



功能测试算法在前交叉韧带重建术后重返运动中的应用

杨涛

摘要: 前交叉韧带重建术后重返运动时机是运动医学关注的焦点。目前观点认为前交叉韧带术后重返运动时机选择应基于功能测试结果,而非单纯由术后时间决定。功能测试算法(Functional Testing Algorithm, FTA)是一种基于康复结果来评估膝关节功能恢复的测试体系。本文通过对现有文献中相关功能测试指标的测试时间和数据进行梳理,旨在为患者系统使用 FTA 体系提供可借鉴的参考依据。

关键词: 功能表现;功能测试算法;前交叉韧带重建;重返运动

中图分类号:G804 文献标志码:A 文章编号:1006-1207(2020)03-0020-07

DOI:10.12064/ssr.20200304

Application of Functional Testing Algorithm in Returning to Play after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction

YANG Tao

(Shanghai University of Sport, Shanghai 200438, China)

Abstract: The timing of return to play after anterior cruciate ligament reconstruction has always been the focus of sports medicine. Currently it is held that the time should be based on the results of functional tests, rather than simply determined by the postoperative time. Functional testing algorithm (FTA) is a testing system to evaluate knee function recovery based on rehabilitation results. This study reviews the test time and data of the related functional test indicators in the existing literature, in order to provide a reference for patients to use FTA system.

Key Words: functional performance; functional testing algorithm; anterior cruciate ligament reconstruction; return to play

前交叉韧带 (Anterior Cruciate Ligament, ACL) 损伤发生率多年来居高不下。有研究显示,美国每年会进行约 10~20 万例的 ACL 重建术 (Anterior Cruciate Ligament Reconstruction, ACLR),且在运动员中,每 1 000 人中就会出现 0.7~2.5 例 ACL 损伤^[1]。对于功能性膝关节不稳的患者和想要安全重返赛场的运动员来说,ACLR 都是首选的治疗方案。

为帮助患者尽早重返运动,许多医疗机构都制定了康复方案^[2-4],每个方案都有自身的康复流程和重返标准,这些康复方案的最终目标是让患者安全重返运动。近年来,ACLR 后重返运动时机的相关研究始终是运动医学领域关注的焦点。美国医学会-运动医学分会 (American Medical Society for Sports

Medicine, AMSSM) 等 6 家权威机构认为,仅以术后时间作为重返标准具有较大风险,而采用一组客观的功能测试作为决策依据是较好的选择^[5]。不过,Barber-Westin 等进行文献回顾发现有 40% 的研究没有报告重返标准,另外 32% 的研究中只使用了术后时间作为重返标准,只有 13% 的研究使用客观测试来确定运动员何时可以重返运动^[6]。涉及指标主要有 4 类:膝关节等速肌力测试,下肢功能测试(即多种单脚跳),速度灵敏指标以及动作或落地的力学机制^[6]。尽管目前各研究之间功能测试指标的遴选已大致趋同,但在测试时机的选择上却存在明显差异,本研究对各功能测试指标在不同时间点参考值进行梳理,为 ACLR 术后计划重返运动的患者提供参考依据。

收稿日期:2020-02-28

作者简介:杨涛,男,博士,副教授,硕士生导师。主要研究方向:运动医学。E-mail:yangtao318@126.com。

作者单位:上海体育学院,上海 200438。

1 功能测试的概念

“功能”一词最初起源于物理治疗和康复训练领域,经过近几年的发展,“功能表现”(functional performance)、功能训练(functional training)逐渐成为大众健身和职业体育领域的流行词汇。究竟何为“功能表现”,主要取决于对“functional”的不同理解,美国物理治疗协会(American Physical Therapy Association, APTA)2001年定义为支持身体、社会和心理健康以及创造有意义生活的个人意识所需的能力^[7]。Austin定义为在人的层面上的任何与任务相关的、目标导向的、与环境密切相关的、涉及多种身体系统和结构的整合的运动^[8]。而“功能训练”,顾名思义就是以提高“功能表现”为目的的相关训练。尽管国内外学者对“功能训练”的概念描述存在一定差异,但对其内涵认识却逐渐趋于一致,具体包括:(1)将人体运动作为整体进行训练;(2)强调多平面多关节动作;(3)强调身体姿态控制;(4)强调肌肉整体平衡;(5)强调肌肉功能最优化;(6)强化神经控制能力;(7)重视拉伸-缩短模式^[6]。在此基础上,功能测试(Functional Testing)的概念也不再局限于过去临床物理诊断式的定性测评方法,而逐步向反映基本运动能力(力量、速度、灵敏、爆发、平衡、本体感觉、柔韧性等)级别的定量化测试方向发展。测试的目的是为了鉴别个体的运动能力等级和潜在的不足,通过不同年龄、性别、体型和职业的大样本人群,进行大样本测量后获得“正常水平”的评价基线值。因此,功能测试也称为循证测试(Evidence-Based Testing)。

