

运动生物力学方法在康复体能训练中的应用

——马拉松项目康复体能训练保障个案研究

袁 鹏

摘 要: 康复性体能训练通过改善生物力学结构的失衡状态, 能够预防运动损伤和提高伤后功能的恢复, 已在临床骨科疾病康复和运动员伤后恢复方面发展迅速。本文以马拉松运动员的康复体能训练为例, 介绍常见运动生物力学方法如何介入康复体能训练的各个过程, 怎样保障康复性体能训练的系统性和有效性。

关键词: 生物力学; 康复性体能训练; 应用

中图分类号: G808

文献标志码: A

文章编号: 1006-1207(2011)05-0020-05

Application of Biomechanics to Physical Recovery Training —— Case Study on Physical Recovery Training in Marathon

YUAN Peng

(Jiangsu Research Institute of Sports Science, Nanjing 210033, China)

Abstract: Rehabilitation physical training can better the imbalance status of biomechanical composition, prevent sports injury and improve functional rehabilitation after injury. It has been widely used in clinical orthopaedic disease recovery and athletes' rehabilitation after injury. Taking the rehabilitation physical training of marathon runners as an example, the paper introduces the process of using biomechanical means in rehabilitation physical training and how to ensure the systematization and effectiveness of rehabilitation physical training.

Key words: biomechanics; rehabilitation physical training; application

康复性体能训练(Prehabilitation)概念的提出最早是由Rowntree(1942)美国医疗部门用于军士入伍检查。Spain(1985)提出康复性体能训练是预防损伤的重要部分, 通过管理急性损伤、针对性体能训练和防止不必要功能退化, 帮助运动员以应对损伤和提高机能。此后, 康复性体能训练在临床骨科疾病的康复和运动员的伤后恢复方面发展迅速。Ditmyer(2002)运用康复性体能训练方法对骨科手术进行术前干预, 发现有促进术后的功能恢复。Jaggers(2007)在膝关节置换术前进行康复性体能训练有效提高了术后的功能。Jennifer(2005)在排球项目中运用康复性体能训练显著降低排球运动员的损伤发生率。Pearce(2006)认为, 青年运动员应重视错误运动技能的校正, 并通过康复性体能训练改善生物力学结构的失衡状态, 进而预防运动损伤和提高伤后功能的恢复。陈方灿(2006)将康复性体能训练概念引入国内, 并在北京奥运会备战周期内帮助优秀运动员尽快地康复或恢复机能状态、提高健康水平。

康复性体能训练应在详尽调查既往运动损伤发病史、姿态与功能评估和运动生物力学测试的基础上, 结合具体运动方式特点、伤病复发率、性别和种族差异, 确定薄弱环节和损伤发生风险, 最终构建完整和有效的康复体能训练体系。目前的康复性体能训练研究主要集中在肌力平衡(Strength Balance)、核心力量(Core Strength)、稳定性

(Stability)和功能性训练(Functional Training)4个方面, 借助运动技能学、运动生物力学和运动医学等方法, 开展相关的病变机理、训练方法和效度研究。本文以马拉松运动员的康复体能训练为例, 介绍运动生物力学方法如何介入康复体能训练的各个过程。

1 对象与方法

1.1 研究对象

国家女子马拉松队运动员周××, 国际健将。

1.2 研究方法

采用数字化跑鞋测试系统(中科院合肥智能机械研究所), 采样频率最大1 000 Hz, 测试场地和公路两种不同专项结构的步长和步频。场地训练时1 km、2 km或5 km为一段落, 步频统计时以400 m为最小分析周期。公路训练时, 选取16 km训练段落, 步频统计以每公里作为最小分析单位。

Novel Pedar足底压力分布测试系统(Germany), 每只鞋垫按足底情况分布配置99个传感器, 测试运动员足底不同区域跑动时的受力情况。本次实验采集9个复步, 18个单步为研究对象。测试速度10 km/h, 采集样本量N=9。

运用ISOMED2000等速测试系统(Germany)进行两

收稿日期: 2011-09-10

基金项目: 国家体育总局奥运攻关课题(07079)

