·临床研究·

高运动需求者前交叉韧带重建术后不同时期的肌肉力量、本体感觉和足底触觉与重返运动的相关性研究*

马晓丽[1] 马小远[2] 宋祺鹏[3,4]

摘要

目的:前交叉韧带重建术(anterior cruciate ligament reconstruction, ACLR)是前交叉韧带损伤的常见手术,患者术后重返运动情况与不同身体功能的关系未有定论。本研究旨在明确高运动需求者ACLR术后不同时期的肌肉力量、本体感觉和足底触觉与重返运动之间的关系,以期为ACLR精准康复方案的制订提供依据。

方法:本研究共招募了42例ACLR术后6个月以上的高运动需求者,根据术后时间,将20例纳入6—11个月组,22例纳入12—18个月组。测试了2组患者的肌肉力量、本体感觉和足底触觉,以及重返运动(Knee Santy Athletic Return to Sports, K-STARTS)总分,其包含心理得分(ACL Return to Sports after Injury scale, ACL-RSI)和功能得分。使用偏相关分析探索了指标间的相关性。

结果:2组患者屈膝力量与K-STARTS总分和ACL-RSI得分显著相关,伸膝力量与K-STARTS总分和功能得分显著相关;45°的本体感觉与K-STARTS总分和功能得分显著相关;6—11个月组患者的第五跖骨的足底触觉与K-STARTS总分和功能得分显著相关,而在12—18个月组患者中其仅与功能得分显著相关。

结论:高运动需求者ACLR术后的肌肉力量和本体感觉与K-STARTS总分、ACL-RSI得分和功能得分有关,足底触觉仅在术后6—11个月与K-STARTS总分有关,在术后12—18个月与K-STARTS总分无关。

关键词 前交叉韧带重建;重返运动;足底触觉;本体感觉

中图分类号:G804.62 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-1242(2023)-09-1207-07

Correlations of muscle strength, proprioception and plantar tactile sensation to return-to-sport readiness in patients with high sports demands at different periods after anterior cruciate ligament reconstruction/ MA Xiaoli, MA Xiaoyuan, SONG Qipeng//Chinese Journal of Rehabilitation Medicine, 2023, 38(9): 1207—1213

Abstract

Objective: Anterior cruciate ligament reconstruction (ACLR) is the most common surgery for ACL injuries, and the relationships between patients' return to sports (RTS) and different physical functions are inconclusive. This study aimed to investigate the correlations between muscle strength, proprioception, plantar tactile sensation and return to sport readiness at different periods after ACLR among individuals with high sports demands, to provide a basis for the development of accurate rehabilitation programs after ACLR.

Method: A total of 42 participants with high sport demands and received ACLR for at least 6 months were enrolled in this study, and 20 of them were included in the 6—11 month and 22 in the 12—18 month groups according to the postoperative time. The muscle strength, proprioception and cutaneous sensation were tested. RTS readiness was measured with the Knee Santy Athletic Return to Sport (K-STARTS) test, which consists of a psychological scale (Anterior Cruciate Ligament Return to Sports after Injury scale [ACL-RSI])

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2023.09.005

*基金项目:国家自然科学基金项目(12102235)

1 山东体育学院研究生教育学院,山东省济南市,250100; 2 山东大学齐鲁医院骨科-关节和运动医学科; 3 山东体育学院运动与健康学院; 4 通讯作者

第一作者简介:马晓丽,女,硕士研究生;收稿日期:2022-06-17

and seven functional tests. Partial correlations were used to determine their correlations.

Result: The knee flexion torque was significantly correlated with K-STARTS total and ACL-RSI scores, and knee extension torque was significantly correlated with K-STARTS total and functional scores; Proprioception at 45° was significantly correlated with K-STARTS total and functional scores. In the 6—11 month group, cutaneous sensation of the fifth metatarsal head was significantly correlated with the K-STARTS total and functional scores, while in the 12—18 month group it was significantly correlated with functional score.

Conclusion: The muscle strength and proprioception in high sport demands after ACLR were correlated with K-STARTS total score, ACL-RSI score and functional score, and cutaneous sensation was only associated with K-STARTS total score at 6-11 months postoperatively and not with K-STARTS total scores at 12-18 months after ACLR.

