

Pro-kin 平衡系统联合等速闭链训练对男子篮球运动员前交叉韧带重建术后功能恢复及膝关节生物力学的影响

冯亚锋¹, 孟书樵², 孙天娇¹, 位子龙¹

(1. 河南师范大学体育学院, 453007 新乡; 2. 西安电子科技大学体育部, 710126 西安)

摘要: **目的** 探讨 Pro-kin 平衡系统联合等速闭链训练在男子篮球运动员前交叉韧带 (anterior cruciate ligament, ACL) 重建术后的应用效果及对功能恢复、膝关节生物力学的影响。 **方法** 选取接受 ACL 重建术治疗的 588 例男子篮球运动员按随机数字表法分为 Pro-kin 组 (196 例, 采取 Pro-kin 平衡系统训练)、闭链组 (196 例, 采取等速闭链训练)、联合组 (196 例采取 Pro-kin 平衡系统联合等速闭链训练), 比较 3 组干预前及干预 12 周后步态时空参数、下肢肌力 [伸肌峰力矩 (extensor peak torque, T_{ext}) 和屈肌峰力矩 (flexor peak torque, T_{flex})、膝关节屈/伸肌群峰力矩比值 (hamstrings-to-quadriceps peak torque ratio, $R_{\text{H/Q}}$)]、站立位平衡稳定性 [双侧多轴平均轨迹差差值 (bilateral multi-axis average trajectory error difference, ATED)]、关节活动度及膝关节功能 [膝关节评估表 (international knee documentation committee, IKDC)、美国特种外科医院膝关节评分 (hospital for special surgery, HSS)] 变化。 **结果** 干预 12 周后联合组步幅、步速、步长 > Pro-kin 组 > 闭链组 ($P < 0.05$); 干预 12 周后联合组 T_{ext} 、 T_{flex} 、 $R_{\text{H/Q}}$ > 闭链组 > Pro-kin 组 ($P < 0.05$); 干预 12 周后联合组 ATED < Pro-kin 组 < 闭链组 ($P < 0.05$); 干预 12 周后联合组关节活动度 > 闭链组、Pro-kin 组 ($P < 0.05$); 干预 12 周后联合组 HSS、IKDC 评分 > 闭链组、Pro-kin 组 ($P < 0.05$)。 **结论** 相比单一 Pro-kin 平衡系统、等速闭链训练, 联合训练模式可显著提升篮球运动员 ACL 重建术后膝关节功能及关节活动度, 改善膝关节生物力学, 纠正异常步态及平衡稳定性表现。

关键词: 等速闭链训练; Pro-kin 平衡系统; 篮球运动员; 前交叉韧带; 前交叉韧带重建术

中图分类号: R493

文献标志码: A

文章编号: 1000-4939(2025)05-1199-08

The effect of Pro-kin balance system combined with isokinetic closed-chain training on functional recovery and knee biomechanics of male basketball players after anterior cruciate ligament reconstruction

FENG Yafeng¹, MENG Shuqiao², SUN Tianjiao¹, WEI Zilong¹

收稿日期: 2025-01-10

基金项目: 教育部人文社会科学研究项目 (No. 22YJC890018); 河南省哲学社会科学规划项目 (No. 2022BY009)

通信作者: 孟书樵。E-mail: hnfyfeng@126.com

引用格式: 冯亚锋, 孟书樵, 孙天娇, 等. Pro-kin 平衡系统联合等速闭链训练对男子篮球运动员前交叉韧带重建术后功能恢复及膝关节生物力学的影响[J]. 应用力学学报, 2025, 42(5): 1199-1206.

FENG Yafeng, MENG Shuqiao, SUN Tianjiao, et al. The effect of Pro-kin balance system combined with isokinetic closed-chain training on functional recovery and knee biomechanics of male basketball players after anterior cruciate ligament reconstruction[J]. Chinese journal of applied mechanics, 2025, 42(5): 1199-1206.

