



# 徐梦桃前交叉韧带重建术后康复训练的应用与分析

魏 铭<sup>1,2</sup>, 牛雪松<sup>2\*</sup>, 李 楠<sup>1</sup>

(1. 首都体育学院, 北京 100191; 2. 沈阳体育学院, 辽宁 沈阳 110102)

**摘要:**目的:归纳总结徐梦桃前交叉韧带重建术后的康复训练,以期为其他高水平运动员的康复训练目标、任务和方案制定提供参考。方法:1)康复训练干预。对国家自由式滑雪空中技巧女队一号主力运动员徐梦桃进行14~42周的前交叉韧带重建术后康复训练,根据运动员实际身体机能状况、测试数据和竞赛需求,将训练计划分为4个阶段。干预目的是提高徐梦桃左侧膝关节肌肉力量、本体感觉,降低左、右膝关节肌力差异;发展核心肌群能力、平衡能力、有氧供能能力;2)通过15项专项体能测试、等速肌力测试和平衡能力测试,对运动员的康复效果进行综合评价。结果:15项专项体能测试指标中有10项达到伤前最好成绩,5项达到受伤前最好成绩的90%以上;膝关节等速肌力对称度达到85%以上;平衡能力达到专项要求。结论:通过术后14~42周的康复训练,徐梦桃左膝关节肌肉力量、平衡能力、爆发力等方面恢复效果显著,下肢肌力对称度达到合理范围,各项身体机能已达到专项训练要求。

**关键词:**徐梦桃;前交叉韧带;重建术;康复训练;自由式滑雪空中技巧

中图分类号:G804.5

文献标识码:A

前交叉韧带(anterior cruciate ligament, ACL)损伤是膝关节运动损伤中较为常见的一种,运动员ACL重建术后的康复目标比普通人更高(Tjong et al., 2014)。ACL位于膝关节中央,起于胫骨髁间隆起前内侧,止于股骨外侧髁内侧,功能是限制胫骨过度前移、旋转以及膝关节过伸。ACL损伤的机制有两种,一是胫骨后侧有大力撞击,使胫骨过度前移;二是膝关节过度旋转,超出ACL承受范围。前交叉韧带、内侧副韧带和内侧半月板的合并损伤通常出现在膝关节过度旋转的情况下,即O'Donoghue三联征(Maria et al., 1996)。

2008—2012年,我国自由式滑雪空中技巧高水平运动员出现了6例ACL损伤,其中女运动员4例,分别是李妮娜、徐梦桃、徐思存、赵珊珊;男运动员2例,分别是王爽、吴超。本研究对高水平自由式滑雪空中技巧运动员徐梦桃ACL重建术后14~42周康复训练进行归纳总结,以期为其他运动员ACL重建术后康复训练提供借鉴和参考。

## 1 康复训练实施情况概述

### 1.1 实施对象及其伤病情况

徐梦桃(1990-),女,国家自由式滑雪空中技巧队运动员,国际健将。5次获世界杯总冠军、28次获世界杯冠军、2013年获世锦赛冠军,2014年获冬奥会亚军,是该项目获得世界冠军最多的运动员,世界最高得分纪录保持者。

2016年1月21日,徐梦桃在新疆举行的全国冬季运动会女子个人决赛中bLFF动作失败。慢动作回放显示,由于她起跳高度不够,导致落地空间不足,着陆后左脚雪板头部插入雪中,身体向右侧扭转摔出,左腿股骨出现明显内旋,造成左侧膝关节前交叉韧带断裂,内侧副韧带撕裂,内侧半月板撕裂,多发骨挫伤。2016年2月5日,徐梦桃在北京大学第三医院进行了关节镜下前交叉韧带自体腘绳肌肌腱重建手术,并将内侧半月板后角切除70%。

### 1.2 实施阶段

徐梦桃在术后1~13周接受早期康复训练,术后14~42周(2016年5—11月)由作者为徐梦桃进行康复训练,根据实际身体机能状况和竞赛需求,将训练计划分为4个阶段。

#### 1.2.1 第1阶段(14~22周)

本阶段训练的主要目标:能无痛跑步;最大限度提高力量和灵活性,满足后交叉韧带的要求;跳跃试验时下肢对称度达到75%以上(Cioppa-Mosca et al., 2006)。

收稿日期:2020-06-04; 修订日期:2021-06-28

基金项目:国家社会科学基金一般项目(19BTY100)。

第一作者简介:魏铭(1992-),男,在读博士研究生,主要研究方向为青少年身体运动功能训练理论与实践,E-mail:392000356@qq.com。

\*通信作者简介:牛雪松(1971-),男,教授,博士,硕士研究生导师,主要研究方向为体能训练理论与实践,E-mail:104855178@qq.com。

本阶段训练的主要任务:1)恢复身体机能、形态等能力,为接下来的康复训练打好基础;2)对肩、髋、踝关节进行加固及养护性力量训练以改善其灵活性;3)进行动作模式训练,加强动作的灵活性、稳定性,强化动作标准;4)对膝关节进行全弧无痛屈、伸膝训练,以闭链练习为主;5)提高心肺功能;6)通过平衡能力训练,恢复本体感觉、加强神经肌肉的募集和控制能力。本阶段康复训练计划详见附录A表A1。