Author's address Shandong Sport University, Jinan, Shandong, 250100

Key word anterior cruciate ligament reconstruction; return to sport; cutaneous sensation; proprioception

前交叉韧带(anterior cruciate ligament, ACL)是膝关节最重要的韧带之一,能够限制胫骨向前移动,维持膝关节的稳定,使人们完成旋转、跳跃和变向等动作[1—2]。ACL损伤是非接触性运动中常见和具有破坏性的膝关节损伤之一[3]。前交叉韧带重建术(anterior cruciate ligament reconstruction, ACLR)是恢复膝关节功能结构的有效治疗手段[4],其主要目标是恢复膝关节的机械稳定性。

膝关节桑迪运动恢复测试(Knee Santy Athletic Return to Sports, K-STARTS)具有高完成率(100%)和高重测信度(组内相关系数0.87;变异系数7.8%)[5],是衡量患者在ACLR术后重返运动(return to sport, RTS)准备程度的客观标准[6]。K-STARTS测试由心理和功能测试2部分组成。心理测试由前交叉韧带损伤后重返运动(ACL Return to Sports after Injury scale, ACL-RSI)量表测量,该量表是评估ACL损伤和重建术后重返运动心理准备情况的特定工具,具有良好的信度和效度[7]。功能测试包括跳越和变向等7项测试,能够对膝关节功能进行全面评估,反映下肢的整体运动表现[8]。

充分的肌肉力量和良好的躯体感觉是维持膝关节稳定和功能恢复的主要因素[9]。ACL重建术后会出现肌力下降、躯体感觉受损等功能障碍[10]。当运动员做剧烈运动时,膝关节周围肌肉共同工作,以保持膝关节的稳定性,并帮助运动员安全地重返赛场[11]。躯体感觉系统的主要组成部分包括本体感觉和足底触觉[12],两者可传递关节位置、运动状态、足底受力等神经肌肉控制信息[13—14],对维持站立姿势的平衡起着重要作用[15]。

目前,肌肉力量、本体感觉和足底触觉与RTS准备情况的相关性仍不明确。有研究认为,肌肉力量与功能得分存在相关性[16],而肌肉力量与ACL-RSI测量的心理准备程度和K-STARTS测量的整体重返运动准备程度的相关性尚未得到证实。有研究认为本体感觉与功能得分相关[17],而也有研究认为两者无关[18];几乎没有研究开展过本体感觉与ACL-RSI得分的相关性研究,以及足底触觉与RTS准备程度的相关性研究。此外,据我们所知,尚无任何研究针对术后不同时期的上述相关性进行过探讨。如能明确上述关系,可为ACL损伤患者制定个性化针对性的康复方案,帮助他们选择合理的重返运动时机,更快、更好、更安全地重返赛场。

大量既往的ACL损伤相关研究关注职业运动员,而除职业运动员之外的普通人群中存在一定比例的高运动需求者,他们具有较高的运动水平[19],规律的运动时间[20],且有重返运动的需求[21]。这一重要但研究不足的群体被认为是发生ACL损伤风险最大的群体之一[22],自我保护不到位是其发生运动损伤的主要因素之一[23]。至今,很少有文献评估高运动需求者的功能表现和重返运动率,也没有文献研究过高运动需求者的重返运动及功能表现与肌肉力量及感觉灵敏度之间的关系。ACLR术后有高运动需求的患者普遍关心的问题是术后是否还能参加运动,以及何时能重返运动[19]。对他们来说,完成术后康复并回到伤前的运动水平对其保持合理的运动习惯和良好的身体素质具有重要意义。

本研究旨在探究高运动需求者ACLR术后的肌肉力量、本体感觉和足底触觉与RTS变量的关系,

以期为ACLR患者重返运动提供科学有效的康复计划。我们假设,ACLR后的肌肉力量、本体感觉和足底触觉与K-STARTS总分、ACL-RSI得分和功能得分均存在显著的相关关系。

1 资料与方法

1.1 一般资料

本研究通过门诊、电话、邮件等方式询问了415例曾在山东大学齐鲁医院接受ACLR的高运动需求者,询问其RTS情况及接受测试的意愿。42例符合本研究的纳入排除标准并愿意参与测试。