作者简介: 袁 鹏, 男, 博士, 主要研究方向: 运动生物力学测量与评价。

作者单位: 江苏省体育科学研究所, 南京 210033

次肩、躯干、髋、膝和踝关节力量测试,两个阶段分属2007年田径世锦赛结束后和奥运决赛备战的关键点。测试速度选择 $60^{\circ}/s$ 、 $300^{\circ}/s$,躯干和踝关节的速度选择 $60^{\circ}/s$ 和 $180^{\circ}/s$,运动方式为屈、伸,测试前系统进行常规校正,分析指标选取峰力矩(Nm)、屈伸肌群峰力矩比值、双侧差异(%)。

2 结果与分析

2.1 马拉松项目康复体能训练的周期安排

Leveratt (1999)在综述耐力训练和力量训练的交互影响时提出耐力项目的体能训练要注重训练安排的周期性,以避免两种训练效应的相互影响。Erickson (2005)认为,长跑运动员体能训练常见误区是以为耐力项目的体能训练就是整年的低强度和高重复的力量训练。Paul (2007)指出,长跑项目的体能训练安排应与专项训练的强度和量相一致,尽量满足周期训练原则。马拉松项目是周期性耐力项目,技术结构虽简单但微小的不稳定就会造成过多的能耗,或是劳损引起损伤。因此,马拉松项目的体能训练更加注重细节的训练。文献报道,马拉松项目多发下肢部位劳损型运动损伤,踝关节韧带损伤、髌尖劳损、髂胫束综合症、胫骨疲劳性骨折、跟腱肌腱炎和足底筋膜炎等常见,这些慢性损伤与运动强度和疲劳恢复程度有着直接关系。此外,专项体能训练还特别注重与专项训练计划的密切配合,包括场地训练和公路训练的核心部位训练差别,高原和平原的体能训练方法区别,平路训练和坡道训练的下肢体能储备不同。

根据以上研究成果和专项训练周期安排,19个月的体能训练安排详见图1。2007年2月至2008年8月共19个月划分为两个阶段,前11个月为基础体能训练,每周安排2~3次体能训练课,后8个月全力加强赛前专项体能训练和康复体能训练,每周安排2~3次体能训练/1~2次康复体能训练。

2007年												2008年							
2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	
基础体能训练										康复体能				专项体能训练-康复体能训练					
上下肢基础力量-力量耐力										核心部位-四肢力量耐力						核心力量耐力-爆发力			
全身性肌力均衡训练										核心与四肢肌力均衡									
公路-平地用力结构调整												坡道-原地用力结构调整							

图1 女子马拉松(一组)体能训练周期安排

Figure 1 Program of Physical Training Cycle for Women's Marathon (Group 1)

2.2 运动技术分析

合理的技术结构是提高竞技能力的基础,专项技术结构的优化通常意义上指技术动作的运动学指标优化,包括适宜的步长和步频,如步频 $3.34\sim 3.80$ 步/s,女子步长 $1.68\sim 1.90$ m,包括比例适宜的支撑时间和腾空时间,重心平稳、动作协调放松,整体呈现能量节省化的外部表现。但对于周××而言,作为国际健将已有多年的训练经历,技术结构基本定型,若要想通过改变运动学意义上的技术结构短期内很难实现。因此,本研究运用数字跑鞋测试方法,分析周××在不同场地条件和速度条件下的技术特点,旨在

诊断该队员目前的专项技术特点和不足,为完善技术结构提供依据。为此,我们把完善技术结构研究着眼于改善动力链用力结构,通过平衡机体各部位的力量分配,改善拮抗肌肌力比例、矫正对侧肌力差异、协调动力链工作效能,力争通过体能训练的手段达到动力学意义上的专项技术结构节省化的目的。

图2中可以看出,周××场地训练时步频平均值在 3.44 步/s左右,但连续每圈(400 m)的步频波动较剧烈,说明其场地技术存在不稳定因素。结合力量测试结果分析与双侧下肢的力量差异有关,特别是双侧踝关节超过50%的差异,导致弯道频率损失明显。

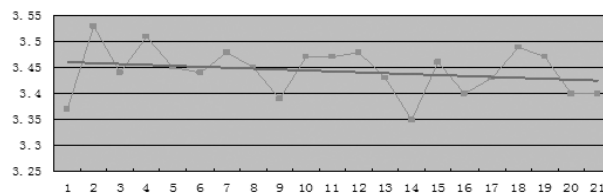


图2 周××场地训练步频统计(步/s)