### 1.2.2 第2阶段(23~28周)

本阶段训练的主要目标:消除对专项运动的恐惧感;提高最大力量和灵活性,满足专项运动要求;跳跃试验肢体对称度达85%以上(Cioppa-Mosca et al., 2006)。

本阶段训练的主要任务:1)对易伤部位和薄弱环节进行强化练习;2)加强下肢最大向心、离心力量训练强度,提高爆发力;3)结合专项特征进行核心区力量练习;4)提高下肢灵活性,进行基础性跳跃练习;5)进行加速跑和变向跑练习,逐渐增加灵敏训练难度。本阶段康复训练计划详见附录A表A2。

### 1.2.3 第3阶段(29~36周)

本阶段训练的主要目标:重返专项训练;恢复运动员自信心,敢于完成专项动作;逐步提高动作表现。

本阶段训练的主要任务:1)纠正运动员在运动中的不正确姿势;2)增加双腿及单腿跳跃练习,有针对性地加强缓冲练习。本阶段康复训练计划详见附录A表A3。

### 1.2.4 第4阶段(37~42周)

本阶段训练的主要目标:为徐梦桃重返冬季专项训练做最后的准备,确保腿部和身体薄弱环节的能力达到专项训练的要求。

本阶段训练的主要任务:1)提高下肢爆发力及动力链的协调性;2)加强有氧及无氧练习强度,提高运动员心肺功能;3)进行颈部练习,加强身体薄弱环节。本阶段康复训练计划详见附录A表A4。

## 1.3 测试安排

选取术后第14~29周进行3次腿围测试,第17~36周进行3次专项体能测试,第14~47周进行5次60°/s肌力测试和3次180°/s肌力测试,第14、47周进行平衡能力测试。

## 2 康复训练实施结果与分析

### 2.1 徐梦桃术后不同阶段大腿及小腿围度

徐梦桃大腿围度(髌上15 cm)和小腿围度(髌下15 cm)随训练而增加,术后第20周围度增长明显,第29周患侧大腿、小腿围度与健侧基本无差异。

### 2.2 徐梦桃术后不同阶段专项体能测试指标评价分析

本研究采用15项自由式滑雪空中技巧专项体能测试指标(表1)(牛雪松, 2010;牛雪松等, 2015, 2018),对徐梦桃受伤前后的测试数据进行对比分析,评价其康复效果。

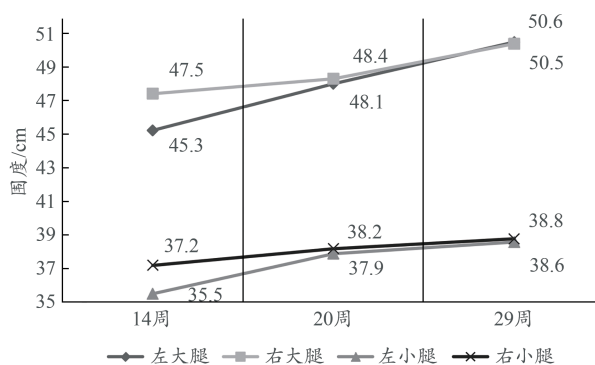


图1 徐梦桃术后第14~29周双侧大腿、小腿围度变化  
Figure 1. Xu Mengtao's Bilateral Thigh and Calf Circumferences at 14~29 Weeks Post-operation

表1 徐梦桃术后17、29、36周专项体能测试结果

Table 1 The Results of Xu Mengtao's Strength and Conditioning Test Indexes at 17, 29 and 36 Weeks Post-operation

参数	伤前	17周	29周	36周
跳深高/cm	110	0	0	105
右单脚跳/m	6.35	6.16	6.40	6.52
左单脚跳/m	6.77	3.75	5.95	6.25
举铃下蹲/s	10.30	11.20	9.26	9.04
右抛球/m	7.70	6.30	6.80	7.90
左抛球/m	7.90	7.80	6.50	7.90
后抛球/m	6.80	6.60	6.80	7.10
引体向上/次	11	10	12	15
跪起/次	3	0	0	3
深蹲/kg	145	90	130	135
高翻/kg	75	60	70	75
快速两头起/s	10.90	10.90	10.90	10.80
灵敏跑/s	6.15	7.70	6.99	6.57
12 min跑/m	2 865	1 805	2 240	2 600
仰卧静撑/s	38.76	20.30	44.04	47.06

跳深高能够反映腿部离心缓冲能力和双脚着陆后的快速反应功率,徐梦桃术后第36周跳深高成绩达到伤前最好成绩的95%;单脚三级稳定跳能够评估下肢力量及功能(曾春等, 2005),发现患侧与健侧下肢的差异(Fontenay et al., 2014),重返赛场的标准是对称度达到90%(Noyes et al., 1983),术后第36周左侧单腿跳达到了受伤前最好成绩的92%,对称度96%;举铃下蹲是反映核心稳定性的指标,术后第29、36周的测试成绩分别为9.26 s和9.04 s,优于受伤前最好成绩;反映下肢屈伸肌群力量的跪起与伤前最好成绩持平,深蹲达到伤前最好成绩的93%。