与传统体质测试相比,功能测试着眼于整体运动能力(包括日常生活中的活动)或存在的限制。功能测试以实证为基础,在测试时,与单项身体素质测试相比,功能测试聚焦于身体运动能力的整体表现或存在的不足,专业人员应在测试结果与患者重返意愿之间进行客观的安全考量和权衡。由于患者重返运动的项目、等级不同,对于功能表现测试的选择必然也不尽相同,但必要的因素还是可以归纳为动作模式、平衡和本体感觉、柔韧性、肌力、功率、肌耐力、速度、灵敏和有氧无氧适能(图1)^[9]。

总体来说,功能表现测试可用来帮助参与职业竞技、业余体育活动的人群确定适当的级别和水平;当个人受伤时,它被用来确定个人是否有能力恢复个人需要或希望从事的活动。这些测试的分数应该可以帮助预测个体能达到的水平,或可以安全地重返运动的等级。

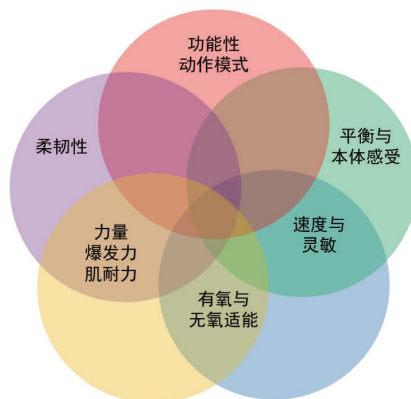


图1 功能测试的基本要素^[10]

Figure 1 Basic Elements of Functional Test^[10]

2 功能测试算法

如上所述,功能测试包含对不同身体运动需求的大量复杂内容,临床医师和体能教练应确保测试内容符合患者的康复进程和运动水平,比如在术后6周就安排单脚跳测试,被认为对手术膝关节具有较大的伤害风险。在选择测试方面,Davies和Zillmer提出的定量和定性的功能测试算法(Functional Testing Algorithm, FTA)是一种客观、系统,且基于功能的逐级恢复(即患者必须通过某一级功能性能测试,然后才能进行下一高级别测试)来设定的测试方案,这种方案对于处于康复进程中的患者具有较好的指导作用(图2)^[11]。

2.1 平衡与本体感受

FTA体系的第一步评估从平衡和本体感受开始,这是因为人体测量学和肌肉活动度的评估在术后2~4周的临床康复阶段就已完成。测试方法可以选择单脚站立稳定测试或Romberg测试,或是两者均测试^[11]。测试的目标是确定双下肢对称性。如果患侧与健侧的测量值或评分差异大于10%,说明需要进行平衡和本体感觉康复训练;如果两者的测量值或评分差异小于10%,提示可以进阶至下一阶段测试。

2.2 等速肌力测试

等速肌力测试具有无预负荷、无惯性的特点,这使其成为患者康复过程中相对安全的肌力评估手段。此外,等速肌力测试可以反映出关节周围主动肌和拮抗肌间的肌力平衡情况,对膝关节稳定性具有较好的预判作用。其中,股四头肌(伸膝)、腘绳肌(屈膝)在不同角速度下的峰值力矩(peak torque)是目前肌力测定中最常用的一个指标^[12-14]。使用等速设

