

## 800 m 跑下肢垂直刚度与腿刚度的变化特征

邵义强<sup>1</sup>, 罗炯<sup>2</sup>

(1.韶关学院 体育学院, 广东 韶关 512005; 2.西南大学 体育学院, 重庆 北碚 400715)

**摘要:** 利用弹簧质量模型对广东省第7届大学生运动会男子乙组800 m跑过程中, 支撑腿垂直刚度及腿刚度进行探讨, 结果表明: 腿垂直刚度、腿刚度及跑速在100~200 m区间内达到峰值, 并从此开始直到最后均呈连续下降; 垂直刚度及腿刚度与跑速均存在显著的线性正相关, 这种关联性也体现在与步频及步幅上; 垂直刚度与支撑时间、腾空时间存在显著负相关, 但却与腾空时间与支撑时间比值呈显著正相关, 其深层原因有待于进一步探讨; 800 m跑后期阶段, 要想保持跑速, 通过保持较高的垂直刚度来维持较高的步频最为关键。

**关键词:** 运动生物力学; 垂直刚度; 腿刚度; 弹簧质量模型; 800 m跑

中图分类号: G804.62 文献标识码: A 文章编号: 1006-7116(2010)10-0099-06

### Characteristics of the changes of lower limb vertical stiffness and leg stiffness during the 800 m run

SHAO Yi-qiang<sup>1</sup>, LUO Jiong<sup>2</sup>

(1.Department of Physical Education, Shaoguan University, Shaoguan 512005, China;

2.School of Physical Education, Southwest University, Chongqing 400715, China)

**Abstract:** By utilizing a spring mass model, the authors probed into supporting leg stiffness and leg stiffness during the 800m run competed in by male runners in group B in the 7<sup>th</sup> Guangdong College Student Games, and revealed the following findings: leg vertical stiffness, leg stiffness and running speed reached their peak values in the 100-200m zone, then started continuous dropping to the end; there was a linear positive correlation between vertical stiffness and running speed as well as between leg stiffness and running speed, and such a correlation also showed between vertical stiffness and the pace and stride as well as between leg stiffness and the pace and stride; there was a significant negative correlation between vertical stiffness and supporting time as well as soaring time, yet there was a significant positive correlation between vertical stiffness and the ratio of soaring time to supporting time, deep reasons for this should be further probed into; the ultimate key for the runners to maintain their running speeds at the late stage of the 800m run is to maintain a higher pace by maintaining a higher vertical stiffness.

**Key words:** sports biomechanics; vertical stiffness; leg stiffness; spring mass model; 800m run

800 m 中长跑是比较典型的有氧和无氧结合的项目。国内外学者做过许多探索, 认为防止疲劳是维持800 m 跑速及步频和步幅的重要因素。因此, 对该项目进行运动生物力学分析将为提高成绩提供有用的信息。基于这种目的, 本研究把人体简化为由一定质量和近似完全线性的腿弹簧组成弹簧-质量模型将非常有用。查阅相关文献, 学者们认为跑过程中, 腿的表现现象一根弹簧, 据此引入垂直刚度( $K_{vert}$ )的概念, 并

认为垂直刚度影响跑前进速度、步频、步幅、触地时间和腾空时间等。然而, 就800 m跑而言, 笔者未曾查阅到有学者对腿垂直刚度及腿刚度( $K_{leg}$ )的连续性问题进行过探讨, 也无人对腿的垂直刚度、腿刚度与跑速、步频和步幅之间的关系进行过相关研究。

### 1 研究对象与方法

#### 1.1 研究对象

收稿日期: 2010-03-15

作者简介: 邵义强 (1955-), 男, 副教授, 研究方向: 体育教育训练学与社会体育学。

本研究以广东省第 7 届大学生运动会男子乙组 800 m 决赛为研究对象,并在比赛进行前,测得各运动员的下肢长。

## 1.2 研究方法

### 1) 运动学参数测试。

以 100 m 为一分段区间,在比赛场地 400 m 跑道选取 4 个测量点,它们离起跑线距离依次为 50、150、250、350 m,从而将 800 m 跑分为 8 个时间段进行分析。4 台 JVC9800 高速摄像机 A、B、C、D 分别固定在环形跑道内的足球场上,距跑道 16 m,拍摄频率 100 帧/s,曝光时间为 1/250 s,镜头高 1.2 m,4 机主光轴与跑道垂直,定点拍摄运动员的单步动作全过程(如图 1)。使用北京体育大学生物力学教研室开发的视迅运动图像解析系统,选择扎齐奥尔斯基人体模型,对所拍摄的图像进行解析以获取相关运动学参数。