术后第36周,15项专项体能测试指标中有10项达到伤前最好成绩,5项达到受伤前最好成绩的90%以上,体能状况基本已达到专项训练要求。

### 2.3 徐梦桃术后不同阶段肌力水平测试分析

术后第14周,徐梦桃双膝力矩差异明显。术后第24周,

屈膝力矩对称度为80%,伸膝为67%,左膝H/Q为59%。术后第36周,屈膝力矩对称度为92%,伸膝为83%,左膝H/Q为54%。术后第40周,患侧膝关节恢复状况良好,屈膝力矩对称度为96%,伸膝为89%,左膝H/Q为51%。术后第47周,屈膝力矩对称度为98%,伸膝为87%,左膝H/Q为46%,右膝H/Q为41%(表2)。

表2 徐梦桃术后膝关节60°/s、180°/s等速肌力屈伸峰值力矩  
Table 2 The Isokinetic Flexion and Extension Peak Toque Ratio of Xu Mengtao's Knee Joint Muscle at 60°/s and 180°/s

参数	术后 时间	左侧			右侧		
		屈/Nm	伸/Nm	H/Q/%	屈/Nm	伸/Nm	H/Q/%
60°/s	14周	46	71	65	93	179	52
	24周	78	132	59	98	196	50
	36周	97	180	54	106	217	49
	40周	103	202	51	107	226	47
	47周	111	239	46	113	275	41
180°/s	36周	79	123	64	91	171	53
	40周	81	132	61	84	165	51
	47周	93	159	58	99	180	55

术后第47周,屈膝力矩对称度为94%,伸膝为88%,左膝H/Q为58%,右膝H/Q为55%,徐梦桃患侧膝关节恢复状况良好。

#### 2.4 平衡能力测试

睁眼单腿平衡能力测试能够对比患侧与健侧的差距,从而有针对性地进行康复训练(张云峰等,2010)。患侧下肢平衡能力下降会导致健侧代偿,这可能是导致ACL再次损伤的主要原因。

表3 徐梦桃术后平衡能力测试结果

Table 3 The Results of Xu Mengtao's Balance Test

睁眼单腿静态平衡测试 测试指标	14周		47周	
	左腿	右腿	左腿	右腿
X轴方向平均值(Avg X)	-12.53	7.32	-6.03	3.55
Y轴方向平均值(Avg Y)	-143.54	129.43	-124.97	124.14
X轴方向移动距离(Lng X)	493.22	305.43	279.65	242.48
Y轴方向移动距离(Lng Y)	371.23	345.63	223.36	287.52
X轴方向平均速度(Vx)	25.43	16.43	13.85	12.13
Y轴方向平均速度(Vy)	21.68	19.54	10.93	14.38

闫红光等(2009)指出,自由式滑雪空中技巧运动员在双腿睁眼站立情况下,重心在X轴的移动距离小于Y轴移动距离;在双腿闭眼、单腿睁眼、单腿闭眼情况下,重心在X轴的移动距离均大于Y轴的移动距离。徐梦桃双腿X、Y轴方向移动距离均优于我国优秀男子自由式滑雪空中技巧运动员平衡能力平均值,男运动员平衡能力平均

值为左腿睁眼X轴方向移动距离为(400.00±111.1)mm;左腿睁眼Y轴方向移动距离为(382.60±80.8)mm;右腿睁眼X轴方向移动距离为(314.40±61.0)mm;右腿睁眼Y轴方向移动距离为(307.40±66.3)mm。经过28周的康复训练,徐梦桃左侧下肢的平衡能力恢复良好。

### 3 讨论

#### 3.1 肌肉力量

技术动作的难度和稳定性是自由式滑雪空中技巧项目的取胜之匙,出色的技术稳定性建立在良好的专项力量基础上(陈小平,2007)。美国运动医学会(American Medical Society for Sports Medicine)等6家权威机构认为,采用肌力指标作为ACL术后重返运动的依据最为科学(Hart et al.,2008)。常用评定指标为:60°/s、180°/s伸屈膝峰力矩对称度≥90%(Thomeé et al.,2011);H/Q比值>55%(Hewett et al.,2008);单脚跳对称度≥90%(Thomeé et al.,2011)。这些方法均以健侧数值为参考,但术后健侧腿肌肉力量和质量的下降会影响评价的准确性。因此,欧洲运动委员会(EBSR)认为,膝关节肌肉力量应以60°/s峰值力矩(Nm)/体重(kg)的相对值表示,合理的伸膝阈值为>3.0 Nm/kg,这种评价方法更为客观。

杨涛(2018)将41名ACL重建运动员按重返专项时间分为3组,提前组( $n=14$ ,<9个月)、适时组( $n=19$ ,9~12个月)、延时组( $n=8$ ,>12个月),在其重返专项前进行60°/s、180°/s等速肌力和单脚跳(LSI)测试。表4将3组数据与徐梦桃术后第36周(8.5个月)进行对比,徐梦桃60°/s屈曲和单脚跳对称度高于提前组,伸膝阈值为3.1 Nm/kg,60°/s、180°/s伸展和屈曲数据达到延时组水平。