(1. School of Physical Education, Henan Normal University, 453007 Xinxiang, China;

2. Sports Department, Xidian University, 710126 Xi'an, China)

Abstract: Objective To explore the application effect of Pro-kin balance system combined with isokinetic closed-chain training on the functional recovery and knee biomechanics of male basketball players after anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction surgery. **Methods** A total of 588 male basketball players who underwent ACL reconstruction surgery were randomly divided into Pro-kin group (196 cases, using the Pro-kin balance system training), closed-chain group (196 cases, using isokinetic closed-chain training), and combined group (196 cases, using the Pro-kin balance system combined with isokinetic closed-chain training) according to a random number table method. The changes in gait space-time parameters, lower limb muscle strength [extensor peak torque (T_{ext}) and flexor peak torque (T_{flex})], hamstrings-to-quadriceps peak torque ratio ($R_{\text{H/Q}}$), standing balance stability [bilateral multi-axis average trajectory error difference (ATED)], joint mobility, and knee joint function [international knee documentation committee (IKDC), hospital for special surgery (HSS)] were compared before and 12 weeks after the intervention among the three groups. **Results** After 12 weeks of intervention, the stride, pace, and step length of the combined group were > Pro-kin group > closed-chain group ($P < 0.05$). After 12 weeks of intervention, the T_{ext} , T_{flex} , and $R_{\text{H/Q}}$ values in the combined group were > closed-loop group > Pro-kin group ($P < 0.05$). After 12 weeks of intervention, ATED in combined group was > Pro-kin group > closed-loop group ($P < 0.05$). After 12 weeks of intervention, the joint mobility of the combined group was > closed-chain group > Pro-kin group ($P < 0.05$). After 12 weeks of intervention, the HSS and IKDC scores in the combined group were > closed-loop group > Pro-kin group ($P < 0.05$). **Conclusion** Compared with single Pro-kin balance system and isokinetic closed-chain training, the combined training model can significantly improve the knee function and joint mobility of basketball players after ACL reconstruction, improve knee biomechanics, correct abnormal gait and balance stability performance.

Key words: isokinetic closed-chain training; Pro-kin balance system; basketball player; anterior cruciate ligament; anterior cruciate ligament reconstruction

前交叉韧带 (anterior cruciate ligament, ACL) 是常见的运动损伤部位之一, 篮球运动因具有高速度及强身体对抗等特点, 在运动过程中存在较高的 ACL 损伤风险^[1]。目前, 前交叉韧带重建术 (anterior cruciate ligament reconstruction, ACLR) 是治疗 ACL 的主要方式, 但术后常伴随膝关节动态稳定性下降、股四头肌萎缩、本体感觉缺失及运动学模式异常等问题, 致使 30%~40% 的运动员重返赛场后出现运动功能减退或二次损伤风险增高。研究表明, ACLR 术后膝关节生物力学异常主要表现为冠状面外翻负荷增加、矢状面屈曲力矩不足及步态周期中腓绳肌-股四头肌协同收缩失衡, 这些改变不仅影响运动员的变向、起跳和急停等高强度动作, 还可能加快关节软骨退变, 增加骨关节炎风险^[2]。传统康复方案虽注重肌力恢复, 但对动态稳定性和神经肌肉

控制的针对性不足, 导致部分运动员无法恢复伤前竞技水平。近年来, 基于神经肌肉控制理论的康复技术逐渐受到关注。Pro-kin 平衡系统通过动态不稳定平面训练, 可精准量化姿势控制输出与本体感觉输入, 促进中枢神经系统对膝关节稳定性的再适应^[3-4]; 而等速闭链训练通过多关节协同运动模式, 模拟篮球专项动作的生物力学特征, 在等速阻力下实现肌肉离心-向心收缩协调激活, 以改善能量传递效率和下肢力线排列^[5]。现今 Pro-kin 平衡系统与等速闭链运动联合对 ACLR 术后患者功能恢复影响的报道较少, 且临床关于术后康复训练研究主要集中于非运动员的普通人群, 对篮球专项运动员的相关康复研究相对匮乏。此外, 2 种方案联用理论上可突破单一干预局限性; Pro-kin 系统可针对神经控

制缺陷,通过实时生物反馈能强化关节位置觉;而闭链训练则可通过渐进负荷重塑肌腱-肌肉刚度,二者协同可从“肌肉-神经-骨骼”多维角度修复受损的膝关节功能链。此外,篮球运动员对多方位动态稳定性需求远高于普通人群,传统开链训练因缺乏功能性动作整合,难以满足该群体的专项需求,而闭链等速训练和平衡系统结合,可优化跳跃落地时的地面反作用力分布和膝关节外翻力矩模式。因此,本研究首次尝试将 Pro-kin 平衡系统与等速闭链训练联合应用于男子篮球运动员 ACLR 术后康复,通过等速肌力与三维运动捕捉同步分析,量化 2 种干预手段对膝关节动力学、运动学及肌肉协同模式的交互效应。相较于既往研究多聚焦单一训练模式,本研究提出的这种复合方案有助于为竞技运动员重返赛场的生物力学标准提供理论依据,进一步助力我国篮球事业的发展。