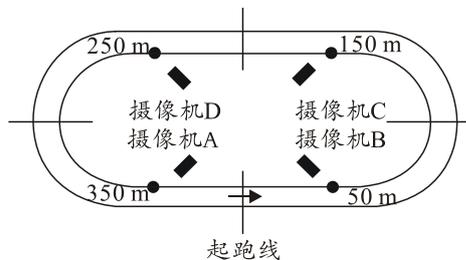


图 1 运动学测试示意图

### 2) 腿垂直刚度及腿刚度计算。

使用传统研究方法计算腿的垂直刚度<sup>[1]</sup>,即定义为支撑腿受垂直力峰值  $F_{\max}$ (N)与支撑过程中人体质心最大垂直位移  $\Delta y_c$ (m)的比率:  $K_{\text{leg}}=F_{\max} \cdot \Delta y_c^{-1}$ ;由于  $F_{\max}$  需要埋入跑道的测力台才能测出,故本研究使用莫林(Morin)等<sup>[2]</sup>公式进行估测计算:  $F_{\max}=mg\pi(t_s/t_c+1)/2$ ;  $\Delta y_c=F_{\max} \cdot \frac{t_c^2}{m(\pi^2)} - \frac{gt_c^2}{8}$ 。其中  $m$  是人体质量,  $g$  是重力加速度  $t_s$  为单步腾空时间,  $t_c$  单步支撑时间。

腿刚度计算直接采纳莫林等计算方法,即定义为垂直力峰值  $F_{\max}$ (N)和支撑腿最大压缩  $\Delta L$ (m)之间的比值:

$$K_{\text{leg}}=F_{\max} \cdot \Delta L^{-1}; \Delta L=L-\sqrt{L^2-(vt_c/2)^2} + \Delta y_c,$$

这里  $L$  为受试者腿长,测量方法为人体处于站立位时股骨大转子至地面距离,  $v$  是人体质心水平速度(m/s),  $t_c$  是每步的支撑时间。

### 3) 步频与步幅的确定。

步幅计算直接从解析软件获取,而步频的计算是根据跑速  $v$ =步幅×步频;跑速  $v$  指人体质心水平速度,由解析软件获得;本研究计算步频的跑速是指受试者一个单步过程中人体质心水平速度的平均值。

### 4) 数理统计。

全部数据处理使用 Spss13.0 分析模块,相关分析、变异分析、单因素方差分析等统计分析方法被用于相关数据处理上,所有统计检验的显著水平设置为  $\alpha=0.05$ 。

## 2 结果与分析

本研究使用定点拍摄,以 50、150、250、350、450、550、650、750 m 所拍摄的运动学参数近似代表 0~100、100~200、200~300、300~400、400~500、500~600、600~700、700~800 m 等 8 个分段区间的平均运动学参数。在每个拍摄点选取一个完整周步进行解析,动作时相包括①左(右)脚着地瞬间、②垂直支撑、③脚踏离地面瞬间、④腾空中间时相、⑤右(左)脚着地瞬间、⑥垂直支撑、⑦脚踏离地面瞬间、⑧腾空中间时相、⑨左或右脚着地瞬间。

### 2.1 腿刚度及垂直刚度特征

“刚度”指物体在受载时抵抗变形的能力,刚度大则变形小,刚度小则变形大。人体跑进时,下肢着地,刚度可增加支持组织的强度,抵抗地面对人体施加的反作用力。从运动表现角度看,支撑腿刚度值决定于肌肉、肌腱、韧带、软骨和骨骼的整体<sup>[1, 3-4]</sup>生物力学性质,一定水平的刚度表现可以有效发挥肌肉的离心-向心收缩(stretch-shortening cycle, 即 SSC)功能,进而可以在运动着地过程中有效释放贮存在肌肉骨骼系统中的弹性能<sup>[5-6]</sup>。

图 2 显示在 800 m 跑的前 0~150 m,腿垂直刚度呈增加趋势,达到最大值后,在接着 150~350 m 范围内,腿垂直刚度迅速下降,然后在 350~450 m 区间内,腿垂直刚度又呈现增加趋势,在余下 450~800 m 腿垂直刚度则一直呈缓慢下降趋势。图 3 显示的是腿刚度随跑距变化特征,在 0~150 m 区间内,其变化特征几乎与腿垂直刚度相同,只是在接下来的 150~800 m 距离内,腿刚度一直呈下降趋势,其中在 150~350 m 下降趋势快,而在 350~450 m 下降趋势变缓,在余下 450~800 m 下降趋势又加快。