表4 等速肌力、单脚跳测试结果

Table 4 The Results of Isokinetic and Hop Test

测试名称	提前组	适时组	延时组	徐梦桃
60°/s 伸展 LSI/%	85.8±9.4	91.6±5.8	94.8±4.8	82.9
180°/s 伸展 LSI/%	90.6±5.2	96.2±5.6	97.8±5.6	71.9
60°/s 屈曲 LSI/%	87.4±7.5	95.8±6.6	96.0±2.4	91.5
180°/s 屈曲 LSI/%	90.7±8.7	95.8±6.6	101.4±6.8	86.8
60°/s 伸展/(Nm·kg <sup>-1</sup> )	2.48±0.58	2.85±0.49	3.21±0.51	3.10
180°/s 伸展/(Nm·kg <sup>-1</sup> )	1.22±0.25	1.40±0.25	1.52±0.21	2.10
60°/s 屈曲/(Nm·kg <sup>-1</sup> )	1.79±0.66	2.21±0.76	2.70±0.43	1.67
180°/s 屈曲/(Nm·kg <sup>-1</sup> )	0.97±0.21	1.11±0.20	1.32±0.2	1.36
单脚跳 LSI/%	84.7±7.3	95.7±6.0	98.1±1.9	95.8

等速训练是影响ACL康复效果的重要因子(Timm,1988),术后早期进行等速训练能够提高肌肉力量,关节稳定性,促进本体感觉恢复(Sekir et al.,2010)。徐梦桃术后第17周开始进行等速肌力训练,患侧肌肉力量和围度



增长明显,第47周60°/s、180°/s左膝H/Q均低于正常值,这表明股四头肌肌力高于腘绳肌。这种现象符合自由式滑雪空中技巧专项特点,优秀的自由式滑雪空中技巧运动员的下肢力量能够承受自身体重的2.2倍(纪冬等,2005)。此外,徐梦桃术后第36周深蹲130 kg,达到自身体重2.3倍。

### 3.2 平衡能力

平衡能力能够反映人体前庭机能、本体感觉及神经系统的控制能力。ACL损伤会影响膝关节本体感觉。本体感觉包括:关节位置的静态感知能力、关节运动或加速度的动态感知能力、反射回应和肌张力调节回路的传出活动能力(陈均源等,2016)。膝关节本体感觉恢复分为4个阶段(张鹏等,2010):第1阶段以重心转换、步态和关节活动度为主;第2阶段以平衡和闭链练习为主;第3阶段进一步刺激膝关节周围本体感受器;第4阶段逐步进行灵敏跑和跳跃练习,使运动员重返赛场。徐梦桃术后第14周进行平衡练习,第17周进行绳梯练习,第23周进行有氧跑、变向跑和跳跃练习,第29周(7个月)重返专项。

研究发现,ACL重建后膝关节等速肌力与平衡能力呈正相关,且2项指标均能反映下肢对称度,是评价康复效果的重要指标(Myers et al.,2018)。术后第47周,徐梦桃屈膝力矩对称度为98%,伸膝为87%,Lng X为87%,Lng Y为78%,左侧下肢肌力和平衡能力恢复良好。

### 3.3 离心收缩训练

离心训练可以改善ACL重建后的主动伸膝角度,增加屈膝肌力并提高运动功能(章闻捷等,2017)。Gerber等(2009)将40例ACL重建患者分为离心训练组和常规训练组,在术后3周开始训练,持续12周,每周2~3次,干预前离心训练组股四头肌体积(1 388±403)cm<sup>3</sup>,12周(1 733±476)cm<sup>3</sup>,1年后(1 784±477)cm<sup>3</sup>,干预前常规训练组(1 374±264)cm<sup>3</sup>,12周(1 479±283)cm<sup>3</sup>,1年后(1 630±295)cm<sup>3</sup>,离心训练组的近期和远期效果均优于常规训练组。

研究发现,肌肉离心收缩比向心收缩时的做功负荷高30%(李学军,2007),能量消耗比向心收缩少,主要由II型肌纤维参与运动(Mchugh et al.,2002),且恢复较好(Mafi et al.,2001)。这种特质使其在提高肌肉力量和增加肌肉围度方面有较大的优势,并在防治肌肉萎缩方面具有良好效果(苏利强等,2013)。徐梦桃术后第14周采用Milon离心训练器进行训练,设置离心负荷最高值为向心负荷的130%,腿部肌肉力量和围度明显增长。

### 3.4 电刺激

电刺激已被广泛应用于ACL重建术后的康复训练,具有防止肌肉萎缩(Wigerstad-Lossing et al.,1988)、提高肌力(Hasegawa et al.,2011)、改善步态(Snyder-Mackler et al.,1991)的作用。徐梦桃在术后第14~28周利用Complex 6.0神经肌肉电刺激仪进行康复训练,这种方法能够

在不增加负重的前提下提高负荷强度,适用于术后早期恢复肌肉力量和围度(Anthony et al.,1988)。

### 3.5 重返专项运动时间

随着手术和康复技术的创新和完善,ACL重建术后重返运动的时间大大缩短。研究认为,运动员ACL重建术后重返专项运动的理想时间为9~12个月(Streich et al.,2008),重返比赛时间应大于12个月(Nagelli et al.,2017)。徐梦桃术后第29周(7个月)开始专项训练,第8个月参加国际雪联举办的夏季跳台比赛,出色地完成LDFF三周台动作获得冠军,康复过程无不良反应。由此可见,ACL术后重返专项训练和比赛的时间没有绝对值,测试数据和临床依据能够更加客观、准确地评估患者是否能够重返运动。此外,还要充分考虑其个人能力和专项特点。