Figure 2 Stride Frequency of Zhou in Course Training (stride/s)

16 km训练时,步频统计以每公里作为最小分析单位。从图3中可以看出,周××在平跑和途中跑阶段频率控制较为稳定,但最后冲刺阶段步频明显不稳,甚至有逐步下降趋势。结合力量测试结果,周××在下肢力量特别是爆发力方面仍需要提高。

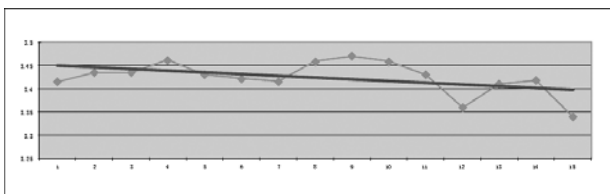


图3 周××16 km公路训练步频统计(步/s)

Figure 3 Stride Frequency of Zhou in 16km Highway Training

2.3 足底压力测试与诊断

从图4中可以看出右脚的平均压力中线基本沿着足底的中线分布,并且相对于左脚来说,前后分布较为均匀、合理。左脚的平均压力线的足前部分基本沿着足底中线,而后半部分稍微偏向外侧,并且压力线分布较右脚的为短。图4说明左足前半部分用力较大,左右脚用力不均衡。左脚的跑动技术可能有点外下翻,技术上需要改进。

图4和表1表示左脚第4步和左脚第5步的一个复步足底压力变化情况,也是周××跑步技术周期性变化规律的一个特征图,能很好地说明她单个周期复步的技术情况和整体的足底受力变化是一致的。她的右脚承受的压力、平均压力和平均压强都大于左脚。而左脚由于用力集中在前脚掌部分,右足前后分布均匀,因此出现左足的最大压强 335.00 KPa大于右脚的最大压强 307.50 KPa。而平均压强则是右足的 117.82 KPa大于左足 112.55 KPa。

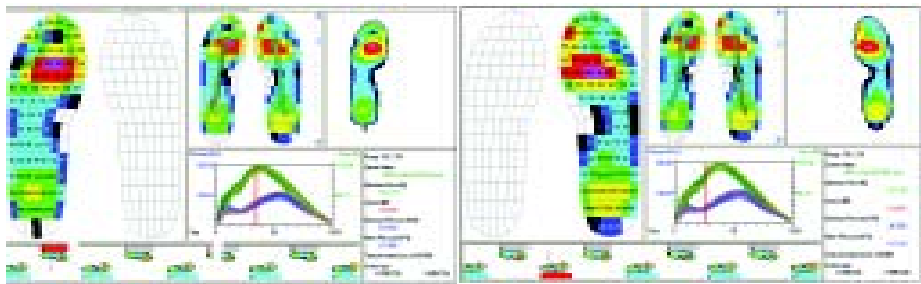


图4 左脚第4步和右脚第5步的一个复步足底压力变化情况图

Figure 4 Double Step Sole Pressure Variation of the Fourth Stride of the Left Foot and the Fifth Stride of the Right Foot

表1 右脚第4步和左脚第5步的一个复步足底压力大小

Table I Double Step Sole Pressure of the Fourth Stride of the Right Foot and the Fifth Stride of the Left Foot

脚别	最大压力 /N	相当于 体重倍数	平均压力 /N	最大压强 /KPa	平均压强 /KPa
左脚—第4步	1057.65	2.30	152	335.00	112.55
右脚—第5步	1087.66	2.34	163	307.50	117.82

综合上述足底压力测试分析,周××左足前半部分受力较大,左右脚用力不均衡,右足习惯性的比左足用力较大,右足为主动腿。左脚的跑动技术可能有点外下翻,应加大左足的蹬伸力使双侧足在跑动过程中用力均衡,防止长期用力不均衡造成的关节伤害。应加大左足的足跟部分的着地面积,减小左足前脚掌所受到的受力和压强,使左足在跑动过程中前后用力均匀。