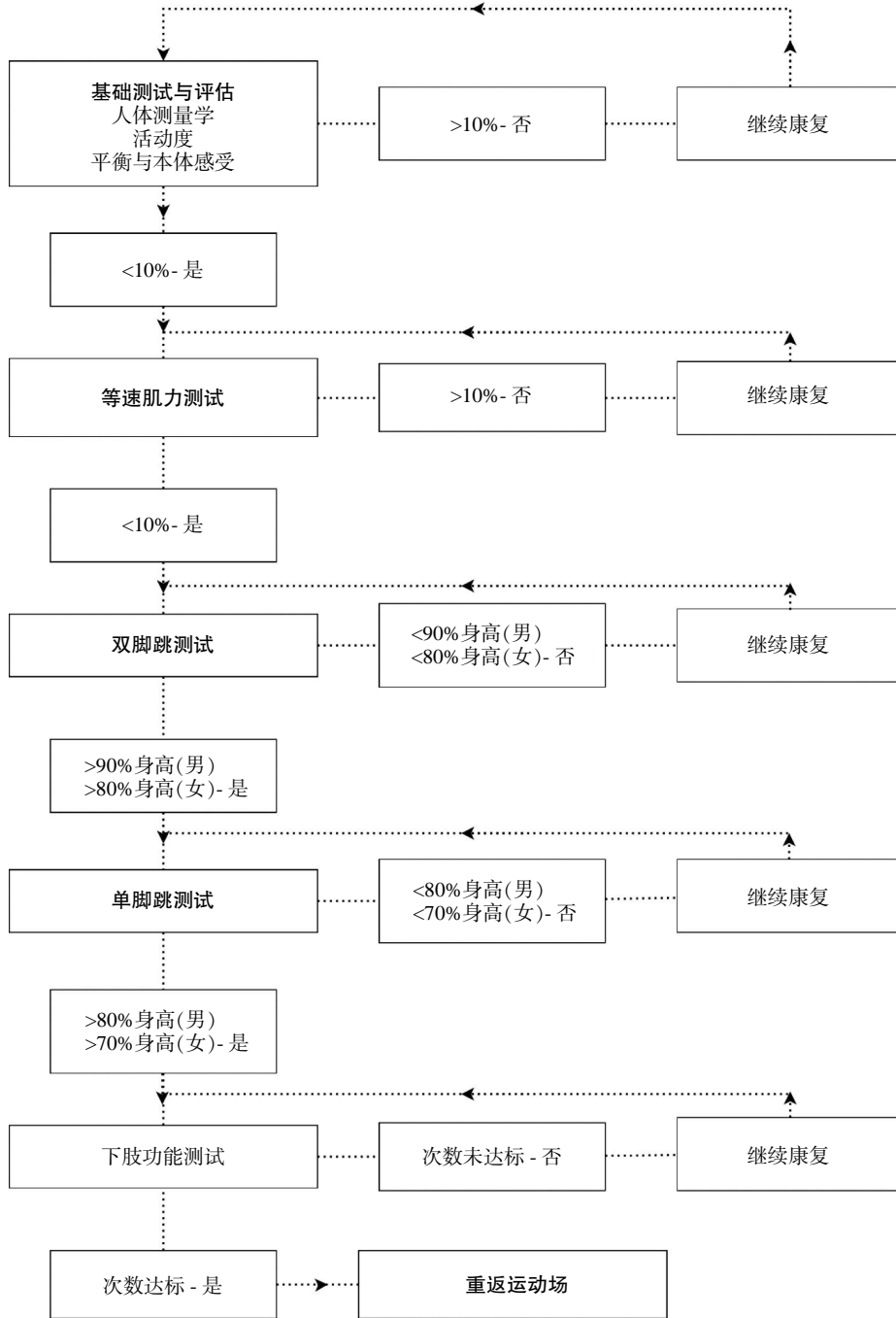


图 2 下肢肌肉损伤功能性测试流程图^[11]

Figure 2 Flow Chart of Functional Test for Lower Limb Muscle Injury^[11]

备来测试膝关节力量水平是高度可靠的，通常将角速度 $\leq 60^\circ/s$ 称为慢速测试，反映最大力量；角速度 $> 180^\circ/s$ 称为快速测试，主要反映肌肉耐力；角速度在 $120\sim 180^\circ/s$ 称为中速测试，反映速度力量，即功率。