1 对象与方法

1.1 研究对象

选取 2023 年 1 月—2024 年 6 月进行 ACL 重建术的 588 例男子篮球运动员。1)纳入标准:男子篮球运动员;经 MRI 诊断为 ACL 损伤,ACL 重建治疗后 1 个月;同意参与本研究,签订知情同意书。2)排除标准:下肢有其他软组织或骨关节损伤;静脉血栓;后交叉韧带损伤;半月板损伤;继发性 ACL 损伤;术后严重感染;严重心、肺疾病;未按计划完成康复训练者。

所有受试者在正式研究前,均已清楚了解研究过程中可能出现的损伤风险,并已知晓并签订知情同意书。本研究已通过伦理委员会审查(编号: HNSD-2025BS-0109)。3 组患者基本信息比较,差异无统计学意义($P>0.05$),如表 1 所示。

表 1 3 组基本信息比较

Tab. 1 Comparison of basic information among the three groups

组别	例数	年龄/ 岁	身高/ cm	体质量/ kg	篮球运动年限/ 年	患侧	
						左侧	右侧
Pro-kin 组	196	30.28 ± 4.72	182.08 ± 4.65	78.68 ± 4.28	5.02 ± 0.85	96(48.98)	100(51.02)
闭链组	196	31.03 ± 5.00	181.13 ± 3.72	78.19 ± 5.10	4.98 ± 0.76	98(50.00)	98(50.00)
联合组	196	30.74 ± 4.53	181.49 ± 4.48	77.97 ± 4.76	5.12 ± 0.82	94(47.96)	102(52.04)
F/χ^2		1.240	2.436	1.160	1.550	0.612	
P		0.290	0.088	0.314	0.213	0.410	

1.2 方 法

所有患者均进行常规训练。①踝泵训练:取仰卧位,做踝关节背伸、跖屈运动,30 次/h,反复进行,促进血液循环;②股四头肌等长收缩训练:与踝泵训练交替进行,保持膝关节伸直,收缩大腿肌肉坚持 3 s、放松 3 s,反复交替,可维持肌纤维强度;③直腿抬高训练:保持膝关节伸直,交替将下肢抬离床面,可避免股内侧肌萎缩;④空蹬自行车训练:待膝关节屈伸自如后,可逐渐进行空蹬自行车的训练。同时,在常规训练基础上展开以下康复训练。

1) Pro-kin 组采取 Pro-kin 平衡系统训练(图 1),采用 Pro-kin 平衡系统(Balance 型, Tecnobody 公司),训练从静态至动态平衡,从双手支撑至双手靠背逐渐增加训练难度。①静态设置:极限稳定测试版块,对屏幕上重心标志进行控制,连续 4 组;②动

态训练 1 设置:动态平衡测试版块,屏幕分为 4 象限,分别控制重心标志于各象限停留 30 s;③动态训练 2 设置:动态平衡游戏版块,对游戏中人物平衡进行控制。1 次/d,3 次/周,共 12 周。



图 1 Pro-kin 平衡系统训练示意图

Fig. 1 Schematic diagram of Pro-kin balance system training

2) 闭链组采取等速闭链训练(图2),采用等速肌力评估训练系统(美国BIODEX公司),取坐位,患足固定于脚踏板,以伸展位进行等速屈伸运动训练,先以60°/秒测试,根据结果设置离心训练力矩,之后分别按每秒10次60°、每秒15次120°、每秒20次180°为1组,共2组,每组间隔3min,3次/周,共12周。



图2 闭链组采取等速闭链训练示意图

Fig.2 Schematic representation of the closed-chain group undergoing isokinetic closed-chain training

3) 联合组采取 Pro-kin 平衡系统联合等速闭链训练,方法、频率同 Pro-kin 组、闭链组,2种训练间隔30min,3次/周,共12周。

1.3 测试指标

前交叉韧带损伤可造成膝关节稳定性下降,关节功能受限,严重影响步态、关节活动度、肌力和站立位平衡稳定性,故而本研究对以下指标干预前后变化情况进行评估:

1) 步态时空参数:干预前后采用 P-WALK 平板压力测试系统采集患者在步行过程中的步幅、步速、步长等步态时空参数。

2) 等速肌力:干预前后采用等速肌力测定仪(美国 HUMAC2009NORM)测试患者屈肌峰力矩(T_{flex})、伸肌峰力矩(T_{ext})、膝关节屈/伸肌群峰力矩比值($R_{H/Q}$)变化情况。

3) 站立位平衡稳定性:干预前后采用 PK254 平衡测试系统(加拿大 TecnoBody 公司)评估,站立位,健侧脚踩测试板,患侧脚放于平板外,交换双腿测试,以测量双侧多轴平均轨迹差(ATE),计算两侧 ATE 差值(bilateral multi-axis average trajectory error difference, ATED),ATED 越小,提示受试者两侧动态平衡的对称性越高。

4) 关节活动度:干预前后采用量角器测量患者膝关节内旋、外旋及屈伸的最大活动度,共测量3次,取平均值。

5) 膝关节功能:干预前后采用美国特种外科医院膝关节评分(HSS)^[6]、膝关节评估表(international knee documentation committee, IKDC)^[7]评估患者膝关节功能,前者涉及疼痛(30分)、运动功能(22分)、关节活动度(18分)、股四头肌肌力(10分)、关节屈曲畸形(10分)、关节稳定性(10分)等方面评估,总分0~100分,评分越高,提示膝关节功能越好;后者共由8项膝关节韧带检查、10项膝关节评估组组成,总分0~100分,评分越高,膝关节功能恢复越好。

1.4 统计学分析

采用 SPSS26.0 处理数据,计数资料 $n(\%)$ 表示, χ^2 检验,计量资料采用平均值 $\pm$ 标准差($\bar{x} \pm s$)表示,多组间比较进行单因素方差分析,两两比较采用 LSD-t 检验, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 研究结果

2.1 3组步态时空参数比较

3组干预12周后步态时空参数均较干预前改善,且联合组步幅、步速、步长 $>$ Pro-kin 组 $>$ 闭链组($P < 0.05$),如表2所示。

表2 3组步态时空参数比较

Tab.2 Comparison of gait spatiotemporal parameters among the three groups

时间	组别	例数	步幅/cm	步速/($\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$)	步长/cm
干预前	Pro-kin 组	196	111.32 $\pm$ 9.57	103.36 $\pm$ 10.56	53.26 $\pm$ 4.24
	闭链组	196	110.54 $\pm$ 11.05	104.10 $\pm$ 9.24	54.18 $\pm$ 5.00
	联合组	196	119.75 $\pm$ 12.36	105.26 $\pm$ 11.56	53.16 $\pm$ 4.56
干预12周后	Pro-kin 组	196	126.57 $\pm$ 11.54 ^a	114.54 $\pm$ 7.24 ^a	63.22 $\pm$ 4.65 ^a
	闭链组	196	120.24 $\pm$ 10.36 ^{ab}	110.26 $\pm$ 6.52 ^{ab}	58.74 $\pm$ 5.13 ^{ab}
	联合组	196	132.68 $\pm$ 8.52 ^{abc}	119.26 $\pm$ 8.13 ^{abc}	67.89 $\pm$ 4.17 ^{abc}

注:与同组干预前相比,^a $P < 0.05$;与 Pro-kin 组干预后相比,^b $P < 0.05$;与闭链组干预后相比,^c $P < 0.05$ 。

2.2 3组下肢肌力比较

3组干预12周后下肢肌力均较干预前升高,且

联合组 T_{ext} 、 T_{flex} 、 $R_{\text{H/Q}}$ > 闭链组 T_{ext} 、 T_{flex} 、 $R_{\text{H/Q}}$ > Pro-kin组 T_{ext} 、 T_{flex} 、 $R_{\text{H/Q}}$ ($P < 0.05$), 结果如表3所示。