2.4 等速力量测试与评价

一直以来,马拉松项目是否需要体能训练和力量训练在业界存有分歧,教练员和运动员对于体能训练的实施有着多种顾虑。研究表明,力量训练并不能提高最大摄氧量和无氧阈,但合理的力量训练可以通过改善解剖特性、运动技术、神经肌肉技能和弹性能量贮备等提高做功的有效性。Kraemer(1988)发现力量训练可有效预防耐力项目的运动损伤发生,Behm(1993)和Hoff(1996)研究表明,神经肌肉协调性的适应性改变是耐力项目做功效率改善的主要原因,与肌肉肥大无关。

表3 周××髋关节屈、伸肌峰力矩及屈/伸比

Table III Peak Torque of Flexor/Extensor and Flexion/Extension Ratio of Zhou's Hip

测试时间	左侧			右侧			双侧差异	
	屈/Nm	伸/Nm	屈/伸(%)	屈/Nm	伸/Nm	屈/伸(%)	屈/%	伸/%
60°/s 第一次	93	154	60.4	94	159	59.1	1.1	3.2
	102	148	68.9*	90	130*	69.2*	11.8	12.2
300°/s 第一次	58	105	55.2	58	111	52.3	0	5.7
	75	129	58.1*	60	117	51.3	20*	9.3

注: *为 $P < 0.05$

2.4.3 膝关节肌力测试

表4中,周××膝关节肌力呈上升趋势,其中伸肌力量提高较为显著($P < 0.05$)。在第一次测试中,由于伸肌力量相对屈肌过于偏弱,导致膝关节屈伸拮抗比异常偏高,

2.4.1 躯干肌力测试

表2中,周××躯干伸肌呈显著($P < 0.05$)提高趋势,躯干屈伸肌群拮抗比呈现上升趋势。躯干屈伸肌群拮抗比最高时67%,低于国内学者75%的研究结果。Fredericson(2005)提出,长跑选手应加强核心稳定性训练,躯干肌群

表2 周××躯干屈、伸肌峰力矩及屈/伸比

Table II Peak Torque of Flexor/Extensor and Flexion/Extension Ratio of Zhou's Trunk

	测试时间	屈/Nm	伸/Nm	屈/伸(%)
60°/s 第一次		97	152	63.8
	第二次	105	157	66.9
180°/s 第一次		77	127	60.6
	第二次	100*	160*	62.5

注: *为 $P < 0.05$

对于维持长时间的运动姿态稳定具有重要意义,并且有助于加速和变速阶段的伸髋作用。

2.4.2 髋关节肌力测试

表3中,周××髋关节慢速肌力呈下降趋势,快速肌力呈上升趋势,屈伸肌群拮抗比也呈上升趋势,且具显著性($P < 0.05$)。髋关节是现代跑步技术中重要的动力源,但长跑运动员更加重视髋关节的速度耐力,因此快速肌力的改善相对更加重要。本研究周××的髋关节快速肌力虽有提高,但由于右侧肌力提高不够显著,使得双侧屈肌差异显著加大,一定程度上对双侧用力协调造成了一定的影响。

已经达到优秀短跑运动员水平。经过体能训练干预后,膝关节屈伸肌群拮抗比改善较明显,已恢复至正常值50%~70%范围内。双侧差异有改变,具体表现为右膝较左膝力量大。这种变化呈现出髋、膝关节协调互补的一种趋势,既通过



表4 周××膝关节屈、伸肌峰力矩及屈/伸比

Table IV Peak Torque of Flexor/ Extensor and Flexion/Extension Ratio of Zhou's Knee

测试时间	左侧			右侧			双侧差异	
	屈/Nm	伸/Nm	屈/伸 (%)	屈/Nm	伸/Nm	屈/伸 (%)	屈/%	伸/%
60° /s 第一次	66	96	68.8	55	106	51.9	16.7	10.4
	69	121 *	57 *	79 *	133 *	59.4	14.5	9.9
300° /s 第一次	48	49	98	58	49	118.4	20.8	0
	46	70 *	65.7 *	55	76 *	72.4 *	19.6	8.6

注: *为 $P < 0.05$

髌、膝关节的肌力调整以达到双侧动力链平衡的效果。这与Hoff的观点相一致,即神经肌肉协调性的适应性改变是耐力项目做功效率改善的主要原因。

2.4.4 踝关节肌力测试

表5中,周××踝关节屈伸肌力呈上升趋势,均具有显著性($P < 0.05$),屈伸肌群拮抗比也由最初的异常状态回落至30%左右的正常值。在第一次测试结果中可以看出,周××踝关节背屈非常薄弱,并且双侧差异已经显著到高风险状态,这与该运动员的伤病史是一致的,右踝经常在训练中发