通过文献回顾发现，术后6个月，患侧与健侧腿相比，膝关节等速伸展峰力矩双侧对称性，即下肢对称指数(Limb Symmetry Index, LSI)未能达到80% (LSI=患侧患侧腿成绩/健侧腿成绩 $\times 100\%$)。在所有患者的比较中，在所有的角速度和多个时间

点，膝关节的等速伸展峰力矩 LSI 均存在不足；而膝关节屈曲峰力矩 LSI 值则相对较好(表1)。FTA 体系认为，进阶到下一阶段的测试标准是患侧与健侧在各种角速度下峰值力矩的差异小于10%^[11]。值得注意的是，等速肌力只反映单关节力量，且仅为向心肌力，并不属于典型的功能表现测试，但在尝试评估下肢功能力量之前，首先评估等速肌力的原因是最大程度地避免二次损伤风险，并可以给患者敢于尝试跳跃的信心。



表1 膝关节力量测试 LSI(%) 结果^[12]

Table 1 LSI (%) Results of Knee Joint Strength Test^[12]

测试指标	术后随访时间				
	6个月	9个月	12个月	18个月	24个月
屈曲峰力矩					
60°/s	89±8	95±4	92±6	95±6	98±3
120°/s	97±14	—	90±14	—	100
180°/s	92±7	95	96±4	100	96±7
240°/s	92±1	—	94±3	95	94±5
伸展峰力矩					
60°/s	75±9	73±3	86±6	89±6	93±5
120°/s	74±4	—	87±8	—	100
180°/s	84±6	79	88±5	84	96±4
240°/s	79±3	—	89±2	89	91±2

注:表中数据为 LSI(%)均数±标准差,部分仅有百分比的数据说明没有足够的数据来计算标准偏差。—表明没有可用的数据

2.3 双脚跳测试

立定跳远是典型的双脚测试,反映下肢功能力量、神经肌肉控制和下肢爆发力^[13]。测试时可以充分地利用上肢摆臂来完成,除了要记录跳远的距离外,还需要关注起跳落地的动作模式。在实践中,双脚在落地时是否平行是很好的一个观测点,通常伤侧腿由于不敢负重,落地时患侧脚往往会比健侧脚靠前。尽管双脚跳的能力与受伤前的运动水平高度相关,但可以通过自己的身高将跳远距离标准化。在落地力学机制良好的基础,双腿跳的距离男性达到自己身高的90%以上,女性达到自己身高的80%以上,则可以进阶到单腿跳测试,否则需要进行下肢功能力量的康复训练^[14]。尽管双脚跳可以在一定程度反映出下肢功能力量和神经肌肉控制的水平,但在实际运动中,双脚跳的动作并不常见,如果患者需要重返包含切步和旋转动作项目,就需要进一步进行单脚跳测试。

2.4 单脚跳测试

单脚跳(single-leg hop for distance)是目前最常用的神经肌肉控制评价指标,可以反映下肢力量、爆发力和姿势稳定性的整体水平^[14]。已被膝关节主观评价表(International Knee Documentation Committee, IKDC)纳入膝关节评估方案中^[15-18]。对于单脚跳的成绩,很多文献给出了参考值,但由于样本量均较小,数据相差较大。神经肌肉控制是指对于感觉刺激做出反应时,膝关节肌肉无意识激活的能力。当 ACL 损伤或是接受 ACLR 后,由于膝关节神经肌肉控制能力的缺失或不足,会引起膝关节运动

学和动力学的改变,而正是这种改变增加了受伤的可能。因此,目前已将该指标作为患者重返运动,尤其是运动员重返竞技运动时必不可少的评估指标。比如,当运动员完成竞技动作时(如跳起后的落地、变向、减速),作用于膝关节的力量包括动态力量和静态力量,这两种力量协同保持关节的稳定性。动态力量包括有意识和无意识的骨骼肌激活,静态力量是由韧带、软组织、骨骼产生的非收缩性力量。在完成关节稳定过程中,这两种力量的程度由个人特征和动作要求所决定。当动态力量不足以使关节保持稳定时,静态力量将会增加——这可能是导致 ACL 损伤的潜在因素^[19]。因此,动态力量生成的神经肌肉控制模式不佳会导致静态力量的增加,从而使关节功能稳定性下降,最终可能导致 ACL 损伤。

