

· 临床研究 ·

虚拟现实技术结合等速肌力训练对前交叉韧带重建术后患者的临床疗效观察

卢跃伦¹, 蒋松鹤¹, 黄沙沙², 骆国钢², 林忠勤², 李金滨²

(1. 温州医科大学附属第二医院康复医学科, 浙江 温州 325000; 2. 温州市中西医结合医院运动医学科, 浙江 温州 325000)

【摘要】 目的: 探究虚拟现实技术结合等速肌力训练在前交叉韧带 (anterior cruciate ligament, ACL) 重建术后患者康复中的应用价值和效果。方法: 选取 2021 年 12 月至 2023 年 1 月就诊的 ACL 重建术后 12 周的患者 40 例, 按照治疗方法不同分为对照组和观察组。对照组 20 例, 男 15 例, 女 5 例; 年龄 17~44 (29.10±8.60) 岁; 采用常规康复训练结合等速肌力训练。观察组 20 例, 男 16 例, 女 4 例; 年龄 17~45 (30.95±9.11) 岁; 采用虚拟现实技术结合等速肌力训练。比较两组患者术后 12 周 (训练前)、术后 16 周 (训练后) 的 Lysholm 膝关节评分、膝关节伸峰力矩和屈峰力矩。结果: 所有患者获得随访, 时间 1~6 (3.30±1.42) 个月。训练前两组 Lysholm 膝关节评分、膝关节伸峰力矩和屈峰力矩比较, 差异无统计学意义 ($P>0.05$)。训练后两组 Lysholm 膝关节评分、膝关节伸峰力矩和屈峰力矩均较训练前改善 ($P<0.05$); 组间比较, 观察组 Lysholm 膝关节评分、膝关节伸峰力矩和屈峰力矩评分均较对照组高 ($P<0.05$)。结论: 应用虚拟现实技术结合等速肌力训练能更好地促进 ACL 重建术后患者的膝关节功能恢复, 增强肌力。

【关键词】 虚拟现实; 等速肌力训练; 前交叉韧带重建; 运动康复

中图分类号: R686.5; R493

DOI: 10.12200/j.issn.1003-0034.2023.12.010

开放科学 (资源服务) 标识码 (OSID):



Clinical observation of virtual reality technology combined with isokinetic strength training for patients after anterior cruciate ligament reconstruction

LU Yue-lun¹, JIANG Song-he¹, HUANG Sha-sha², LUO Guo-gang², LIN Zhong-qin², LI Jin-bin² (1. Department of Rehabilitation Medicine, No 2 Affiliated Hospital of Wenzhou Medical University, Wenzhou 325000, Zhejiang, China; 2. Department of Sports Medicine, Wenzhou Integrated Traditional Chinese and Western Medicine Hospital, Wenzhou 325000, Zhejiang, China)

ABSTRACT Objective To explore application value and effectiveness of virtual reality technology combined with isokinetic muscle strength training in the rehabilitation of patients after anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction surgery. **Methods** Forty patients who underwent ACL reconstruction surgery from December 2021 to January 2023 were selected and divided into control group and observation group according to treatment methods, 20 patients in each group. Control group was received routine rehabilitation training combined with isokinetic muscle strength training, including 15 males and 5 females, aged from 17 to 44 years old, with an average of (29.10±8.60) years old. Observation group was performed virtual reality technology combined with isokinetic muscle strength training, including 16 males and 4 females, aged from 17 to 45 years old with an average of (30.95±9.11) years old. Lysholm knee joint score, knee extension peak torque, and knee flexion peak torque between two groups at 12 (before training) and 16 weeks (after training) after surgery were compared. **Results** All patients were followed up for 1 to 6 months with an average of (3.30±1.42) months. There were no statistically significant difference in Lysholm knee joint score, peak knee extension peak torque, and peak knee flexion peak torque between two groups ($P>0.05$) before training. After training, Lysholm knee joint score, knee extension peak torque, and knee flexion peak torque of both groups were improved compared to before training ($P<0.05$); there were significant difference in Lysholm knee joint score, knee extension peak torque, and knee flexion peak torque between two groups ($P<0.05$). **Conclusion** The application of virtual reality technology combined with isokinetic muscle strength training could promote recovery of knee joint function and enhance muscle strength in patients after ACL reconstruction surgery in further.