纳入标准:①年龄18—40岁,男女不限者;②受伤前有规律地参与运动并有意愿恢复之前的体育活动水平[21]者;③伤前每周进行3次或3次以上,每次至少30min且达到中等强度以上的体育活动,Tegner运动水平评分≥5分者[19—20];④单侧ACL断裂,通过关节镜进行ACL重建术者;⑤移植物均选用患侧膝关节半腱肌和股薄肌肌腱,合并半月板损伤,行半月板修补或成形术者;⑥ACL重建术后至少6个月者。

排除标准:①3个月内有相关的膝关节韧带损伤者;②有既往膝关节手术史者;③存在临床相关的心血管病史者;④合并临床相关神经肌肉系统疾病,严重平衡功能障碍者;⑤合并其他脏器疾病不能耐受者;⑥存在功能性踝关节不稳者。根据术后不同时期,将患者中的20例纳入术后6—11月组[男性15例,女性5例,年龄(24.1±4.1)岁,身高(184.6±9.8)cm,体重(82.2±6.6)kg,术后时间(8.2±2.1)月],22例纳入术后12—18月组[男性15例,女性7例,年龄(30.5±6.1)岁,身高(180.1±7.3)cm,体重(78.3±9.5)kg,术后时间(15.0±2.2)月]。

1.2 测试流程

受试者签署了知情同意书,并完成一系列主观功能量表,包括国际膝关节文献委员会评分(International Knee Documentation Committee questionnaire, IKDC)、Tegner膝关节运动水平评分(Tegner athletic ability evaluation score)量表和视觉模拟疼痛(Visual Analogue Scale,VAS)量表。对所有符合条件的受试者进行了K-STARTS、本体感觉、足底触觉和肌肉力量测试。

1.3 RTS率

RTS率是指接受ACLR手术的患者中重返运动人数的占比,用百分比表示[24]。重返运动人数被定义为:重返伤前同一运动水平的人数,即不仅重返到伤前的同一运动项目中,同时还应达到与术前相同的运动频率、强度和表现[19]。

1.4 K-STARTS测试

K-STARTS测试由ACL-RSI量表和7项功能测试组成。ACL-RSI量表包括12个问题,评估与ACL损伤后重返运动相关的3种心理反应,包括情绪、表现信心和损伤风险。采用视觉模拟评分法对每项任务的恐惧程度进行评分。得分在76%或以上的得3分,得分在64%—75%的得2分,得分在56%—63%的得1分,得分在55%以下的得0分。7项功能测试分为单腿落地、动态膝外翻、单腿跳、单腿三级跳、侧向跳、单腿交叉横跳和变向测试。

功能测试的评分标准:①单腿着地:要求患者单腿着陆维持3s,用单腿着地定性评估(Qualitative Assessment of Single-leg Landing, QASLS)工具分析其手臂、躯干、骨盆、膝盖、大腿的运动策略,每存在一个不适当的动作得1分,最终累计0分、1分和2分的患者在该项中分别获得3分、2分和1分,无法完成动作时得0分。②动态膝外翻:观察在单腿着地任务中是否存在动态膝外翻,如存在,则扣3分。③4种跳越测试:包括单腿跳、单腿三级跳、侧向跳和单腿交叉横跳。使用肢体对称性指数评分,肢体对称性指数≥90%、80%—90%和≤80%时分别得3分、2分和1分,无法完成动作时得0分。④在变向测试中,患者沿着箭头的方向,绕着标记物以最快速度冲刺,平均时间≤12.5s得3分,12.5—13.5s得2分,>13.5s得1分,无法完成测试时得0分。共进行3次测试,测试之间休息1min。

K-STARTS总分越高,提示重返运动整体准备程度越好;ACL-RSI得分越高,提示心理准备程度越好;功能得分越高,提示功能准备程度越好。

1.5 本体感觉测试

采用被动关节角度重现法测试患者的本体感觉。患者在闭眼情况下自屈膝90º开始屈膝,分别在膝关节角度为15°、45°和75º时停留10s,记忆目标位置。在正式测试中,患者自屈膝90º开始屈膝,并在记忆目标位置中停留,记录目标角度和停留角度