回顾文献发现,有数据报道的有单脚跳远、单脚交叉跳、单脚三连跳、单脚6m计时跳、单脚台阶跳测试、30s侧向单脚跳和侧向跳楼梯(表2),统计发现,这些测试结果随着时间的延后有逐渐改善的趋势,几乎所有指标的结果在术后1年均超过90%。单脚跳 LSI 在术后6个月、1年和2年时分别为87%、92%和94%^[12]。而30s侧向单脚跳和侧向跳楼梯在术后1年 LSI 值仅为86%和88%,提示膝关节在垂直面和额状面的运动仍存在恢复不足,这需要膝关节具有良好的动态稳定性和减速制动能力,特别需要腓绳肌具有良好的力量并能参与减速动作。而4种最常见的跳跃测试(单脚跳、交叉跳、三连跳、6m计时跳)则主要反映矢状面运动能力,主要考验的是股四头肌力量。

表2 多种单脚跳测试 LSI(%) 结果^[12]

Table 2 LSI (%) Results of Multiple Hop Tests^[12]

测试指标	术后随访时间				
	6个月	9个月	12个月	18个月	24个月
单脚跳远	87±6	90±2	92±3	92	94±4
单脚交叉跳	90±4	91±3	92±3	96	93
单脚三连跳	90±4	92	95±3	94	96±2
6m计时单脚跳	90±7	96	94±5	—	99±1
30s侧向单脚跳	76	—	86	—	95±4
单脚跳楼梯	87	—	88	90	95

注:表中数据为 LSI(%)均数±标准差,部分仅有百分比的数据说明没有足够的数据来计算标准偏差。—表明没有可用的数据

从现有的 ACLR 的文献来看,基本都在采用 LSI 反映其功能是否正常。由于 LSI 为相对值,近年来,一些学者提出了 ACLR 后以无损伤腿测试



值作为参考依据计算出 LSI 值作为重返标准存在缺陷。在 ACL 损伤和 / 或 ACLR 后,无损伤腿会出现本体感觉和力量缺损、肌肉活动减少、姿势控制改变、步态和跳跃落地缺陷均被证实^[20-22]。FTA 体系给出了相对量化的具体标准,运动员单脚跳成绩可以达到自己身高的 80% (男性)、70% (女性) 即可认为是合格^[11]。

2.5 下肢功能测试

下肢功能测试(Lower Extremity Functional Test, LEFT)是 FTA 的最后一部分。迄今为止,关于 ACL 重建术后重返运动的研究中尚未见到该测试值的报道。笔者分析认为,其难以操作的原因主要有以下两点:

第一,由于包含了较多高难度运动模式测试内容,在面积 3 m×9 m 的长方形区域的边线上依次设置 A、B、C、D 4 个点(具体位置分别为 6 点、9 点、12 点、3 点),要求依次完成冲刺跑、后退跑、侧向折返跑、卡里奥克跑、8 字跑、45°切步、90°切步和交叉步等 16 项任务,记录完成的总时间。这其中既包含了对完成时间的客观评估,又包含了对完成动作质量的主观评估,因此,并不适用于缺乏运动经验的普通人群。

第二,FTA 体系给出的 LEFT 测试评价标准是:男性 100 s 为合格、<90 s 为优秀、>125 s 为较差;女性 135 s 为合格、<120 s 为优秀、>150 s 为较差^[10]。这说明该测试是一种高强度无氧能力测试,心肺耐力不佳者也难以完成全部测试,即便是训练有素的运动员,如果没有建立良好的抗神经肌肉疲劳能力,也会由于测试压力过大对术后的膝关节产生较大二次损伤风险。因此,只有职业运动员重返高强度比赛时才会使用 LEFT。

尽管未见到完成的 LEFT 测试的报道,但单独的速度、灵敏的相关指标的追踪数据仍具有一定的参考价值。对于包含着减速、变向、切步等技术动作的项目,判断 ACLR 重返运动时是否能有效地回归比赛的最直接的方法,就是选择与专项运动关系更密切的灵敏素质测试(表 3)。但这存在一定的二次损伤风险,而且考虑到伤前运动水平的差异,较难提供常模性数据进行参考。在术后 6~24 个月,协调收缩、折返跑和卡里奥克测试没有组间差异($P > 0.240$),改良灵敏测试和 PRO 灵敏测试的成绩,男性好于女性。改良平衡失误计分系统测试(Balance Error Scoring System, BESS)在术后 12 个月左右得分为 7.0。