KEYWORDS Virtual reality technology; Isokinetic strength training; Anterior cruciate ligament reconstruction; Exercise rehabilitation

通讯作者: 蒋松鹤 E-mail: jiangsonghe@wmu.edu.cn

Corresponding author: JIANG Song-he E-mail: jiangsonghe@wmu.edu.cn

膝关节前交叉韧带 (anterior cruciate ligament, ACL)是维持膝关节前向稳定的主要结构,损伤后可出现明显的膝关节功能障碍,若治疗不及时,可能造成膝关节半月板、软骨等组织结构的损害,甚至导致关节畸形^[1]。近年来,随着体育运动事业的发展和国民运动需求增多,ACL 损伤逐年增高。据报道^[2]ACL 损伤在外伤群体中发生率达 20.9%。关节镜下重建术是目前临床最主要的外科治疗手段^[3],但术后患者容易出现疼痛,肿胀和关节功能障碍等一系列并发症^[4],严重影响患者的生活。虚拟现实(virtual reality, VR)训练是在计算机创造的视、听、触觉等多途径反馈的虚拟环境中进行可控的功能性运动和操作^[5]。有学者^[6-7]将 VR 应用到 ACL 重建术后康复中,可有效减轻患者的恐动心理,改善膝关节功能及平衡能力,恢复下肢肌力增强下肢的本体感觉。等速肌力训练能够提高膝关节周围肌肉力量,促进膝关节功能恢复^[8],在 ACL 重建术后的康复中应用非常广泛。但是,临床将两者结合治疗 ACL 重建术后患者的相关研究报道较少,因此,本研究将虚拟现实技术结合等速肌力训练应用到 ACL 重建术后康复中,观察其康复治疗效果,现报道如下。

1 资料与方法

1.1 病例选择

纳入标准:(1)年龄 17~45 岁,性别不限。(2)首次行患侧膝关节半月板肌肌腱和股薄肌肌腱 ACL 重建^[9]。(3)可配合完成康复训练,确认无认知功能障碍,视觉、听觉等均正常。(4)术后已满 12 周,且未受过专业康复训练。(5)自愿作为受试对象,接受该研究的训练方法,并签署相关知情同意书。排除标准:(1)存在其他肌肉骨骼神经系统疾病影响下肢运动。(2)患有癫痫或认知功能障碍。(3)合并严重内科疾病等无法配合康复训练。(4)合并膝关节骨折、半月板撕裂、神经血管损伤等。(5)ACL 再次重建患者。(6)有活动度和力量等功能障碍不能完成预定康复计划。脱落标准:(1)发生严重不良事件不宜继续参加本研究者。(2)未按照预定方案进行训练者。(3)因自身原因要求退出本研究者。(4)新发现符合病例排除标准。

1.2 临床资料

自 2021 年 12 月至 2023 年 1 月收治 ACL 重建术后 40 例患者,根据治疗方法不同,分为观察组和对照组。对照组 20 例,男 15 例,女 5 例;年龄 17~44 (29.10±8.60)岁;身体质量指数(body mass index, BMI)为(24.08±2.40)kg·m⁻²;左侧 9 例,右侧 11 例;采用常规康复训练结合等速肌力训练。观察组 20 例,男 16 例,女 4 例;年龄 17~45 (30.95±9.11)岁;BMI

(25.19±3.78) kg·m⁻²;左侧 7 例,右侧 13 例;采用虚拟现实技术结合等速肌力训练。两组患者性别、年龄、BMI 和侧别比较,差异无统计学意义($P>0.05$),具有可比性,见表 1。本研究已获温州市中西医结合医院伦理委员会批准(伦理批号:2022-L092)。

表 1 两组前交叉韧带重建术后患者一般资料比较
Tab.1 Comparison of general data of patients after anterior cruciate ligament reconstruction between two groups

组别	例数	性别/例		年龄 ($\bar{x}\pm s$)/岁	身体质量指数 ($\bar{x}\pm s$)/(kg·m ⁻²)	侧别/例	
		男	女			左侧	右侧
观察组	20	16	4	30.95±9.11	25.19±3.78	7	13
对照组	20	15	5	29.10±8.60	24.08±2.40	9	11
检验值		$\chi^2=0.143$		$t=0.661$	$t=1.113$	$\chi^2=0.417$	
P 值		0.705		0.513	0.273	0.519	