的误差，选用误差的绝对值进行后续的统计分析。每个角度测试3次取平均值，误差的绝对值越小，提示本体感觉功能越好[25]。

1.6 足底触觉测试

采用Semmes-Weinstein压力触觉计评估足底敏感性，其由6根不同直径的单丝规格组成，规格分别为2.83、3.61、4.31、4.56、5.07和6.65。测试部位分别为大脚趾、第一跖骨、第五跖骨、足弓及足跟5个足底分区。测试在安静的环境中进行，所有患者处于闭眼仰卧状态。测试部位随机选择，按照由细到粗的顺序选取单丝。测试人员将单丝垂直抵触于足底测试区域，直到它们弯曲到90º（C形）并维持约1s，询问患者是否感受到触碰。患者每次感觉到触碰时，都要说“是”或者“否”并告知测试部位。每个区域进行5次测试，记录每个测试部分能感受到的最小触觉阈值。

1.7 肌肉力量测试

使用IsoMed 2000等速测力系统（德国D&R FERSTL公司）测量膝关节屈/伸力量，该系统具有良好的重测信度（ICC=0.77—0.98）[26]。患者坐在测试椅上，膝关节和髋关节屈曲角度为90°和85°，躯干、骨盆和大腿固定在测试椅上。调整测试椅使患者的股骨外侧髁与测力臂的旋转轴对齐，并将单垫固定在外踝上方2指宽处的小腿上。以60°/s的角速度测量患者的屈膝/伸膝力量最大值。每个方向共进行3次测试，测试之间休息至少2min。所测得的力量通过体重进行归一化处理。

1.8 统计学分析

采用SPSS 26.0进行统计学分析。采用Shapiro-Wilk检验所有结果变量的正态性。采用描述性分析展示各结果变量的平均值、标准差、最大值和最小值。在控制协变量（年龄、身高和体重）的情况下，使用偏相关分析RTS变量与肌肉力量、本体感觉及足底触觉之间的关系。相关系数（r）的阈值如下：0—0.1：无相关；0.1—0.3：弱相关；0.3—0.5：中度相关；>0.5：强相关[27]。

2 结果

在415例近5年在山东大学齐鲁医院接受ACLR手术的人群中，共有327例在本研究开始时（2022年3月）术后满2年（2017年3月—2019年3月接受手术）且接受了问卷调查，可用于计算术后2年内的RTS率。其中，有146例回归到了伤前的体育项目中，RTS率为44.6%。42例参与本研究测试。

Shapiro-Wilk测试显示，除ACL-RSI得分和足底触觉外，其余变量均呈正态分布。各变量的平均值、标准差、最大值和最小值见表1。

表1 各变量的描述性特征

	术后6—11个月（n=20）		术后12—18个月（n=22）	
	$\bar{x}\pm s$	取值范围（最大—最小）	$\bar{x}\pm s$	取值范围（最大—最小）
RTS变量				
K-START总分	10.38±3.99	2—16	11.26±2.60	7—16
ACL-RSI得分	1.52±0.98	0—3	1.61±0.72	1—3
功能得分	8.86±3.42	2—14	9.65±2.93	5—14
肌肉力量（Nm/kg）				
伸膝	0.70±0.48	0.17—1.75	1.07±0.52	0.18—1.82
屈膝	1.09±0.50	0.48—2.33	1.31±0.57	0.76—2.36
本体感觉（°）				
15°	3.23±2.22	0.40—8.20	3.03±2.41	0.30—10.00
45°	5.06±4.48	0.20—15.90	4.99±4.24	0.20—14.60
75°	9.14±4.44	1.10—18.00	6.82±5.25	0.30—17.00
足底触觉（单丝规格）				
大脚趾	3.60±0.41	2.83—4.31	3.72±0.42	2.83—4.31
第一跖骨	3.28±0.40	2.83—3.61	3.47±0.58	2.83—4.56
第五跖骨	3.38±0.40	2.83—4.31	3.88±0.35	3.61—4.31
足弓外侧	3.50±0.28	2.83—3.61	3.82±0.46	3.61—4.31
足跟	3.81±0.32	3.61—4.31	3.78±0.50	2.83—4.31