表 3 灵敏爆发力指标^[12]

Table 3 Reactive and Explosive Strength Index^[12]

测试指标	术后随访时间				
	6 个月	9 个月	12 个月	18 个月	24 个月
协调收缩测试 Co-contraction	14.9	—	15.8	16.0	15.8
折返跑测试 Shuttle run	8.9	—	8.0	8.5	8.1
卡里奥克测试 Carioca test	11.4±2.9	—	9.5	11.0	9.4±0.1
改良灵敏测试(男/女) Modified agility test	—	10.4/10.8	—	—	—
PRO 灵敏测试 (男/女)Pro shuttle	—	5.2/5.7	—	—	—
改良 BESS 测试	—	—	7.0	—	—

注:—表明没有可用的数据

3 FTA 的应用局限

3.1 等速肌力阈值

关于 FTA 体系中对膝关节等速肌力的报道大量使用 H/Q 以及 LSI 值等相对值作为参考,并未给出实际的测量值标准。根据欧洲运动委员会(EBSR)的建议,膝关节肌肉力量应该用 60°/s 峰值力矩(Nm)/体重(kg)的相对值表示,ACLR 后等距股四头肌强度的阈值为 >3.0 Nm/kg。Willigenburg N. W. M. 等的研究显示,ACLR 后重返运动的患者的等速肌力相对值达到 2.8 Nm/kg^[12],认为股四头肌力量还与其他的评价指标(如单脚跳远)存在高度相关。Schmitt L. C. 等的研究发现,ACLR 后重返运动时股四头肌肌力不足时(LSI < 85%),在所有运动和地面反作用力测试中均会表现出不对称性,说明股四头肌肌力不足会对膝关节落地时的力学机制造成不良影响^[23]。Krishnan C. 等的研究发现,尽管接受 ACLR 的膝关节在不同屈曲角度都存在股四头肌肌力不足的现象,但在 45°屈曲时股四头肌的自主收缩肌力不足最为明显^[24]。鉴于在膝关节屈曲 45°时股四头肌肌力和运动表现关系最密切,建议评估该关节角度下的肌力与活化程度,更容易发现膝关节肌力是否存在不足。但上述的研究均为小样本个案研究,并未形成共识。在 ACLR 后运动员重返赛场过程中,等速肌力练习是否合适介入,屈肌/伸肌峰力矩应该达到何种阈值才算安全,还需要进一步实验证明。

3.2 心理量表

检索文献发现,常用的心理量表有:the Swedish Version of ACL-Return to Sports after Injury Questionnaire, Emotional Responses of Athletes to Injury Ques



tionnaire 心理问卷 (ERAIQ), the Tampa Scale for Kinesiophobia 12 and the ACL Return to Sport Index (ACL-RSI)。有研究尝试检测 ACL 损伤和手术对返回运动的心理影响, 采用了运动员对损伤的情绪反应问卷 ERAIQ、the Tampa Scale for Kinesiophobia 12 和 the ACL Return to Sport Index (ACL-RSI)。Alberto G. 等发现, 接受手术后重返运动的运动员得分明显高于没有重返运动的运动员, 表明他们返回到受伤前运动参与水平的动机更强烈, 同样, 返回运动的参与者 ACL-RSI 得分明显高于没有返回的, 也表明恢复体育活动的参与者具备更积极的心理反应^[25]。Tjong V. K. 等人对 31 位患者 (年龄 18~40 岁) 进行了定性和半结构性随访, 结果显示出 3 个主要的问题: 恐惧、生活习惯改变和固有的人格特征。这些因素在很大程度上影响着返回受伤前运动的决策^[26]。Czuppon S. 等研究发现, 与返回运动相关的因素除了与较高的股四头肌力量、较少渗出、较少疼痛、较大的胫骨旋转、较高的 Marx Activity score 等生理指标相关外, 还与较高的自信、术前较高的膝关节自我效能、较低恐惧感、较好的术前鼓励相关联^[27]。因此, 在 FTA 体系中增加心理问卷量表会对进一步的康复策略提供有效的指引。