1.3 治疗方法

1.3.1 对照组 (1)采用常规康复训练。①深蹲。患者双腿分开与肩同宽,双手叉腰核心收紧,屈髋屈膝,保证髌膝踝脚尖在一条直线上,训练难度逐渐由双脚蹲过度到单脚蹲,每组 20 个,每次 5 组。②跳跃。患者往前后左右各个方向跳跃,训练难度由双脚跳逐渐过渡到单脚跳,每组 20 个,每次 5 组。③跑步。患者在跑步机上,选择适合自己的配速进行跑步训练,跑步时间循序渐进。总训练时长为 40 min,每日 1 次,每周 3 次,持续 4 周。(2)等速肌力训练。采用美国 CSMI 公司 HUMAC NORM 等速肌力训练与评估系统,调整测试椅与设备位置,指导患者坐在测试座椅上,使膝运动轴心与动力臂轴心一致,动力臂末端阻力垫固定在于踝关节上缘 3 cm 处。治疗师操作等速训练系统,选择角速度为 60°/s 的膝关节屈伸向心力训练,设置训练量,组数为每组 15 次,共 6 组,组间休息 2 min,训练时长 20 min。见图 1。训练前测试患者下肢重量,并用测试结果进行下肢重量校正,以排除下肢运动时的重力作用。设置膝关节活动角度为患者最大主动活动度。开始训练,要求患者在自己能承受的疼痛范围内用最大力量去完成屈伸膝,等速训练总时长为 20 min,每周 3 次,持续 4 周。
1.3.2 观察组 (1)虚拟现实技术。患者站立位,腿上带安装 Joy-Con™ 的腿部固定带,手持“Ring-Con™”,先让患者适应 1 min,以消除新环境的不适应对治疗效果的影响。在治疗师的指导下与虚拟世界进行交互,治疗师根据患者训练情况适时与患者进行交流,进行鼓励,激励患者主动参与。利用 VR 虚拟情景,让患者参与“健身环大冒险”游戏,通过自定义模式,按照常规训练的动作内容,包括深蹲、跳



图 1 等速肌力训练

Fig.1 Knee isokinetic muscle strength training

跃、跑步等动作,选择相应的游戏模式,包括“深蹲弹跳”、“手拉坏”和“硬币奔驰”等,根据游戏要求进行人机互动训练,训练总时长为 40 min,每日 1 次,每周 3 次,持续 4 周。见图 2。(2)等速肌力训练与观察组相同。



图 2 虚拟现实膝关节训练

Fig.2 Virtual reality knee joint training

1.4 观察项目与方法

两组训练前后进行临床疗效评估,包括 Lysholm 膝关节功能评分^[10]、膝关节伸峰力矩(extension peak-torque, EPT)和膝关节屈峰力矩(flexion peak-torque, FPT)^[11]。(1)Lysholm 膝关节评分。包括跛行(5分)、支撑(5分)、绞锁(15分)、不稳定(25分)、疼痛(25分)、肿胀(10分)、爬楼梯(10分)、下蹲(5分),满分 100 分。得分越低,障碍程度越严重。(2)膝关节 FPT 和 EPT。采用等速肌力训练与评估系统,位置调整与训练时一致。治疗师操作计算机,选择角速度为 60°/s 的膝关节屈伸向心肌力测

试,设置评估次数为 5 次。测试前进行下肢重量校正,以排除下肢运动时的重力作用,设定膝关节活动角度为 0°~90°。开始测试时要求患者尽最大能力完成屈伸膝,峰力矩越高表示在该角速度下产生的力量越大。

1.5 统计学处理

采用 SPSS 20.0 软件进行统计学分析。年龄、BMI、Lysholm 评分、膝关节 FPT 和 EPT 等符合正态分布的定量资料数据采用均数±标准差($\bar{x}\pm s$)表示,组内比较采用配对设计定量资料 *t* 检验;组间比较采用成组设计定量资料 *t* 检验。性别、患侧等定性资料比较采用 χ^2 检验。以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