## 4 结论

徐梦桃左侧膝关节ACL重建术后14~42周的康复训练分为4个阶段,根据其实际情况和参赛要求制定了个性化的康复训练目标,实施具有针对性和实效性的训练方案,取得了显著的训练效果。15项专项体能测试指标中有10项达到伤前最好成绩,5项达到受伤前最好成绩的90%以上,膝关节等速肌力对称度达85%以上,平衡能力优于男子运动员平均值,各项身体机能指标已达到专项训练要求。

### 参考文献:

- 陈均源,王华军,罗斯敏,等,2016.前交叉韧带重建本体感觉恢复影响因素分析[J].中国矫形外科杂志,24(24):2264-2268.
- 陈小平,2007.跳水运动员力量训练研究:以清华大学跳水队多年力量训练为例[J].体育科学,27(8):37-44.
- 纪冬,董明杰,2005.预防自由式滑雪空中技巧运动损伤的专门性练习[J].冰雪运动,(5):19-33.
- 李学军,2007.等动向心离心训练对膝关节屈伸力矩影响研究[J].北京体育大学学报,(9):1221-1223.
- 牛雪松,2010.我国高水平自由式滑雪空中技巧运动员体能训练理论与实践[D].北京:北京体育大学.
- 牛雪松,白桦,任海鹰,2015.索契冬奥会自由式滑雪空中技巧运动员专项力量训练的应用研究[J].成都体育学院学报,41(5):111-116.
- 牛雪松,白桦,王波,2018.我国优秀自由式滑雪空中技巧运动员体能水平评价的研究[J].沈阳体育学院学报,37(1):92-98.
- 苏利强,黄红拾,常翠青,2013.离心收缩训练对前交叉韧带断裂患者股四头肌萎缩影响的研究进展[J].中国康复医学杂志,28(11):1067-1071.
- 闫红光,王艳玲,2009.国家优秀男子自由式滑雪空中技巧运动员躯干肌力特征及与静态平衡能力的关系探讨[J].沈阳体育学院学报,28(5):55-58.
- 杨涛,2018.膝前交叉韧带重建术后有关重返运动的研究[D].上海:上海体育学院.
- 曾春,蔡道章,王昆,等,2005.关节镜下前交叉韧带重建术后的康复干预[J].中国临床康复,(14):1-3.
- 张鹏,王惠芳,钱风雷,等,2010.游泳运动员膝关节损伤康复中本体感觉训练的应用[J].中国运动医学杂志,29(6):640-642.

- 章闻捷, 叶祥明, 张大威, 等, 2017. 腘绳肌等速离心训练对前交叉韧带重建术后膝关节功能的影响[J]. 中国运动医学杂志, 36(9): 805-809.
- 张云峰, 王制, 戈炳珠, 2010. 自由式滑雪女子空中技巧优秀运动员下肢肌力与静态平衡能力特征[J]. 冰雪运动, 32(3): 34-38.
- ANTHONY D, ROSE S J, MCKOWEN J M, et al., 1988. Electrical stimulation versus voluntary exercise in strengthening thigh musculature after anterior cruciate ligament surgery[J]. PhysTher, 68(5): 660-663.
- CIOPPA-MOSCA J M, CAHILL J, TUCKER C, 2006. Postsurgical Rehabilitation Guidelines for the Orthopedic Clinician-E-Book[M]. Amsterdam: Elsevier Health Sciences.
- FONTENAY B P D, ARGAUD S, BLACHE Y, et al., 2014. Asymmetries in joint work during multi-joint movement after anterior cruciate ligament reconstruction: A pilot study[J]. Scand J Med Sci Sports, 24(6): e471- e476.
- GERBER J P, MARCUS R L, DIBBLE L E, et al., 2009. The use of eccentrically biased resistance exercise to mitigate muscle impairments following anterior cruciate ligament reconstruction: A short review[J]. Sports Health, 1(1): 31-38.
- HART R, KREJZLA J, SVÁB P, et al., 2008. Outcomes after conventional versus computer-navigated anterior cruciate ligament reconstruction[J]. Arthroscopy, 24(5): 569-578.
- HASEGAWA S, KOBAYASHI M, ARAI R, et al., 2011. Effect of early implementation of electrical muscle stimulation to prevent muscle atrophy and weakness in patients after anterior cruciate ligament reconstruction[J]. J Electromyogr Kinesiol, 21(4): 622-630.
- HEWETT T E, MYER G D, ZAZULAK B T, 2008. Hamstrings to quadriceps peak torque ratios diverge between sexes with increasing isokinetic angular velocity[J]. J Sci Med Sport, 11(5): 452-459.
- MAFIN, LORENTZON R, Alfredson H, et al., 2001. Superior short-term results with eccentric calf muscle training compared to concentric training in a randomized prospective multicenter study on patients with chronic Achilles tendinosis[J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 9(1): 42-47.
- MARIA M D, BARBIERA F, CASTO A L, et al., 1996. Biomechanical correlations of lesions associated with traumatic diseases of the anterior cruciate ligament. Analysis with magnetic resonance[J]. Radiol Med, 91(6): 693-699.
- MCHUGH M P, TYLER T F, GREENBERG S C, et al., 2002. Differences in activation patterns between eccentric and concentric quadriceps contractions[J]. J Sports Sci, 20(2): 83-91.
- MYERS H, CHRISTOPHERSON Z, BUTLER R J, 2018. Relationship between the lower quarter Y-balance test scores and isokinetic strength testing in patients status post ACL reconstruction[J]. Int J Sports Phys Ther, 13(2): 152-159.
- NAGELLI C V, HEWETT T E, 2017. Should return to sport be delayed until 2 years after anterior cruciate ligament reconstruction? Biological and functional considerations[J]. Sports Med, 47(2): 221-232.
- NOYES F R, MOOAR P A, MATTHEWS D S, et al., 1983. The symptomatic anterior cruciate-deficient knee. Part I: The long-term functional disability in athletically active individuals[J]. JBJS, 65(2): 154-162.
- SEKIR U, GUR H, AKOVA B, 2010. Early versus late start of isokinetic hamstring-strengthening exercise after anterior cruciate ligament reconstruction with patellar tendon graft[J]. Am J Sports Med, 38(3): 492-500.
- SNYDER-MACKLER L, LADIN Z, SCHEPSIS A A, et al., 1991. Electrical stimulation of the thigh muscles after reconstruction of the anterior cruciate ligament. Effects of electrically elicited contraction of the quadriceps femoris and hamstring muscles on gait and on strength of the thigh muscles[J]. J Bone Joint Surg Am, 73(7): 1025-1036.
- STREICH N A, FRIEDRICH K, GOTTERBARM T, et al., 2008. Reconstruction of the ACL with a semitendinosus tendon graft: A prospective randomized single blinded comparison of double-bundle versus single-bundle technique in male athletes [J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 16(3): 232-238.
- THOMÉÉ R, KAPLAN Y, KVIST J, et al., 2011. Muscle strength and hop performance criteria prior to return to sports after ACL reconstruction [J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 19(11): 1798-1805.
- TIMM K E, 1988. Postsurgical knee rehabilitation: A five year study of four methods and 5,381 patients[J]. Am J Sports Med, 16(5): 463-468.
- TJONG V K, MURNAGHAN M L, NYHOF-YOUNG J M, et al., 2014. A qualitative investigation of the decision to return to sport after anterior cruciate ligament reconstruction: To play or not to play[J]. Am J Sports Med, 42(2): 336-342.
- WIGERSTAD-LOSSING I, GRIMBY G, JONSSON T, et al., 1988. Effects of electrical muscle stimulation combined with voluntary contractions after knee ligament surgery[J]. Med Sci Sports Exer, 20(1): 93-98.