肌肉力量、本体感觉和足底触觉与RTS变量的关系如表2所示。在6—11月组，屈膝力量与K-STARTS总分（r=0.500，P=0.021）和ACL-RSI得分（r=0.519，P=0.010）显著相关，伸膝力量与K-STARTS总分（r=0.441，P=0.045）和功能得分（r=0.470，P=0.031）显著相关。45°的本体感觉与K-STARTS总分（r=－0.525，P=0.014）和功能得分（r=－0.585，P=0.001）显著相关。第五跖骨的足底触觉与K-STARTS总分（r=－0.496，P=0.025）和功能得分（r=－0.603，P=0.004）显著相关。在12—18月组，屈膝力量与K-STARTS总分（r=0.464，P=0.026）和ACL-RSI得分（r=0.447，P=0.046）显著相关，伸膝力量与K-STARTS总分（r=0.595，P=0.003）和功能得分（r=0.546，P=0.007）显著相关。45°的本体觉差值与K-STARTS总分（r=－0.514，P=0.012）和功能得分（r=－0.417，P=0.048）显著相关。第五跖骨的足底触觉与功能得分（r=－0.469，P=0.034）显著相关。

表2 肌肉力量、本体感觉和足底触觉与RTS变量的相关性分析 (r)

变量	6—11月组			12—18月组		
	K-STARTS总分	ACL-RSI得分	功能得分	K-STARTS总分	ACL-RSI得分	功能得分
肌力(Nm/kg)						
屈膝	0.500①	0.519①	0.357	0.464①	0.447①	0.343
伸膝	0.441①	0.163	0.470①	0.595①	0.075	0.546①
本体感觉(°)						
15°	-0.142	-0.234	-0.332	0.037	-0.092	-0.010
45°	-0.525①	-0.053	-0.585①	-0.514①	-0.155	-0.417①
75°	-0.157	-0.014	-0.100	-0.087	-0.332	-0.054
足底触觉(单丝规格)						
大脚趾	-0.319	-0.010	-0.365	-0.251	-0.271	-0.107
第一跖骨	-0.080	-0.160	-0.217	-0.090	-0.242	-0.029
第五跖骨	-0.496①	-0.406	-0.603①	-0.393	-0.210	-0.469①
足弓外侧	-0.363	-0.066	-0.380	-0.208	-0.034	-0.192
足跟	-0.395	-0.292	-0.342	-0.213	-0.194	-0.141

注:①显著相关($P<0.05$)。

3 讨论

本研究计算了山东大学齐鲁医院高运动需求者ACLR术后的RTS率,并探讨了肌肉力量、本体感觉和足底触觉与RTS准备情况的相关性。肌肉力量和本体感觉结果在2组不同术后时期人群中的结果具有较高的一致性。2组人群肌肉力量与K-STARTS总分、ACL-RSI得分和功能得分相关,本体感觉与K-STARTS总分和功能得分相关。足底触觉结果在2组人群中不一致,在6—11月组,足底触觉与K-STARTS总分和功能得分相关;在12—18月组,足底触觉仅与功能得分相关。

本研究中统计的高运动需求者ACLR术后的RTS率为44.6%,这一数字明显低于专业运动员中的比率。篮球、足球、滑雪、橄榄球、冰球及棒球专业运动员中的RTS率分别为78%[28],77%[29],87%[30],82%[31],97%[32]及88%[33],这一差异可能是由于专业运动员与业余爱好者的差异造成的。相较于业余爱好者,专业运动员拥有更高的RTS需求,且其康复条件相对更好。业余爱好者ACLR术后的低RTS率揭示了ACL损伤对大众人群运动习惯的严重影响,显示了ACLR术后精准康复方案的实际意义。

2组人群的膝关节肌肉力量均与K-STARTS总分、ACL-RSI得分和功能得分具有相关关系。有研究者认同肌肉力量与功能得分的相关性[34],这与本研究结果一致,但与另一项研究不一致[35]。矛盾的原因可能是力量测试中采用的角速度不同,以及功能测试中采用的测试项目不同。在Barber SD等[35]的研究中,力量测试的角速度为300°/s,而在本研究中为60°/s。此外,他们在功能测试中包含单脚垂直跳、单脚计时跳和2次往返跑,而本研究包括单腿跳、单腿三级跳、侧向跳、单腿交叉横跳。有研究指出,股四头肌和腘绳肌的力量不足会导致再次受伤的风险增高,并影响RTS的准备程度[16],我们的结果支持此观点。我们的结果还指出,伸膝力量与ACL-RSI得分显著相关。越来越多的证据支持心理障碍对ACLR后重返运动的影响[36],我们的结果进一步表明,增大膝关节肌肉力量可能会增加患者对RTS的信心。此外,股四头肌是伸直膝关节及维持膝关节功能性稳定的重要结构,加强力量训练有助于膝关节的保护[37]。因此,膝关节的肌肉力量是ACLR手术后RTS成功的关键因素之一。