两组患者获得随访,时间 1~6(3.30±1.42)个月。

2.1 训练前后 Lysholm 评分比较

训练前,两组 Lysholm 评分各项评分及总分比较,差异无统计学意义($P>0.05$)。组内比较,两组训练后,除了支持项目评分比较,差异无统计学意义($P>0.05$),其余项目评分均高于训练前($P<0.05$);组间比较,训练后观察组跛行、上楼、下蹲评分和总分后优于对照组($P<0.05$)。见表 2。

2.2 膝关节 FPT 和 EPT 比较

训练前,两组膝关节 FPT 和 EPT 比较,差异无统计学意义($P>0.05$)。组内比较,两组训练后膝关节 FPT 和 EPT 较训练前均有提高($P<0.05$);组间比较,训练后观察组膝关节 FPT 和 EPT 优于对照组($P<0.05$)。见表 3。

3 讨论

3.1 ACL 重建术后并发症

关节镜下 ACL 重建术是国际上公认的 ACL 断裂的标准治疗方法,然而术后常见并发症如下肢肌力下降、膝关节本体感觉减弱、功能受限和膝关节不稳等问题^[12],继发半月板和软骨损伤,可发展为创伤性关节炎,对患者日常生活造成了严重影响^[13]。因此,针对膝关节 ACL 重建术后功能康复的研究已经成为临床关注的热点问题^[14]。

3.2 等速肌力训练在 ACL 重建术后康复中的应用

近年来,有研究^[15]发现膝关节受伤后功能降低与术后康复息息相关,术后膝关节周围肌肉萎缩,肌力降低会导致膝关节稳定性变差,进而影响膝关节功能恢复。因此,配合相应的膝关节周围肌力训练,降低肌肉萎缩程度,促进肌力恢复至关重要。本研究选择的等速向心肌力训练兼具等张收缩和等长收缩优点,患者既能进行全关节活动范围的肌力训练(类似等张收缩),又能在全关节活动范围任意一点产生

表 2 两组前交叉韧带重建术后患者训练前后 Lysholm 评分比较($\bar{x}\pm s$)

Tab.2 Comparison of Lysholm scores between two groups of patients after anterior cruciate ligament reconstruction before and after training($\bar{x}\pm s$)

单位:分

组别	例数	跛行		支持		肿胀	
		训练前	训练后	训练前	训练后	训练前	训练后
观察组	20	4.00±1.03	4.70±0.73 [○]	4.55±1.10	4.85±0.67 [●]	3.80±2.04	6.40±1.23 [△]
对照组	20	3.50±0.89	4.10±1.02 ^{○○}	4.25±1.33	4.70±0.92 ^{●●}	3.60±2.01	5.20±2.46 ^{△△}
<i>t</i> 值		1.648	2.135	0.777	0.588	0.312	1.949
<i>P</i> 值		0.108	0.039	0.442	0.56	0.757	0.059

组别	例数	上楼		绞索		下蹲	
		训练前	训练后	训练前	训练后	训练前	训练后
观察组	20	4.80±1.88	8.40±2.01 [▲]	8.55±3.32	11.70±3.67 [*]	2.75±1.25	4.40±0.75 [*]
对照组	20	3.80±2.42	5.60±2.56 ^{▲▲}	8.15±3.36	10.10±3.71 ^{**}	2.85±1.27	3.65±1.31 ^{**}
<i>t</i> 值		1.459	3.844	0.379	1.37	-0.251	2.221
<i>P</i> 值		0.153	<0.001	0.707	0.179	0.803	0.032

组别	例数	不稳定		疼痛		总分	
		训练前	训练后	训练前	训练后	训练前	训练后
观察组	20	12.75±3.43	16.75±4.38 [◇]	10.75±3.73	15.00±3.97 [◆]	51.95±12.34	72.20±13.69 [▽]
对照组	20	12.25±4.13	14.75±3.80 ^{◇◇}	11.75±3.73	14.50±3.59 ^{◆◆}	50.00±13.25	62.75±14.13 ^{▽▽}
<i>t</i> 值		0.417	1.544	-0.849	0.418	0.482	2.148
<i>P</i> 值		0.679	0.131	0.401	0.679	0.633	0.038