## 附录 A

表 A1 徐梦桃术后第 1 阶段(14~22 周)康复训练计划

Table A1 Xu Mengtao's Rehabilitation Training Program at 14~22 Weeks Post-operation

	上午	下午
周一	1. 肩部小力量练习、震动杆结合平衡盘热身 2. 坐姿双臂哑铃肩上推 15 kg, 5 组, 每组 8 次 3. 双臂臂屈伸 5 组, 每组 8 次 4. 俯撑 TRX 脚踏瑞士球俯卧撑 3 组, 每组 12 次 5. 手拉 TRX 脚踏瑞士球反向划船 3 组, 每组 12 次 6. 杠铃卧推 45 kg, 5 组, 每组 8 次 7. 杠铃划船 40 kg, 5 组, 每组 8 次 8. 仰卧瑞士球单臂哑铃卧推 20 kg, 双侧各 3 组, 每组 12 次 9. 脚踏瑞士球单臂哑铃划船 12.5 kg, 双侧各 3 组, 每组 12 次	休息

	上午	下午
周二	1. 健身操 60 min 2. 有氧动感单车 40 min 3. 核心区力量练习: 1) 腹桥 5 组, 每组 1 min; 2) 仰卧瑞士球摆臂 5 组, 每组 12 次; 3) 负重两头起 6 kg, 4 组, 每组 15 次 + 5 次无负重快起	1. 静蹲练习 3 组, 每组 2 min 2. 站姿屈伸髋健侧 25 kg, 3 组, 每组 12 次, 患侧 21 kg, 6 组, 每组 12 次 3. 上举下蹲 20 kg, 5 组, 每组 12 次 4. Milon 腿部离心训练-向心 100 kg/离心 130 kg, 5 组, 每组 12 次 5. 站姿电刺激患侧单腿蹲 50 kg, 6 组, 每组 12 次 6. 仰卧电刺激单腿拉球 4 kg, 4 组, 每组 12 次, 患侧 4 kg, 8 组, 每组 12 次 7. 坐姿提踵 30 kg, 5 组, 每组 12 次 8. 弹力带勾踝 20 lb, 5 组, 每组 12 次
周三	1. 平衡练习: 1) 双脚站立平衡盘 3 组 4 min; 2) 脚踩泡沫轴正反向滚动 3 组 1 min 2. 灵敏练习(绳梯练习 15 min) 3. 核心区力量练习: 1) 仰卧负重挺髋 65 kg, 5 组, 每组 15 次; 2) 负重侧起 7.5 kg, 4 组, 每组 12 次; 3) 负重背起 30 kg, 5 组, 每组 15 次 5. 侧桥支撑髋关节内收 2.5 kg, 4 组, 每组 10 次 6. 俯撑髋关节外展 2.5 kg, 4 组, 每组 10 次	休息
周四	1. 气阻练习: 1) 肩关节外旋 3 kg, 3 组, 每组 10 次; 肩关节内旋 3 kg, 3 组, 每组 10 次; 站姿飞鸟 4 kg, 3 组, 每组 10 次 2. 抛实心球 4 kg, 3 组, 每组 10 次 3. 双臂屈伸 5 组, 每组 10 次 4. 坐姿双臂哑铃肩上推 15 kg, 5 组, 每组 10 次 5. 仰卧瑞士球单臂哑铃卧推 20 kg, 双侧各 4 组, 每组 12 次 6. 俯身单臂哑铃划船 15 kg, 双侧各 4 组, 每组 12 次 7. 单膝跪立单臂哑铃肩上推 12.5 kg, 双侧各 4 组, 每组 12 次 8. 引体向上 4 组, 每组 10 次	休息
周五	训练内容同周二上午	训练内容同周二下午
周六	训练内容同周三上午	休息