表3 3组下肢肌力比较

Tab.3 Comparison of lower limb muscle strength among the three groups

时间	组别	例数	$T_{\text{ext}}/(\text{N} \cdot \text{m})$	$T_{\text{flex}}/(\text{N} \cdot \text{m})$	$R_{\text{H/Q}}/\%$
干预前	Pro-kin 组	196	51.12 ± 5.43	28.63 ± 4.85	56.19 ± 7.12
	闭链组	196	50.75 ± 6.32	27.74 ± 5.10	57.13 ± 6.58
	联合组	196	50.48 ± 6.18	28.22 ± 5.36	55.82 ± 7.53
干预12周后	Pro-kin 组	196	71.64 ± 5.98^a	42.33 ± 6.95^a	60.00 ± 5.74^a
	闭链组	196	78.36 ± 6.52^{ab}	48.07 ± 7.42^{ab}	64.25 ± 6.69^{ab}
	联合组	196	86.47 ± 7.28^{abc}	60.56 ± 8.17^{abc}	68.15 ± 8.20^{abc}

注:与同组间干预前相比,^a $P < 0.05$;与 Pro-kin 组干预后相比,^b $P < 0.05$;与闭链组干预后相比,^c $P < 0.05$ 。

2.3 3组站立位平衡稳定性比较

干预前,Pro-kin 组 ATED 为 (5.62 ± 0.82) , 闭链组为 (5.54 ± 0.75) , 联合组为 (5.63 ± 0.83) , 3组比较无显著差异($P > 0.05$); 干预12周后,Pro-kin 组 ATED 为 (3.26 ± 0.53) , 闭链组为 (4.13 ± 0.48) , 联合组为 (2.32 ± 0.41) , 均低于干预前,且

联合组小于 Pro-kin 组小于闭链组($P < 0.05$)。

2.4 3组关节活动度比较

3组干预12周后关节活动度均较干预前升高,且联合组关节活动度 > 闭链组、Pro-kin 组($P < 0.05$), 闭链组、Pro-kin 组相比,无显著差异($P > 0.05$), 如表4所示。

表4 3组关节活动度比较

Tab.4 Comparison of joint range of motion among the three groups

时间	组别	例数	内旋/(°)	外旋/(°)	屈伸/(°)
干预前	Pro-kin 组	196	11.56 ± 2.32	15.32 ± 3.24	56.58 ± 6.44
	闭链组	196	11.47 ± 2.10	14.98 ± 4.00	55.76 ± 5.68
	联合组	196	11.60 ± 2.18	15.15 ± 3.74	56.14 ± 6.23
干预12周后	Pro-kin 组	196	22.85 ± 2.96^a	31.96 ± 5.02^a	101.74 ± 15.42^a
	闭链组	196	23.10 ± 3.15^a	32.15 ± 4.18^a	103.68 ± 13.69^a
	联合组	196	29.68 ± 3.22^{abc}	39.35 ± 4.76^{abc}	122.76 ± 12.65^{abc}

注:与同组间干预前相比,^a $P < 0.05$;与 Pro-kin 组干预后相比,^b $P < 0.05$;与闭链组干预后相比,^c $P < 0.05$ 。

2.5 3组膝关节功能评分比较

3组干预12周后 HSS、IKDC 评分均较干预前升

高,且联合组 HSS、IKDC 评分 > 闭链组、Pro-kin 组($P < 0.05$), 闭链组、Pro-kin 组相比,无显著差异($P > 0.05$), 如表5所示。

表5 3组膝关节功能评分比较

Tab.5 Comparison of knee function scores among the three groups

组别	例数	HSS		IKDC	
		干预前	干预12周后	干预前	干预12周后
Pro-kin 组	196	54.35 ± 4.10^a	79.33 ± 4.85^a	52.34 ± 4.89^a	80.72 ± 5.35^a
闭链组	196	56.10 ± 4.75^a	80.14 ± 5.86^a	53.53 ± 5.14^a	78.86 ± 4.78^a
联合组	196	55.75 ± 5.17^{abc}	85.33 ± 6.03^{abc}	52.78 ± 5.26^{abc}	88.31 ± 4.22^{abc}

注:与同组间干预前相比,^a $P < 0.05$;与 Pro-kin 组干预后相比,^b $P < 0.05$;与闭链组干预后相比,^c $P < 0.05$ 。

3 分析与讨论

现阶段,我国骨科 ACLR 术后康复训练主要为直腿抬高、踝泵、侧方抬腿及静蹲等常规训练,基于大量 ACLR 术后存在的并发症及功能障碍问题,以及篮球运动员重返球场的迫切需求,骨科指南中的常规康复已无法满足运动员的康复锻炼需求^[8]。因此,根据 ACL 损伤术后患者所处阶段,科学制定训练方案对运动员术后功能康复无疑具有重要价值。