4 小结与展望

ACL 后重返运动始终是运动医学领域研究的热点问题。过往研究主要存在的缺陷与不足有两个: 一是涉及指标范围较广, 其中不少指标为评估膝关节结构和移植物愈合的临床指标, 难以为 ACL 损伤运动员术后的运动能力进行有效评估和风险预测, 并为重返决策提供直接帮助; 二是部分测试指标未提供测试结果的准确采集时间, 或采集时间跨度较大 (6~24 个月), 此外由于涉及不同术种、移植物, 以及患者之间存在较大的人口学差异等原因, 难以对现有测试值进行横向比较, 形成常模性数据。FTA 体系则较好地解决了上述两个问题, 同时也证实术后时间并不是重返运动的可靠判定依据, 功能表现才是最关键的重返条件。

对于职业运动员, 重返决策既是医学问题, 也是法律问题。医生和教练尽管拥有一定的重返决策权, 但运动员一定是最终的决策者, 医疗机构提供的物理检查和影像学检查结果远没有运动员看到自己的运动表现更为直观。近几年, 采用激进的康复手段, 鼓励运动员尽早重返比赛已经成为趋势, 这可能会使运动员持续存在膝关节缺陷 (手术腿和健侧腿对称性不良或未达到量化的标准值), 从而限制他们重

新安全返回到高强度的比赛中。FTA 体系则可以很好地帮助运动员遵从各自的康复路径来决定自己重返运动的强度, 使自己二次损伤的风险降到最低。但迄今为止, 完整采用 FTA 体系来重返运动的研究仍未见报道, 主要原因可能是最后一步 LEFT 测试挑战性较大, 对非专业运动员来说并不适用。而专业运动员受到年龄、性别、身体成分, 以及从事不同竞技项目的限制, 难以积累其短期大样本量的实证数据。值得注意的是, 对于重返比赛的运动员做好负荷管理、避免训练单调性可能是今后研究的方向之一。此外, 由于不同专项的运动模式和比赛情境仍存在差异, 在达到 LEFT 标准后, 进一步研究适合本项目的重返比赛标准应该可以帮助患者延长运动寿命。

参考文献:

- [1] Griffin L.Y., Agel J., Albohm M.J., et al. Noncontact anterior cruciate ligament injuries: Risk factors and prevention strategies[J]. J. Am. Acad. Orthop. Surg., 2000, 8(5): 141-150.
- [2] Mueller L. M., Bloomer B. A., Durall C.J. Which outcome measures should be utilized to determine readiness to play after ACL reconstruction[J]. J. Sport Rehabil., 2014, 23 (2): 158-164.
- [3] Ben Moussa. Improving functional performance and muscle power 4-to-6 months after anterior cruciate ligament reconstruction[J]. Journal of Sports Science and Medicine, 2011, 11(8): 347-349.
- [4] Jonsson H., Riklund-Ahlstrom K., Lind J. Positive pivot shift after ACL reconstruction predicts later osteoarthritis: 63 patients followed 5-9 years after surgery[J]. Acta. Orthop. Scand., 2004, 75(5): 594-599.
- [5] Hart R., Krezsla J., Svab P., et al. Outcomes after conventional versus computernavigated anterior cruciate ligament reconstruction[J]. Arthroscopy, 2008, 24(5): 569-578.
- [6] Barber Westin S. D., Noyes F. R. Factors Used to Determine Return to Unrestricted Sports Activities After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction[J]. Arthroscopy the Journal of Arthroscopic & Related Surgery, 2011, 27(12):1697-1705.
- [7] Chiarello L., Dichter C., Gocha V., et al. Guide to physical therapist practice[J]. Pediatric Physical Therapy, 1999, 11(4):9-746.
- [8] Austin G. P. Functional testing and return to activity [A].//Magee D. J., Zachazewski J. A., Quillen W. S. Scientific Foundations and Principles of Practice in Mu-