表 A2 徐梦桃术后第 2 阶段(23~28 周)康复训练计划

Table A2 Xu Mengtao's Rehabilitation Training Program at 23~28 Weeks Post-operation

	上午	下午
周一	滑跳台练习	1. 杠铃高翻 28 kg, 6 组, 每组 5 次 2. 杠铃卧推 50 kg, 5 组, 每组 10 次 3. 杠铃划船 45 kg, 5 组, 每组 10 次 4. 引体向上 5 组, 每组 8 次 5. 单膝跪立不对称推 15 kg, 双侧各 3 组, 每组 8 次 6. 站姿弹力带髋关节内收健侧 3 组, 每组 10 次, 患侧 8 组, 每组 10 次 7. 俯撑髋关节外展 5 kg, 4 组, 每组 10 次
周二	1. 有氧跑 30 min 2. 灵敏跑和跳跃练习 30 min 3. 平衡练习: 双脚站立 2 个平衡板 3 组, 每组 4 min 4. 核心区力量练习 5 组: 1) 仰卧交替抬腿 30 次; 2) 仰卧举腿摸脚跟 30 次; 3) 侧卧抱头起 双侧各 15 次; 4) 侧卧单腿支撑对侧起 双侧各 15 次; 5) 俯撑屈腿拉球 30 次; 6) 仰卧对侧起 双侧各 15 次	1. 静蹲 3 组, 时长分别为 3 mm、4 mm、5 mm 2. 单腿蹲健侧 60 kg, 3 组 10 次, 患侧 60 kg, 5 组 10 次 3. 患侧等速伸膝 60°/s, 6 组, 每组 10 次 4. 深蹲 75 kg, 5 组, 每组 5 次 5. 电刺激单腿蹲健侧 40 kg, 4 组, 每组 8 次, 患侧 40 kg, 8 组, 每组 8 次 6. 腘绳肌人力抗阻 8 组, 每组 8 次

(续表A2)

	上午	下午
周三	1. 平衡练习 2. 双脚站立平衡板抛接实心球练习 8 lb, 3组 4 min 3. 单脚闭眼站立平衡软垫双侧各 3组 2 min 4. 灵敏练习(绳梯练习及跳跃练习) 5. 杠铃直腿硬拉 50 kg, 5组 12次 6. 负重背起 35 kg, 5组 15次 7. 仰卧负重侧转 10 kg, 5组 12次 8. 站姿提踵 75 kg, 4组 10次, 患侧 8组 10次 9. 弹力带勾踝 20 lb, 健侧 4组 10次, 患侧 8组 10次	休息
周四	训练内容同周一上午	1. 肩部小力量、震动杆结合平衡盘热身 2. 坐姿双臂哑铃肩上推 17.5 kg, 5组, 每组 8次 3. 引体向上 5组, 每组 8次 4. 单膝跪立斜下拉 15 kg, 双侧各 3组, 每组 8次 5. 单膝跪立斜上拉 15 kg, 双侧各 3组, 每组 8次 6. 单膝跪立不对称推 15 kg, 双侧各 3组, 每组 8次 7. 弹力带髋关节内收 20 lb, 健侧 3组, 每组 10次, 患侧 8组, 每组 10次 8. 俯撑髋关节外展 5 kg, 4组, 每组 10次 训练内容同周二下午
周五	1. 有氧跑练习 40 min 2. 平衡练习: 双脚站立两个平衡板结合震动杆练习 3组 4 min 3. 核心区力量练习 6组: 1) 仰卧交替抬腿 30次; 2) 仰卧举腿摸脚跟 30次; 3) 侧卧抱头起 双侧各 15次; 4) 侧卧单腿支撑对侧起 双侧各 15次; 5) 俯撑屈腿拉球 30次; 6) 仰卧对侧起 双侧各 15次	训练内容同周二下午
周六	训练内容同周三上午	休息

表 A3 徐梦桃术后第 3 阶段(29~36周)康复训练计划

Table A3 Xu Mengtao's Rehabilitation Training Program at 29~36 Weeks Post-operation