Pro-kin 平衡训练系统是用于平衡功能评价及训练的康复训练系统,可通过视觉反馈对机体平衡能力进行综合训练。赵玮婧等^[9-10]研究发现,视觉反馈平衡训练可改善帕金森、脑卒中患者步态及平衡能力。另有学者将其应用于前交叉韧带重建术后发现,ACL 损伤患者膝关节功能得到明显改善^[11]。等速闭链训练是近年新兴的一种特定的运动训练方法,结合了闭链训练特点,并在训练过程中使速度或阻力恒定,可协助患者在不同速度下进行肌肉力量训练^[12-13]。近年来,单一 Pro-kin 平衡训练、等速闭链训练在 ACL 重建术后得以广泛应用,在促进膝关节功能及运动功能恢复方面取得了显著效果,但二者联合应用是否能发挥协同增益效果暂未可知。

此外,Pro-kin 平衡训练主要侧重于对机体平衡能力的综合训练,而等速闭链训练侧重于改善关节稳定性、神经肌肉协调能力及肌肉力量,因此本研究初次尝试将二者联合应用于篮球运动员 ACLR 术后康复训练中,以发挥二者的协同作用,结果显示联合组步态时空参数 > Pro-kin 组 > 闭链组 ($P < 0.05$),可见 Pro-kin 平衡系统与等速闭链训练可发挥协同作用,进一步改善篮球运动员 ACLR 术后步态异常。分析原因:等速闭链训练将常规旋转运动转变为线性运动,在保护膝关节、不增加膝关节剪切力条件下予以膝关节功能性训练,可对关节本体感受器产生有效刺激,恢复本体感受器功能;同时,该模式可通过多关节协同运动模拟篮球运动中的功能性动作,以促进下肢力线在冠状面与矢状面的均衡传导;此外,其可增强腘绳肌与股四头肌的协同收缩功能,减少胫骨前移剪切力,降低 ACL 再损伤风险,从而改善步态中摆动相和支撑相的力学对称性,这对改善步态具有积极作用^[14-15]。而 Pro-kin 平衡系统可提升单腿站立时髌-膝-踝关节联动稳定性,减少步态

周期中人体压力中心(center of pressure, COP)横向摆动幅度,且其可增强本体感觉输入,减少膝关节反应时间,提高步态启动阶段神经肌肉控制效率^[16]。相比单一训练模式,二者联合可通过动态平衡重建、力学链优化及时空参数发挥协同调整作用,以有效恢复术后运动员的步态生物力学功能。

ACL 是连接胫骨和股骨的重要韧带,对于人体正常行走意义重大,ACLR 术虽可恢复关节及韧带结构和稳定性,但人体正常平衡稳定性仍需要辅助手段进行康复^[17-18]。研究表明,平衡稳定性与关节周围肌肉、肢体控制能力密切相关^[19]。因此,在手术恢复损伤韧带结构及功能后,本研究采取相应康复训练,一方面,Pro-kin 系统可通过实时监测人体压力中心(COP)的位移,结合闭链训练中多关节协同运动,增强下肢肌群对 COP 偏移补偿能力,降低站立时重心摆动幅度,进而提高稳定性^[20-21]。另一方面,等速闭链训练通过闭链动作可强化腘绳肌和股四头肌等长收缩能力,提升 T_{ext} 和 $R_{H/Q}$,优化膝关节周围肌肉力学平衡,降低胫骨前移风险。此外,闭链训练中多关节联动模式可改善膝关节屈伸中力传递效率,减轻局部应力集中^[22];结合 Pro-kin 系统动态平衡刺激可进一步提升本体感觉反馈,促进韧带和关节囊对异常负荷适应性调节,从而改善稳定极限面积等参数。本研究结果显示,联合组 ATED 低于 Pro-kin 组、闭链组,由此可见 Pro-kin 平衡系统与等速闭链训练联合可有效改善患者平衡稳定性,与上述分析相符。

