加中药熏蒸对前交叉韧带断裂重建术后膝关节功能康复的病例对照研究[J]. 中国骨伤, 2016, 29(5): 397-403.
- [65] 樊继康, 盖引莉, 华睿, 崔晶. 中医配合锻炼在关节镜前交叉韧带重建术后的应用[J]. 中国中西医结合外科杂志, 2019, 25(1): 3-8.
- [66] 钟希伟. 针刺治疗前交叉韧带重建术后股四头肌萎缩的临床疗效观察[D]: [硕士学位论文]. 福州: 福建中医药大学, 2019.
- [67] Della Villa, F., Buckthorpe, M., Grassi, A., Nabiuzzi, A., Tosarelli, F., Zaffagnini, S., *et al.* (2020) Systematic Video Analysis of ACL Injuries in Professional Male Football (Soccer): Injury Mechanisms, Situational Patterns and Biomechanics Study on 134 Consecutive Cases. *British Journal of Sports Medicine*, **54**, 1423-1432. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2019-101247>
- [68] Lucarno, S., Zago, M., Buckthorpe, M., Grassi, A., Tosarelli, F., Smith, R. and Della Villa, F. (2021) Systematic Video Analysis of Anterior Cruciate Ligament Injuries in Professional Female Soccer Players. *The American Journal of Sports Medicine*, **49**, 1794-1802. <https://doi.org/10.1177/03635465211008169>
- [69] Hewett, T.E., Ford, K.R., Hoogenboom, B.J. and Myer, G.D. (2010) Understanding and Preventing ACL Injuries: Current Biomechanical and Epidemiologic Considerations—Update 2010. *North American Journal of Sports Physical Therapy: NAJSPT*, **5**, 234-251.
- [70] Webster, K.E. and Hewett, T.E. (2018) Meta-Analysis of Meta-Analyses of Anterior Cruciate Ligament Injury Reduction Training Programs. *Journal of Orthopaedic Research*, **36**, 2696-2708. <https://doi.org/10.1002/jor.24043>
- [71] Buckthorpe, M. and Della Villa, F. (2020) Optimising the ‘Mid-Stage’ Training and Testing Process after ACL Reconstruction. *Sports Medicine*, **50**, 657-678. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01222-6>
- [72] Buckthorpe, M., Della Villa, F., Della Villa, S. and Roi, G.S. (2019) On-Field Rehabilitation Part 1: 4 Pillars of High-Quality On-Field Rehabilitation Are Restoring Movement Quality, Physical Conditioning, Restoring Sport-Specific Skills, and Progressively Developing Chronic Training Load. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, **49**, 565-569. <https://doi.org/10.2519/jospt.2019.8954>
- [73] Buckthorpe, M., Della Villa, F., Della Villa, S. and Roi, G.S. (2019) Onfield Rehabilitation Part 2: A 5-Stage Program for the Soccer Player Focused on Linear Movements, Multidirectional Movements, Soccer-Specific Skills, Soccer-Specific Movements, and Modified Practice. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, **49**, 570-575. <https://doi.org/10.2519/jospt.2019.8952>