注:与训练前比较,[○]*t*=-3.199,*P*=0.005;^{○○}*t*=-2.854,*P*=0.01;[●]*t*=-1.453,*P*=0.163;^{●●}*t*=-1.831,*P*=0.083;[△]*t*=-4.951,*P*<0.001,^{△△}*t*=-2.99,*P*=0.008;[▲]*t*=-13.077,*P*<0.001;^{▲▲}*t*=-3.943,*P*=0.001;^{*}*t*=-4.73,*P*<0.001;^{**}*t*=-2.874,*P*=0.01;^{*}*t*=-5.819,*P*<0.001;^{**}*t*=-3.107,*P*=0.006;[◇]*t*=-5.812,*P*<0.001;^{◇◇}*t*=-3.684,*P*=0.002;[◆]*t*=-6.474,*P*<0.001;^{◆◆}*t*=-4.067,*P*=0.001;[▽]*t*=-16.96,*P*=0.006;^{▽▽}*t*=-8.286,*P*<0.001

表 3 两组前交叉韧带重建术后患者训练前后 FPT 和 EPT 比较($\bar{x}\pm s$)

Tab.3 Comparison of FPT and EPT between two groups of patients after anterior cruciate ligament reconstruction before and after training($\bar{x}\pm s$)

单位:N·m

组别	例数	FTP		EPT	
		训练前	训练后	训练前	训练后
观察组	20	37.75±16.47	47.60±19.07 [*]	32.55±12.44	47.25±17.82 [#]
对照组	20	30.05±14.34	35.45±16.21 ^{**}	26.70±11.00	34.75±14.28 ^{##}
<i>t</i> 值		1.577	2.171	1.575	2.448
<i>P</i> 值		0.123	0.036	0.124	0.019

注:与训练前比较,^{*}*t*=-11.383,*P*<0.001;^{**}*t*=-7.250,*P*<0.001;[#]*t*=-9.921,*P*<0.001;^{##}*t*=-8.574,*P*<0.001。FTP为膝关节屈峰力矩;EPT为膝关节伸峰力矩

最大力矩(类似等长收缩)。有研究^[16]发现等速肌力训练能显著提高膝骨关节炎患者膝关节肌力、本体感觉及关节功能。本研究对照组经4周常规康复训练和等速肌力训练后 Lysholm 评分、膝关节 FPT 和 EPT 均较治疗前明显改善(*P*<0.05),提示常规康复训练结合等速肌力训练能改善 ACL 重建患者膝关节肌力及功能。其主要机制:(1)等速训练具有更好的针对性和高效性,股四头肌和腓绳肌可以在关节活动范围内任意运动角度输出最大力矩,最大限度地提高肌肉力量,改善膝关节的稳定性^[17]。(2)等速肌

力训练系统通过反复刺激股四头肌、腓绳肌快速收缩,提高机体神经-肌肉反射弧的应激及反馈能力,增强本体感受器对压力负荷信息的敏感性,进而提高膝关节对于空间运动改变的感知能力^[18];增强神经-肌肉活动的协调性和同步性^[19],再加上视觉反馈以及康复治疗师言语刺激,可向患者中枢神经系统输入大量本体感觉信息,促进膝关节本体感觉的恢复^[20]。