- sculoskeletal Rehabilitation. St.Louis: Saunders, 2007.
- [9] Gambetta V., Gray G. Following a functional path[J]. Training & Conditioning, 1995, 5(2): 25-30.
- [10] Michael P. R., Robert C. M. Functional Testing in Human Performance[M]. Illinois: Human Kinetics, 2009.
- [11] Davies G. J., Zillmer D. A. Ellenbecker TS(ed.),knee Ligament Rehabilitation[M]. New York: Churchill Livingstone, 2000.
- [12] Willigenburg N., Hewett T. E. Performance on the Functional Movement Screen Is Related to Hop Performance But Not to Hip and Knee Strength in Collegiate Football Players[J]. Clin. J. Sport Med., 2017, 27(2): 119-126.
- [13] Reid A., Birmingham T. B., Stratford P.W., et al. Hop testing provides a reliable and valid outcome measure during rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction[J]. Phys. Ther., 2007, 87(3): 337-349.
- [14] Ebert J. R., Edwards P., Yi L., et al. Strength and functional symmetry is associated with post-operative rehabilitation in patients following anterior cruciate ligament reconstruction[J]. Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc., 2018, 26 (8): 2353-2361.
- [15] Grindem H., Wellsandt E., Failla M., et al. Anterior Cruciate Ligament Injury-Who Succeeds Without Reconstructive Surgery? The Delaware-Oslo ACL Cohort Study[J]. Orthopaedic journal of sports medicine, 2018, 6 (5): 2325.
- [16] Ajuied A., Wong F., Smith C., et al. Anterior cruciate ligament injury and radiologic progression of knee osteoarthritis: a systematic review and meta-analysis[J]. Am. J. Sports Med., 2014, 42(9): 2242-2252.
- [17] Isberg J., Eva F., Brandsson S., et al. Early active extension after anterior cruciate ligament reconstruction does not result in increased laxity of the knee [J]. Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc., 2006, 14(11): 1108-1115.
- [18] Czuppon S., Racette B. A., Klein S. E., et al. Variables associated with return to sport following anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review[J]. Br. J. Sports Med., 2014, 48(5): 356-364.
- [19] Noyes F. R., Barber S. D., Mangine R. E. Abnormal lower limb symmetry determined by function hop tests after anterior cruciate ligament rupture[J]. Am. J. Sports Med., 1991, 19(5): 513-518.
- [20] Paterno M. V., Schmitt L. C., Ford K. R., et al. Biomechanical measures during landing and postural stability predict second anterior cruciate ligament injury after anterior cruciate ligament reconstruction and return to sport[J]. Am. J. Sports Med., 2010, 38(10): 1968-1978.
- [21] Roemer F. W., Froebel L. R., Hunter D. J., et al. MRI-detected subchondral bone marrow signal alterations of the knee joint: terminology, imaging appearance, relevance and radiological differential diagnosis[J]. Osteoarthritis Cartilage, 2009, 17(9): 1115-1531.
- [22] Johnson D. L., Bealle D. P., Brand J. C., et al. The effect of a geographic lateral bone bruise on knee inflammation after acute anterior cruciate ligament rupture [J]. Am. J. Sports Med., 2000, 28(2): 152-155.
- [23] Schmitt L. C., Paterno M. V., Ford K. R., et al. Strength Asymmetry and Landing Mechanics at Return to Sport after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction [J]. Med. Sci. Sports Exerc., 2015, 47(7):1426-1434.
- [24] Krishnan C., Theuerkauf P. Effect of Knee Angle on Quadriceps Strength and Activation after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction[J]. J. Appl. Physiol., 2015, 119 (3):223-231.
- [25] Alberto G., Georgios K., Dnyanesh G. Factors Affecting Return to Sport after ACL Reconstruction[J]. Sports Injuries, 2014:1059-1066.
- [26] Tjong V. K., Murnaghan M. L., Nyhof-Young J. M., et al. A Qualitative Investigation of the Decision to Return to Sport after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: to Play or not to Play[J]. American Journal of Sports Medicine, 2014, 42(2):336-342.
- [27] Czuppon S., Racette B. A., Klein S. E., et al. Variables Associated with Return to Sport Following Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review [J]. British Journal of Sports Medicine, 2014, 48(5): 356-364.

(责任编辑:刘畅)