生损伤。经过系统的体能训练干预后,踝关节背屈力量薄弱和双侧差异偏大的问题得到明显改善,并且踝关节快速力量得到明显提升,运动员的后程冲刺和变速能力也有了一定的提高。国外学者的研究结果已证实,爆发力训练有助于长跑运动员的速度能力提高。Nummela(2006)认为,耐力项目的运动节省化与神经肌肉系统的做功能力高度相关。Jung(2003)研究发现,超等长力量训练可提高做功有效性8%。Johnston(1997)和Spurrs(2002)研究发现,6~10周的抗阻训练和超等长训练可以有效提高运动技术的节

表5 周××踝关节屈、伸肌峰力矩及屈/伸比

Table V Peak Torque of Flexor/ Extensor and Flexion/Extension Ratio of Zhou's Ankle

测试时间	左侧			右侧			双侧差异	
	屈/Nm	伸/Nm	屈/伸 (%)	屈/Nm	伸/Nm	屈/伸 (%)	屈/%	伸/%
60° /s 第一次	16	39	41	9	45	20	43.8	15.4
	24 *	55 *	43.6	19 *	67 *	28.4	20.8 *	17.9
180° /s 第一次	13	27	48.1	1	31	3.2	92.3	14.8
	16	58 *	27.6 *	10 *	61 *	16.4 *	37.5 *	4.9

注: *为 $P < 0.05$

省化。

2.4.5 肩关节肌力测试

表6中,周××肩关节屈伸肌力呈上升趋势,左侧伸肌和右侧屈肌具有显著性($P < 0.05$)。屈伸肌群拮抗比由第一次时的较异常,已改善至正常值100%左右,并且双侧差异显著改善,均在10%的最佳水平。与短跑运动员强有力的主

动摆臂不同,摆臂技术对于长跑运动员来说更为重要。Pate在有氧耐力能力构成模型研究中已明确提出做功有效性是其中重要影响因素之一。长跑运动员要求长时间内保持协调均衡的摆臂动作,不仅有助于下肢发力的用力协调,还能够帮助提高技术动作的节省化水平和神经肌肉系统的协调做功能力。

表6 周××肩关节屈、伸肌峰力矩及屈/伸比

Table VI Peak Torque of Flexor/ Extensor and Flexion/Extension Ratio of Zhou's Shoulder

测试时间	左侧			右侧			双侧差异	
	屈/Nm	伸/Nm	屈/伸 (%)	屈/Nm	伸/Nm	屈/伸 (%)	屈/%	伸/%
60° /s 第一次	34	30	113.3	30	39	76.9	11.8	30
	37	39	94.9	40	40	100 *	7.5	11.1 *
300° /s 第一次	31	24	129.2	22	31	71	29	29.2
	36	33 *	109.1 *	37 *	33	112.1 *	2.7 *	0 *

注: *为 $P < 0.05$

3 结论

3.1 马拉松运动员周××专项技术不够稳定,场地训练时弯道步频损失明显,公路训练时途中跑步频较稳定;冲刺阶段步频波动剧烈,并呈下降趋势。

3.2 周××左足前半部分受力较大,左右脚用力不均衡,右足习惯性的比左足用力较大,有较高踝关节损伤倾向。

3.3 经等速肌力测试诊断,周××主要用力部位均存在明显隐患,如腹肌偏弱引起的躯干拮抗肌群力量比例偏低(63.8%),左侧伸肩肌力和右侧屈肩肌力偏弱引起的双侧力量差异较大(20%~29%),屈髋肌力偏弱引起的髋部拮抗肌比例偏低(60%),屈膝肌力偏弱引起的膝部拮抗肌比例偏低(52%),踝关节整体力量偏低尤为明显,特别是右侧踝关节的屈肌力量已达到伤病发生的标准。