	上午	下午
周一	跳台练习	1. 杠铃高翻 60 kg, 5组, 每组 4次 2. 坐姿双臂哑铃肩上推 17.5 kg, 5组, 每组 8次 3. 引体向上 5组, 每组 8次 4. 站姿气阻单臂下压 8.8 kg, 双侧各 4组, 每组 10次 5. 站姿一推一拉 9 kg, 双侧各 4组, 每组 8次 6. 单膝跪立侧拉 15 kg, 双侧各 4组, 每组 10次
周二	1. 有氧练习 30 min 2. 平衡练习: 1) 单脚闭眼站立 双侧各 3组, 每组 1.5 min; 2) 双脚站立平衡板抛实心球 8 lb, 3组, 每组 3 min; 3) 单脚站立 BOSU 球侧抛实心球 8 lb, 双侧各 3组, 每组 1.5 min 3. 核心区力量练习: 1) 瑞士球仰卧摆臂 4组, 每组 12次+静控 20 s; 2) 负重两头起 8 kg, 4组, 每组 12次+8次无负重; 3) 侧桥负重挺髌 35 kg, 4组, 每组 15次+静控 20 s; 4) 负重背起 40 kg, 4组, 每组 15次 4. 站姿提踵 70 kg, 5组, 每组 12次 5. 弹力带勾踝 20 lb, 5组, 每组 12次	1. 上举下蹲 55 kg, 5组, 每组 10次 2. 患侧等速伸膝 60°/s, 8组, 每组 8次 3. 深蹲 110 kg, 6组, 每组 6次 4. 患侧单腿蹲 90 kg, 5组, 每组 8次 5. 箭步蹲 50 kg, 双侧各 5组, 每组 6次 6. 等速屈膝 60°/s, 8组, 每组 8次
周三	跳台训练	休息
周四	跳台训练	训练内容同周一上午
周五	1. 有氧练习 30 min 2. 平衡及跳跃练习	1. 患侧等速伸膝 60°/s, 8组, 每组 8次 2. 前蹲 80 kg, 3组, 每组 10次

	上午	下午
	3.核心区力量练习: 1)俯撑直腿拉瑞士球5组,每组12次+静控20s;2)仰卧直腿夹药球上举6lb,5组,每组12次;3)负重两头起8kg,5组,每组12次+8次无负重 4.提踵70kg,5组,每组12次; 5.弹力带勾踝20lb,5组,每组12次	3.单腿蹲90kg,健侧3组,每组8次,患侧6组,每组8次 4.后箭步蹲50kg,双侧各5组,每组6次 5.等速屈膝60°/s,8组,每组8次 6.弹力带腕关节内收20lb,4组,每组8次 7.俯撑腕关节外展5kg,5组,每组8次
周六	跳台训练	休息

表A4 徐梦桃术后第4阶段(37~42周)康复训练计划

Table A4 Xu Mengtao's Rehabilitation Training Program at 37~42 Weeks Post-operation

	上午	下午
周一	1.杠铃卧推50kg,5组,每组8次 2.双臂哑铃卧推22kg,5组,每组8次 3.双臂哑铃划船22kg,5组,每组8次 4.单臂哑铃划船20kg,双侧各5组,每组8次 5.站姿气阻单臂上拉4kg,双侧各4组,每组10次 6.站姿气阻单臂下压9kg,双侧各4组,每组10次 7.站姿气阻一推一拉9kg,双侧各4组,每组8次 8.双膝跪立杠铃转体15kg,3组,每组6次	蹦床
周二	1.动感单车高强度间歇训练40min 2.灵敏跑30min 3.核心区力量练习: 1)仰卧实心球转体8lb,5组,每组6次;2)俯撑屈腿拉瑞士球5组,每组20次; 3)侧桥负重挺髌35kg,双侧各5组,每组12次+静控20s	1.静蹲3组,每组3min 2.等速伸膝60°/s,8组,每组8次 3.上举下蹲45kg,3组,每组10次 4.深蹲120kg,8组,每组6次 5.箭步蹲80kg,双侧各5组,每组6次 6.等速屈膝60°/s,5组,每组10次
周三	1.平衡练习: 1)单脚闭眼站立双侧各3组,每组1min;2)单脚站立不同方向抛实心球8lb,双侧各3组,每组1min;3)单脚站立侧向不同方向抛球双侧各3组,每组1min 2.颈部练习: 1)仰卧颈部静控1.5kg,3组,每组2min;2)俯卧颈部静控1.5kg,3组,每组2min; 3)侧卧颈部静控1kg,双侧各3组,每组1min 3.站姿提踵80kg,5组,每组10次 4.弹力带勾踝20lb,5组,每组10次 5.侧桥支撑腕关节内收5kg,双侧各5组,每组10次 6.俯撑腕关节外展4kg,5组,每组10次 7.仰卧负重挺髌80kg,5组,每组15次 8.背起40kg,5组,每组15次	休息
周四	1.单臂哑铃抓举18kg,双侧各5组,每组6次 2.杠铃高翻50kg,5组,每组5次 3.坐姿双臂哑铃肩上推17.5kg,5组,每组8次 4.负重双臂臂屈伸5kg,5组,每组8次 5.坐姿单臂哑铃肩上推15kg,双侧各5组,每组8次 6.坐姿单臂气阻下拉16kg,双侧各5组,每组10次 7.单膝跪立气阻双臂斜上拉12kg,双侧各4组,每组10次 8.单膝跪立气阻双臂斜下拉12kg,双侧各4组,每组10次	蹦床
周五	1.战绳练习6组,每组4min 2.平衡练习: 1)单脚闭眼站立平衡盘双侧各3组,每组1.5min;2)双脚站立平衡板3组,每组3min;3)单脚站立BOSU球抛接实心球8lb,双侧各3组,每组90s 3.核心区力量练习: 1)仰卧负重静控-颈部负重1kg,5组,每组1min;2)侧桥脚踏瑞士球拉球+持哑铃向内转体2kg,双侧各4组,每组1min	训练内容同周二下午