ACL 损伤后肌肉活动减少,易造成肌肉萎缩,尤其是腘绳肌、股四头肌等,不仅会降低关节稳定性,还会增加再次损伤风险^[23-24]。等速闭链训练是通过恒定速度运动方式,对肌肉爆发力、耐力及力量等进行评估和训练的有效方法,邵静雯等^[25]的研究表明,在改善脑卒中运动障碍患者康复训练中,与等速开链运动相比,等速闭链训练在恢复平衡功能、增强下肢肌力方面效果更为显著。本研究进一步发现,与 Pro-kin 平衡系统相比,等速闭链训练可显著增强患者下肢肌力,分析原因:等速闭链训练过程中,在不同负荷下肌肉以恒定速度产生力量,使得肌肉受到更大刺激,进而促进肌肉力量不断增长,且在相同速度下多次收缩,可为肌肉慢速、快速纤维提供充分刺激,使得肌肉耐力不断增强。同时,其与 Pro-kin 平衡系统联合,患者可在振动板上应用 PNF 节律性

稳定技术,增加感觉输入,激活下肢各关节肌群等长收缩及核心肌群,使患者肌力进一步得到强化,表明 Pro-kin 平衡系统与等速闭链训练可发挥协同作用,使患者肌力得到明显改善。此外,本研究干预 12 周后,联合组关节活动度及 HSS、IKDC 评分均高于闭链组、Pro-kin 组 ($P < 0.05$),提示在篮球运动员 ACLR 术后,Pro-kin 平衡系统联合等速闭链训练在促进膝关节功能恢复及活动度恢复方面具有突出成效。

4 结束语

相比单一 Pro-kin 平衡系统、等速闭链训练,联合训练模式可显著提升篮球运动员 ACLR 术后膝关节功能及关节活动度,改善膝关节生物力学,纠正异常步态及平衡稳定性表现,值得临床推广。本研究尚存不足,研究中未进行长期跟踪随访,对该方案在长期康复中的持续效果仍需进一步研究,不断完善证实。

参考文献:

- [1] KOHN L, REMBECK E, RAUCH A. Verletzung des vorderen kreuzbandes beim erwachsenen[J]. Der orthopäde,2020,49(11): 1013-1028.
- [2] BEARD D J, DAVIES L, COOK J A, et al. Rehabilitation versus surgical reconstruction for non-acute anterior cruciate ligament injury (ACL SNNAP): a pragmatic randomised controlled trial[J]. Lancet,2022,400(10352):605-615.
- [3] HAN T T, LIU Q, HU Y G, et al. Effect of Pro-kin visual feedback balance training on balance function of individuals with early Parkinson's disease: a randomized controlled pilot trial[J]. African health sciences,2023,23(2):582-588.
- [4] 任毅,郭学斌,李维科,等. 等速闭链训练联合短刺法对膝关节前交叉韧带损伤患者术后关节活动度、功能恢复的影响[J]. 检验医学与临床,2023,20(17):2496-2500.
REN Yi, GUO Xuebin, LI Weike, et al. Effects of isokinetic closed chain training combined with short needling on postoperative joint range of motion and functional recovery in patients with knee anterior cruciate ligament injury[J]. Laboratory medicine and clinic, 2023,20(17):2496-2500(in Chinese).
- [5] CHEON S, LEE J H, JUN H P, et al. Acute effects of open kinetic chain exercise versus those of closed kinetic chain exercise on quadriceps muscle thickness in healthy adults[J]. International journal of environmental research and public health, 2020, 17(13):4669.
- [6] AHSANUDDIN S, SNYDER D J, HUANG H H, et al. Surgical scheduling impacts hospital length of stay and associated health-care costs for patients undergoing total hip and knee arthroplasty[J]. HSS journal,2022,18(3):385-392.
- [7] KAYA S, UNAL Y C, GUVEN N, et al. The impact of early weight-bearing on results following anterior cruciate ligament reconstruction[J]. BMC musculoskeletal disorders,2024,25(1):395.
- [8] DIERMEIER T, ROTHRAUFF B B, ENGBRETSEN L, et al. Treatment after anterior cruciate ligament injury: Panther Symposium ACL Treatment Consensus Group[J]. Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy,2020,28(8):2390-2402.
- [9] 赵玮婧,李永平,尤红,等. 重复经颅磁刺激联合视觉反馈平衡训练对帕金森病患者平衡及步态的影响[J]. 中国康复医学杂志,2024,39(9):1327-1331.
ZHAO Weijing, LI Yongping, YOU Hong, et al. The effect of repetitive transcranial magnetic stimulation combined with visual feedback balance training on balance and gait in Parkinson's disease patients[J]. Chinese journal of rehabilitation medicine, 2024, 39(9):1327-1331(in Chinese).
- [10] 焦爱菊,赵玮婧,文淑梅,等. Pro-kin 视觉反馈平衡训练对脑卒中患者平衡与步态的影响[J]. 中国康复,2022,37(10):579-583.
JIAO Aiju, ZHAO Weijing, WEN Shumei, et al. Effects of pro-kin visual feedback balance training on balance and gait in stroke patients[J]. Chinese journal of rehabilitation, 2022, 37(10):579-583(in Chinese).
- [11] ZHANG N, NITSCHKE M A, MIAO Y, et al. Transcranial direct-current stimulation over the primary motor cortex and cerebellum improves balance and shooting accuracy in elite ice hockey players[J]. International journal of sports physiology and performance, 2024,19(10):1107-1114.
- [12] GRONWALD T, KLEIN C, HOENIG T, et al. Hamstring injury patterns in professional male football (soccer): a systematic video analysis of 52 cases[J]. British journal of sports medicine,2022,56(3):165-171.
- [13] KIM J S, LEE M Y. The effect of short foot exercise using visual feedback on the balance and accuracy of knee joint movement in subjects with flexible flatfoot[J]. Medicine, 2020, 99(13):e19260.
- [14] HORII O, SASAKI M. Influences of trunk stability on exercise performance of closed kinetic chain of upper and lower limbs[J]. Journal of physical therapy science,2023,35(5):379-383.
- [15] AMIROUCHE F, DOLAN M, PRADHAN S, et al. Assessment of cervical and lumbar kinematics in simulated open and closed kinetic chain[J]. International journal of spine surgery,2023,17(1):