2组人群的本体感觉与K-STARTS总分和功能得分具有相关关系。本体感觉是膝关节正常运动的必要条件,在维持膝关节的稳定中起到至关重要的作用[38]。当膝关节运动时,位于前交叉韧带的本体感受器向中枢神经系统传递关节位置和运动信息,通过反馈机制参与调节神经肌肉控制,协调控制关节动作[39],维持膝关节稳定[40]。良好的本体感觉功能有助于在运动过程中维持膝关节的稳定性,避免ACL的损伤,是ACL重建术后获得良好功能的主要影响因素[41]。有研究证明,前交叉韧带重建术后的患侧本体感觉下降,关节位置觉减退[42],这一过程的恢复时间较长[43]。我们的研究证实了本体感觉与RTS准备情况的关系,表明了本体感觉是重返运动的另一个关键因素。ACLR后康复计划的成功可能不仅取决于肌肉力量的恢复,也取决于本体感觉的

恢复。

2组人群足底触觉均与功能得分具有相关关系。触觉传入可以为中枢神经系统提供有关关节受力、身体重量转移以及肢体负荷等有价值的反馈信息[44],而作为与地面唯一接触的足底部位,其触觉信号可以提供地面特征、着地角度等关键信息[45],这些信息可能有利于患者在ACLR术后完成跳跃等功能性动作。在6—11月组人群中,足底触觉与K-STARTS总分有关,而在12—18月组中两者无关,这说明足底触觉在术后6—11月对RTS更有意义。这一发现可能与触觉和本体感觉的补偿机制有关。ACL损伤造成了本体感觉机械感受器数量减少,导致膝关节本体感觉功能减退,此时需要触觉的代偿[12]。而在术后12个月之后,随着本体感觉的逐步恢复,代偿的作用逐渐降低。这一结果可能意味着在本体感觉尚未恢复充分的情况下,足底触觉训练应被纳入ACLR康复方案。

本研究最大的局限性在于男女患者的数量差异较大。在42例患者中,女性数量为12例,占比仅为29%。因此,应慎重将本文结果应用于女性群体。此外,本研究所纳入人群为高运动需求者,年龄范围18—40岁,且多为城市社区人口,因此研究的结果仅适用于此类人群。

4 结论

ACLR术后,高运动需求者的肌肉力量和本体感觉与K-STARTS总分、ACL-RSI得分和功能得分有关,针对肌肉力量和本体感觉的康复手段应被纳入重返运动方案;足底触觉仅在6—11个月与K-STARTS总分有关,术后1年内的触觉康复可能具有促进重返运动的作用。

参考文献

[1] Renström PA. Eight clinical conundrums relating to anterior cruciate ligament (ACL) injury in sport: recent evidence and a personal reflection [J]. British Journal of Sports Medicine, 2013, 47(6): 367—372.

[2] Alentorn-Geli E, Myer GD, Silvers HJ, et al. Prevention of non-contact anterior cruciate ligament injuries in soccer players. Part 1: Mechanisms of injury and underlying risk factors [J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2009, 17 (7): 705—729.

[3] Dragoo JL, Braun HJ, Durham JL, et al. Incidence and risk factors for injuries to the anterior cruciate ligament in National Collegiate Athletic Association football: data from the 2004-2005 through 2008-2009 National Collegiate Athletic Association Injury Surveillance System [J]. Am J Sports Med, 2012, 40(5): 990—995.

[4] 闵伟. 运动员前交叉韧带重建后重返赛场研究进展 [J]. 武术研究, 2021, 6(5): 148—150.

[5] Franck F, Saithna A, Vieira TD, et al. Return to sport composite test after anterior cruciate ligament reconstruction (K-STARTS): Factors affecting return to sport test score in a retrospective analysis of 676 patients [J]. Sports Health, 2021, 13(4): 364—372.

[6] Blakeney WG, Ouanezar H, Rogowski I, et al. Validation of a composite test for assessment of readiness for return to sports after anterior cruciate ligament reconstruction: the K-STARTS test [J]. Sports Health, 2018, 10(6): 515—522.