3.3 虚拟现实技术在 ACL 重建术后康复中的应用
本研究在 VR 技术下的训练是具备趣味性、多

模式协调运动控制、多感官系统输入整合的训练^[21]；能够实现视觉、听觉、触觉和运动觉等多方面的虚拟互动，使患者在虚拟环境中进行可控的功能性操作^[22]，系统中通过人机交互，并配合动作捕捉系统，在患者训练时予以实时反馈，分析动作模式，提高训练动作的标准度。同时，可以根据患者目前的功能状态，实时调整训练内容、强度和难度，逐步提升运动能力。本研究结果显示观察组 Lysholm 评分、膝关节 FPT 和 EPT 较对照组明显改善 ($P < 0.05$)，分析其原因可能是：(1)与虚拟游戏特定运动动作相关选取的健身环大冒险运动包含较多的下肢髌膝关节肌力训练游戏模块，需要四肢的粗大运动和持续的姿势变换才能完成任务，相当于中等到高水平的体力活动，对肌肉力量的有效增强具有促进作用。如患者在深蹲、跳跃、跑步等不同游戏中，需要不断的左右移动和上下蹲起跳跃运动来完成游戏，也需要下肢髌关节外展肌群及髌膝踝关节伸肌群交替进行向心收缩、离心收缩完成动作，进而可能促进相应肌群伸肌力提升。(2)在 VR 康复训练中，患者可以有意识地控制对多变的训练任务进行实时调整，并反复进行视听觉等感觉输入，通过调整身体姿势激活相应肌肉以进行适应性训练，提高了膝关节对于复杂环境的适应性及运动反馈有效性，同时患者对于自身内部关注度的降低大大减弱了 ACL 重建术后患者对于运动参与的恐动心理，提高患者运动输出功率，改善了患膝灵活性和稳定性，增强了膝关节运动功能^[23]。(3)VR 任务场景应用于训练中加强了患者的运动想象能力，通过运动视觉反馈，促进中枢神经系统对本体感觉整合，形成关节位置觉与运动觉，可调节神经肌肉兴奋并促进运动输出^[24]，改善膝关节功能。VR 技术通过与虚拟场景进行交互，把被动治疗转变为主动治疗^[25]，加强了患者的康复沉浸感；另外，VR 里金币、分数、等虚拟奖励机制，大大提高了康复训练的趣味性，有助于调动患者对于康复训练的积极性^[26]。金天福等^[6]通过 VR 平衡训练，提高 ACL 重建术后患者下肢肌力，改善膝关节功能及平衡能力。

综上所述，VR 联合等速肌力训练对于 ACL 重建术后患者具有协同作用，能进一步改善患者膝关节肌力及功能恢复，其疗效优于常规训练结合等速肌力训练。总之，VR 结合等速肌力训练治疗 ACL 重建术后康复是一个不错的选择之一。

参考文献

- [1] ARUNDALE A J H, BIZZINI M, DIX C, et al. Exercise-based knee and anterior cruciate ligament injury prevention[J]. J Orthop Sports Phys Ther, 2023, 53(1): CPG1-CPG34.
- [2] 丁兆明, 陈兵. 膝关节前交叉韧带损伤的外伤原因流行病学调

查[J]. 滨州医学院学报, 2020, 43(1): 27-29, 45.

DING Z M, CHEN B. Epidemiological study of anterior cruciate ligament injury in trauma population[J]. J Binzhou Med Univ, 2020, 43(1): 27-29, 45. Chinese.