3.4 通过下肢协调性训练、核心功能训练、下肢稳定性和力量耐力训练、爆发力训练、踝关节 5 个方面稳定性训练和康复性体能训练干预后, 周××肩关节拮抗肌比例 1: 1, 双侧力量差异接近 10%; 髌关节力量差异回落至 15% 以内; 膝关节屈伸肌群的拮抗比例达 60% 的安全水平, 力量差异回落至 15% 以内; 双侧踝关节的力量显著提高, 拮抗肌群比例超过 35%。

3.5 运用技术分析、足底压力测量和等速肌力测试等手段, 可监控和评价康复性体能训练的全部过程, 保障了康复性体能训练的系统性和有效性。

4 不足与致谢

本工作是跟队服务研究, 由于马拉松项目需要长期转场训练和不同环境训练, 监控的系统性和研究的重复性难度极大。因此, 本次借助运动生物力学分析手段的应用研究在系统性和严谨性方面有待加强。衷心感谢国家体科所王清研究员和郝卫亚研究员的精心指导, 感谢中科院合肥智能机械研究所的技术支持。

参考文献:

- [1] Pate, R. R., A. Kriska.(1984). Physiological basis of the sex difference in cardiorespiratory endurance. *Sports Med.* 1:87-98.
- [2] Jan Hoff.(2006). Muscular strength training effects on aerobic endurance Performance. 5th International Conference on Strength Training, Oktober .
- [3] BLAZEIVICH, A.J., AND D.G. JENKINS.(2002). Effect of the movement speed of resistance training on sprint and strength performance in concurrently training elite junior sprinters. *J. Sports Sci.* 20: 981(R)C990.
- [4] MURPHY, A.J., AND G.J. WILSON.(1997). The ability of tests of muscular function to reflect training-induced changes in performance. *J. Sports Sci.* 15:191(R) 200.
- [5] Craemer, W.J., Deschenes, M.R. and S.J. Fleck.(1988). Physiological adaptations to resistance exercise: Implications for athletic conditioning. *Sports Med.* 6(4):246-256.
- [6] Joseph A.(1990). Chromiak and Donald R. Mulvaney. A Review: The Effect of Combined strength and Endurance Training on Strength Development. *J. Sports Sci.* 4(2):55-60.
- [7] Liam C. Hennessy and Anthony W.S. Watson.(1994). The Interference Effects of Training for Strength and Endurance Simultaneously. *J. NSCA Res*, 8(1):12-19.
- [8] Fredericson, M. and T. Moore.(2005). Core stabilization training for middle- and long-distance runner. *New Stud. Athletics.* 20:25-37.
- [9] Erickson, T.M.(2005). The benefits of strength training for endurance athletes. *NSCA Perform. Training J.* 4(2):13-17.
- [10] Johnston, R.E., T.J. Quinn, R. Kertzer, and N.B. Vroman. (1997). Strength training in female distance runners: Impact on running economy. *J. Strength Con. Res.* 11:224-229.
- [11] Jung, A.P.(2003). The impact of resistance training on distance running performance. *Sports Med.* 33:539-552.
- [12] Leveritt, M., P.J. Abernethy, B.K. Barry, and P.A. Logan. (1999). Concurrent strength and endurance training: A review. *Sports Med.* 28:413-427.
- [13] Rhea, M. R., W.T. PHILLIPS, L.N. BURKETT, W.J. STONE, S.D. BALL, B.A. ALVAR, AND A.B. THOMAS.(2003). A comparison of linear and daily undulating periodised programs with equated volume and intensity for local muscular endurance. *J. Strength Cond. Res.* 17:82-87.
- [14] SAUNDERS, P.U., D.B. PYNE, R.D. TELFORD, AND J.A. HAWLEY.(2004). Factors affecting running economy in trained distance runners. *Sports Med.* 34:465-485.
- [15] SPORER, B.C., AND H.A. WENGER.(2003). Effects of aerobic exercise on strength performance following various periods of recovery. *J. Strength Cond. Res.* 17:638-644.
- [16] SPURRS, R.W., A.J. MURPHY, AND M.L. WATSFORD.(2002). The effect of plyometric training on distance running performance. *Eur. J. Appl. Physiol.* 89:1-7.
- [17] 陈方灿. 康复性体能训练的理念和方法[J]. 中国体育教练员, 2006, 3:4-5.

(责任编辑: 何聪)