- 51-59.
- [16] MARVULLI R, IANIERI G, PIGNATELLI G, et al. Electronic method (pro-kin) for improving and speeding up the recovery after ankle sprain[J]. *Endocrine, metabolic & immune disorders-drug targets*, 2024, 24(13):1572-1580.
- [17] STONE A V, MARX S, CONLEY C W. Management of partial tears of the anterior cruciate ligament; a review of the anatomy, diagnosis, and treatment[J]. *Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*, 2021, 29(2):60-70.
- [18] BRAM J T, MAGEE L C, MEHTA N N, et al. Anterior cruciate ligament injury incidence in adolescent athletes; a systematic review and meta-analysis[J]. *The American journal of sports medicine*, 2021, 49(7):1962-1972.
- [19] BØE B. Nonoperative anterior cruciate ligament injury treatment[J]. *Clinics in sports medicine*, 2024, 43(3):343-354.
- [20] LU W, WEN M M, LI Y X, et al. Effects of visual feedback balance system combined with weight loss training system on balance and walking ability in the early rehabilitation stage of stroke; a randomized controlled exploratory study[J]. *Therapeutic advances in neurological disorders*, 2024, 17:1-11.
- [21] ZHANG M, YOU H, ZHANG H X, et al. Effects of visual feedback balance training with the pro-kin system on walking and self-care abilities in stroke patients[J]. *Medicine*, 2020, 99(39):e22425.
- [22] GRAHAM M C, REEVES K A, JANATOVA T, et al. The relationship of open- and closed-kinetic-chain rate of force development with jump performance following anterior cruciate ligament reconstruction[J]. *International journal of sports physiology and performance*, 2024, 19(6):585-592.
- [23] GRASSI A, MACCHIAROLA L, FILIPPINI M, et al. Epidemiology of anterior cruciate ligament injury in Italian first division soccer players[J]. *Sports health*, 2020, 12(3):279-288.
- [24] MANCINO F, GABR A, PLASTOW R, et al. Anterior cruciate ligament injuries in female athletes[J]. *The bone & joint journal*, 2023, 105-B(10):1033-1037.
- [25] 邵静雯, 张弛, 孙丹, 等. 等速闭链训练与等速开链训练对脑卒中后运动障碍患者下肢肌力、平衡功能与步行能力影响研究[J]. *临床军医杂志*, 2022, 50(3):267-269.
- SHAO Jingwen, ZHANG Chi, SUN Dan, et al. Isokinetic chain closing training and isokinetic chain opening training for patients with poststroke dyskinesia influence of muscle strength, balance function and walking ability of lower limbs[J]. *Clinical journal of medical officers*, 2022, 50(3):267-269 (in Chinese).

(编辑 吕茵)