- [3] TAPASVI S, SHEKHAR A. Revision ACL reconstruction: principles and practice[J]. Indian J Orthop, 2021, 55(2): 263-275.
- [4] THOMAS A C, WOJTYNS E M, BRANDON C, et al. Muscle atrophy contributes to quadriceps weakness after anterior cruciate ligament reconstruction[J]. J Sci Med Sport, 2016, 19(1): 7-11.
- [5] 陈兰, 宗丽春, 汤禹铭, 等. 虚拟现实训练对卒中患者步行功能和日常生活能力的影响[J]. 中国康复医学杂志, 2019, 34(12): 1473-1475.
CHEN L, ZONG L C, TANG Y M, et al. Effect of virtual reality training on walking function and daily living ability of stroke patients[J]. Chin J Rehabil Med, 2019, 34(12): 1473-1475. Chinese.
- [6] 金天福, 李彦林. 虚拟现实平衡训练联合运动训练对前交叉韧带重建术后的影响[J]. 实用骨科杂志, 2022, 28(7): 659-663.
JIN T F, LI Y L. Effect of virtual reality balance training combined with sports training on anterior cruciate ligament reconstruction[J]. J Pract Orthop, 2022, 28(7): 659-663. Chinese.
- [7] 施明, 潘文平, 曾明, 等. 虚拟现实平衡训练对前交叉韧带重建术后膝关节本体感觉的效果[J]. 中国康复理论与实践, 2020, 26(12): 1458-1463.
SHI M, PAN W P, ZENG M, et al. Effects of virtual reality balance training on proprioception of knee after anterior cruciate ligament reconstruction[J]. Chin J Rehabil Theory Pract, 2020, 26(12): 1458-1463. Chinese.
- [8] 邴建华, 姜品, 苏本平. 等速肌力训练对前交叉韧带重建术后患者的疗效分析[J]. 反射疗法与康复医学, 2022, 3(6): 43-45, 54.
BING J H, JIANG P, SU B P. Analysis of the effect of isokinetic muscle training on patients after anterior cruciate ligament reconstruction[J]. Reflexology Rehabil Med, 2022, 3(6): 43-45, 54. Chinese.
- [9] 范冰洋, 何海溶, 袁凌伟, 等. 关节镜下前交叉韧带重建手术研究现状[J]. 中国医药导报, 2022, 19(31): 65-68, 87.
FAN B Y, HE H R, YUAN L W, et al. Research status of arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction[J]. China Med Her, 2022, 19(31): 65-68, 87. Chinese.
- [10] 张晓宇, 张君涛, 王平, 等. 早期康复训练对膝关节前交叉韧带重建术后疗效的 Meta 分析[J]. 中国中西医结合外科杂志, 2022, 28(6): 824-829.
ZHANG X Y, ZHANG J T, WANG P, et al. Effects of early aggressive rehabilitation on outcomes after anterior cruciate ligament reconstruction: a meta-analysis[J]. Chin J Surg Integr Tradit West Med, 2022, 28(6): 824-829. Chinese.
- [11] 张汉权, 周甜甜, 陈毕能, 等. 前交叉韧带重建术前规范康复训练对预后的影响[J]. 中国骨与关节损伤杂志, 2022, 37(8): 847-850.
ZHANG H Q, ZHOU T T, CHEN B N, et al. Effect of standardized rehabilitation training before anterior cruciate ligament reconstruction on prognosis[J]. Chin J Bone Jt Inj, 2022, 37(8): 847-850. Chinese.
- [12] 臧业峰, 赵希春, 朱卫洁, 等. 膝关节镜下韧带保残解剖重建术治疗膝关节前交叉韧带损伤的作用[J]. 中国骨与关节损伤杂志, 2019, 34(8): 849-850.
ZANG Y F, ZHAO X C, ZHU W J, et al. The role of arthroscopic ligament salvage anatomical reconstruction in the treatment of an-