[7] Webster KE, Feller JA, Lambros C. Development and preliminary validation of a scale to measure the psychological impact of returning to sport following anterior cruciate ligament reconstruction surgery [J]. Phys Ther Sport, 2008, 9 (1): 9—15.

[8] Wilke C, Grimm L, Hoffmann B, et al. Functional testing as guideline criteria for return to competition after ACL rupture in game sports[J]. Sportverletz Sportschaden, 2018, 32 (3): 171—186.

[9] Hui C, Salmon LJ, Kok A, et al. Fifteen-year outcome of endoscopic anterior cruciate ligament reconstruction with patellar tendon autograft for "isolated" anterior cruciate ligament tear [J]. Am J Sports Med, 2011, 39(1): 89—98.

[10] Hoch JM, Perkins WO, Hartman JR, et al. Somatosensory deficits in post-ACL reconstruction patients: A case-control study[J]. Muscle Nerve, 2017, 55(1): 5—8.

[11] Grindstaff TL, Hammill RR, Tuzson AE, et al. Neuromuscular control training programs and noncontact anterior cruciate ligament injury rates in female athletes: a numbers-needed-to-treat analysis [J]. J Athl Train, 2006, 41 (4): 450—456.

[12] Li L, Zhang S, Dobson J. The contribution of small and large sensory afferents to postural control in patients with peripheral neuropathy [J]. J Sport Health Sci, 2019, 8 (3): 218—227.

[13] Lord SR, Ward JA. Age-associated differences in sensorimotor function and balance in community dwelling women [J]. Age Ageing, 1994, 23(6): 452—460.

[14] Negahban H, Mazaheri M, Kingma I, et al. A systematic review of postural control during single-leg stance in patients with untreated anterior cruciate ligament injury [J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2014, 22 (7): 1491—1504.

[15] Cruz-Almeida Y, Black ML, Christou EA, et al. Site-specific differences in the association between plantar tactile perception and mobility function in older adults [J]. Front Aging Neurosci, 2014, 6: 68.

[16] Callaghan MJ, Oldham JA. Quadriceps atrophy: to what extent does it exist in patellofemoral pain syndrome? [J].