- terior cruciate ligament injury of knee joint[J]. *Chin J Bone Jt Inj*, 2019, 34(8):849-850. Chinese.
- [13] 余昆, 毕光远, 刘欣伟, 等. 关节镜下前交叉韧带重建术后康复训练临床研究现状[J]. *临床军医杂志*, 2018, 46(11):1392-1394.
YU K, BI G Y, LIU X W, et al. Clinical research status of rehabilitation training after arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction[J]. *Clin J Med Off*, 2018, 46(11):1392-1394. Chinese.
- [14] 李志帅, 张红倩, 刘建全, 等. 前交叉韧带重建后康复训练研究热点的可视化分析[J]. *中国组织工程研究*, 2022, 26(26):4234-4241.
LI Z S, ZHANG H Q, LIU J Q, et al. Visualization analysis of current research hotspots on rehabilitation treatment after anterior cruciate ligament reconstruction[J]. *Chin J Tissue Eng Res*, 2022, 26(26):4234-4241. Chinese.
- [15] DUYMUS T M, MUTLU S, DERNEK B, et al. Choice of intra-articular injection in treatment of knee osteoarthritis: platelet-rich plasma, hyaluronic acid or ozone options[J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2017, 25(2):485-492.
- [16] 郭凯锋, 韩佩洁, 黄臻, 等. 体外冲击波联合等速肌力训练对膝关节炎患者肌力、本体感觉及关节功能的影响[J]. *中华物理医学与康复杂志*, 2021, 43(11):1010-1012.
GUO K F, HAN P J, HUANG Z, et al. Effects of extracorporeal shock wave combined with isokinetic muscle strength training on muscle strength, proprioception and joint function in patients with knee osteoarthritis[J]. *Chin J Phys Med Rehabil*, 2021, 43(11):1010-1012. Chinese.
- [17] 彭杰威, 蔡亮, 吴宇峰. 等速肌力训练结合下肢血流限制技术对前交叉韧带重建术后股四头肌肌围度、肌力及膝关节功能的影响[J]. *中外医学研究*, 2022, 20(31):106-109.
PENG J W, CAI L, WU Y F. Effect of isokinetic muscle strength training combined with lower limb blood flow restriction technique on quadriceps femoris muscle circumference, muscle strength and knee joint function after anterior cruciate ligament reconstruction[J]. *Chin Foreign Med Res*, 2022, 20(31):106-109. Chinese.
- [18] 郭亚俏, 贾静, 刘静, 等. 等速肌力视觉反馈训练对半月板损伤患者关节镜术后膝关节肌力、本体感觉和关节功能康复的影响[J]. *临床与病理杂志*, 2022, 42(9):2221-2227.
GUO Y Q, JIA J, LIU J, et al. Effect of muscle isokinetic training with visual biofeedback on muscle strength, proprioception and joint function rehabilitation of patients with meniscus injury after arthroscopy[J]. *J Clin Pathol Res*, 2022, 42(9):2221-2227. Chinese.
- [19] 宣磊, 吴建贤, 潘家武. 等速技术在康复医学领域中的研究进展[J]. *中国康复理论与实践*, 2019, 25(7):788-792.
XUAN L, WU J X, PAN J W. Advance in isokinetic concept for rehabilitation medicine (review)[J]. *Chin J Rehabil Theory Pract*, 2019, 25(7):788-792. Chinese.
- [20] 李辉萍, 宋涛, 邓景贵, 等. 本体感觉神经肌肉促进技术对膝骨关节炎患者本体感觉及平衡能力的影响[J]. *中华物理医学与康复杂志*, 2017, 39(6):456-459.
LI H P, SONG T, DENG J G, et al. Proprioceptive neuromuscular facilitation can improve the proprioception and balance of persons with osteoarthritis of the knee[J]. *Chin J Phys Med Rehabil*, 2017, 39(6):456-459. Chinese.
- [21] STANDER J, DU PREEZ J C, KRITZINGER C, et al. Effect of virtual reality therapy, combined with physiotherapy for improving motor proficiency in individuals with Down syndrome: a systematic review[J]. *S Afr J Physiother*, 2021, 77(1):1516.
- [22] 王利群, 尹苗苗, 李雅晴, 等. 虚拟现实技术结合小组模式训练对脑卒中后抑郁患者康复疗效研究[J]. *中国现代神经疾病杂志*, 2022, 22(11):948-955.
WANG L Q, YIN M M, LI Y Q, et al. Rehabilitation effect of virtual reality technology combined with group mode training in post-stroke depression patients[J]. *Chin J Contemp Neurol Neurosurg*, 2022, 22(11):948-955. Chinese.
- [23] 刘阳, 张孝权, 王恒, 等. 虚拟现实技术对帕金森病患者综合平衡能力改善的 Meta 分析[J]. *中国康复理论与实践*, 2021, 27(9):1048-1058.
LIU Y, ZHANG X Q, WANG H, et al. Effects of virtual reality on balance for patients with Parkinson's disease: a meta-analysis[J]. *Chin J Rehabil Theory Pract*, 2021, 27(9):1048-1058. Chinese.
- [24] 林在龙, 顾旭东, 傅建明, 等. 下肢康复机器人结合虚拟现实训练对前交叉韧带重建术后步行能力的影响[J]. *华西医学*, 2022, 37(5):717-721.
LIN Z L, GU X D, FU J M, et al. Effect of lower limb rehabilitation robot combined with virtual reality training on walking ability after anterior cruciate ligament reconstruction[J]. *West China Med J*, 2022, 37(5):717-721. Chinese.
- [25] 张明, 张秀芳, 张玉明, 等. 核心稳定性训练结合虚拟现实技术对脑卒中后偏瘫患者上肢运动功能、平衡功能和日常生活活动能力的影响[J]. *中华物理医学与康复杂志*, 2019, 41(11):844-846.
ZHANG M, ZHANG X F, ZHANG Y M, et al. Effects of core stability training combined with virtual reality technology on upper limb motor function, balance function and activities of daily living in patients with hemiplegia after stroke[J]. *Chin J Phys Med Rehabil*, 2019, 41(11):844-846. Chinese.
- [26] SHADMEHR R, HUANG H J, AHMED A A. A representation of effort in decision-making and motor control[J]. *Curr Biol*, 2016, 26(14):1929-1934.

(收稿日期:2023-07-25 本文编辑:朱嘉)