British Journal of Sports Medicine，2004,38(3):295—299.
[17] Katayama M，Higuchi H，Kimura M，et al. Proprioception and performance after anterior cruciate ligament rupture [J]. Int Orthop，2004，28(5)：278—281.
[18] Muaidi QI，Nicholson LL，Refshauge KM，et al. Effect of anterior cruciate ligament injury and reconstruction on proprioceptive acuity of knee rotation in the transverse plane[J]. Am J Sports Med，2009，37(8)：1618—1626.
[19] 程凯. 前交叉韧带自体腘绳肌腱重建术后重返运动相关因素分析[D]. 济南:山东大学，2021.
[20] 曾宗良. 南宁市城区夜跑爱好者运动参与的调查研究[D]. 南宁:广西民族大学，2022.
[21] Niederer D，Keller M，Achtnich A，et al. Effectiveness of a home-based re-injury prevention program on motor control，return to sport and recurrence rates after anterior cruciate ligament reconstruction：study protocol for a multicenter，single-blind，randomized controlled trial (PReP) [J]. Trials，2019，20(1)：495.
[22] Brzeszczyński F，Turnbull K，McLelland C，et al. Functional outcomes and return to sport following anterior cruciate ligament reconstruction in recreational athletes：A systematic review[J]. The Knee，2022，36：103—113.
[23] 刘雪峰. 运动引起前交叉韧带损伤情况的调查研究 [J]. 田径，2022(10)80—82.
[24] Lai CCH，Ardern CL，Feller JA，et al. Eighty-three per cent of elite athletes return to preinjury sport after anterior cruciate ligament reconstruction：a systematic review with meta-analysis of return to sport rates，graft rupture rates and performance outcomes[J]. British Journal of Sports Medicine，2018，52(2)：128—138.
[25] 付常喜，陈现超. 本体感觉训练对前交叉韧带损伤重建术后患者运动功能的影响研究[J]. 中国学校体育(高等教育)，2017，4(7)：82—86.
[26] Gonosova Z，Linduska P，Bizovska L，et al. Reliability of ankle-foot complex isokinetic strength assessment using the isomed 2000 dynamometer[J]. Medicina (Kaunas)，2018，54(3):43.
[27] Song Q，Zhang X，Mao M，et al. Relationship of proprioception，cutaneous sensitivity，and muscle strength with the balance control among older adults[J]. J Sport Health Sci，2021，10(5)：585—593.
[28] Busfield BT，Kharrazi FD，Starkey C，et al. Performance outcomes of anterior cruciate ligament reconstruction in the National Basketball Association[J]. Arthroscopy，2009，25(8)：825—830.
[29] Erickson BJ，Harris JD，Cvetanovich GL，et al. Performance and return to sport after anterior cruciate ligament reconstruction in male major league soccer players[J]. Orthop J Sports Med，2013，1(2)：2325967113497189.
[30] Erickson BJ，Harris JD，Fillingham YA，et al. Performance and return to sport after anterior cruciate ligament reconstruction in X-games skiers and snowboarders[J]. Orthop J Sports Med，2013，1(6)：2325967113511196.
[31] Daruwalla JH，Greis PE，Hancock R，et al. Rates and determinants of return to play after anterior cruciate ligament reconstruction in NCAA Division 1 college football athletes：A study of the ACC，SEC，and PAC-12 Conferences [J]. Orthop J Sports Med，2014,2(8):2325967114543901.
[32] Erickson BJ，Harris JD，Cole BJ，et al. Performance and return to sport after anterior cruciate ligament reconstruction in national hockey league players[J]. Orthop J Sports Med，2014，2(9)：2325967114548831.
[33] Fabricant PD，Chin CS，Conte S，et al. Return to play after anterior cruciate ligament reconstruction in major league baseball athletes [J]. Arthroscopy，2015，31(5)：896—900.
[34] Myer GD，Schmitt LC，Brent JL，et al. Utilization of modified NFL combine testing to identify functional deficits in athletes following ACL reconstruction[J]. J Orthop Sports Phys Ther，2011，41(6)：377—387.
[35] Barber SD，Noyes FR，Mangine RE，et al. Quantitative assessment of functional limitations in normal and anterior cruciate ligament-deficient knees[J]. Clin Orthop Relat Res，1990，(255)：204—214.
[36] Burland JP，Toonstra J，Werner JL，et al. Decision to return to sport after anterior cruciate ligament reconstruction，Part I：A qualitative investigation of psychosocial factors [J]. J Athl Train，2018，53(5)：452—463.
[37] 杨伟毅，练文兴，曹学伟，等. 肌力强化训练对膝关节前交叉韧带重建术后伴股四头肌萎缩患者肌力恢复的疗效[J]. 实用医学杂志，2012，28(13)：2221—2223.
[38] Zhang L，Qi J，Zeng Y，et al. Proprioceptive changes in bilateral knee joints following unilateral anterior cruciate ligament injury in cynomolgus monkeys[J]. Med Sci Monit，2018，24：105—113.
[39] Negahban H，Mazaheri M，Kingma I，et al. A systematic review of postural control during single-leg stance in patients with untreated anterior cruciate ligament injury[J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc，2014，22(7)：1491—1504.
[40] Roijezon U，Clark NC，Treleaven J. Proprioception in musculoskeletal rehabilitation. Part 1：Basic science and principles of assessment and clinical interventions[J]. Man Ther，2015，20(3)：368—377.
[41] Coronado RA，Bird ML，Van Hoy EE，et al. Do psychosocial interventions improve rehabilitation outcomes after anterior cruciate ligament reconstruction? A systematic review [J]. Clin Rehabil，2018，32(3)：287—298.
[42] 李涛，敖英芳，周谋望. 前交叉韧带重建术后膝关节位置觉和运动觉的早期观察研究[J]. 中国骨科临床与基础研究杂志，2009，1(1)：44—48.
[43] Lee SJ，Ren Y，Kang SH，et al. Pivoting neuromuscular control and proprioception in females and males[J]. Eur J Appl Physiol，2015，115(4)：775—784.
[44] Meyer PF，Oddsson LI，De Luca CJ. The role of plantar cutaneous sensation in unperturbed stance[J]. Exp Brain Res，2004，156(4)：505—512.
[45] Frigon A，Akay T，Prilutsky BI. Control of mammalian locomotion by somatosensory feedback[J]. Comprehensive Physiology，2021，12(1)：2877—2947.