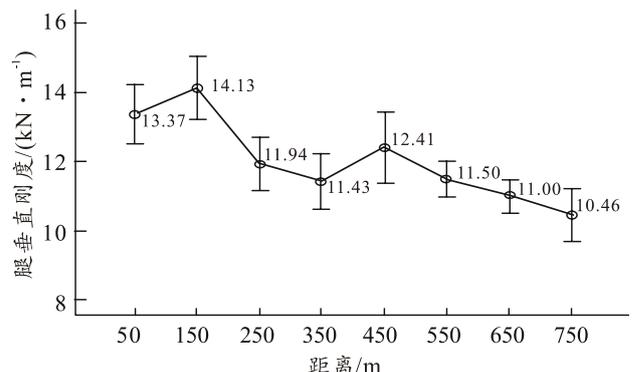


图 2 800 m 跑不同分段中腿垂直刚度的变化特征

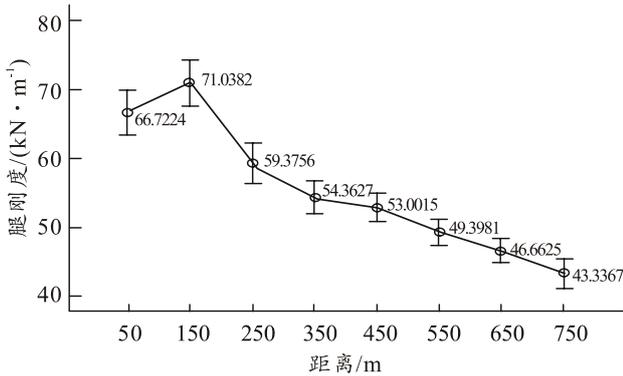


图 3 800 m 跑不同分段中腿刚度的变化特征

由表 1 可以看出 800 m 跑各区间段，人体支撑腿受地面支撑反作用力最大值、人体单步支撑过程中质心最大垂直位移变化、腿刚度及腿垂直刚度等 4 个参数统计数据，经单因素方差分析并进行多重比较，可获得各参数均衡子集特征：

1)地面支撑反作用力的大小归为 3 个子集：

(1)100 ~ 300 m 区间，支撑反作用力最大，平均约 2.05 kN；(2)0 ~ 100 m 以及 300 ~ 500 m 区间，平均支撑反作用力约为 1.98 kN；(3)为 500 ~ 800 m 区间，支撑反作用力最小，均值约 1.91 kN，且各子集间支撑反作用力差异具有显著性( $P < 0.05$ )。显然从子集区段看，800 m 跑的最后 300 m 地面支撑反作用力下降明显，相对于

100 ~ 300 m 区间，其下降率达 6.8%。

2)单步支撑过程中质心最大垂直位移归为 4 个子集：(1)0 ~ 200 m 区间，平均  $\Delta y_c$  值最小，约为 2.96 cm；(2)500 ~ 800 m 区间， $\Delta y_c$  值最大，平均约为 4.13 cm；(3)300 ~ 500 m 区间， $\Delta y_c$  值平均约 3.70 cm；(4)200 ~ 300 m 区间， $\Delta y_c$  值平均为 3.42 cm，经检验，4 个子集各区间  $\Delta y_c$  差异均有显著性( $P < 0.05$ )。

3)腿刚度的变化可归为 4 个子集，(1)0 ~ 200 m 区间，其值最大，平均约为 13.75 kN/m；(2)400 ~ 500 m 区间，平均约为 12.41 kN/m；(3)200 ~ 400 m 及 500 ~ 600 m 区间，平均约为 11.62 kN/m；(4)600 ~ 800 m 区间，腿刚度值最小，平均约为 10.73 kN/m，经检验 4 个子集各区间腿刚度差异均有显著性( $P < 0.05$ )。显然，与第 1 子集区间相比，600 ~ 800 m 区间内，腿刚度下降率达 21.9%。

4)腿垂直刚度的变化分为 5 个子集，(1)100 ~ 200 m 区间内，垂直刚度值最大，平均约为 71.04 kN/m；(2)0 ~ 100 m 区间，垂直刚度均值 66.72 kN/m；(3)200 ~ 300 m，垂直刚度均值 59.37 kN/m；(4)300 ~ 500 m 区间，垂直刚度均值约为 53.68 kN/m；(5)500 ~ 800 m 区间，垂直刚度均值约为 46.46 kN/m，经检验各子集间垂直刚度差异具有显著意义( $P < 0.05$ )。不难发现，500 ~ 800 m 区间，垂直刚度比最大值下降约 34.6%。

表 1 800 m 跑各区间运动员的腿弹簧-质量模型动力学参数 ( $\bar{x} \pm s$ )

区间/m	测点/m	$F_{max}/kN$	$\Delta y_c/cm$	腿刚度/ ( $N \cdot m^{-1}$ )	垂直刚度/ ( $N \cdot m^{-1}$ )
0 ~ 100	50	1.994±0.035	2.99±0.05	13.37±0.38	66.72±1.45
100 ~ 200	150	2.080±0.034	2.93±0.03	14.13±0.41	71.04±1.52
200 ~ 300	250	2.027±0.028	3.42±0.05	11.94±0.35	59.38±1.35
300 ~ 400	350	1.988±0.024	3.67±0.05	11.43±0.36	54.36±1.12
400 ~ 500	450	1.976±0.028	3.73±0.03	12.41±0.46	53.00±0.91
500 ~ 600	550	1.920±0.026	3.89±0.03	11.50±0.23	49.40±0.85
600 ~ 700	650	1.899±0.023	4.08±0.05	11.00±0.21	46.66±0.79
700 ~ 800	750	1.910±0.026	4.42±0.06	10.46±0.35	43.34±0.98

## 2.2 质心速度、步频与步幅特征

图 4 显示的是 800 m 跑各分段区间单步支撑时间及腾空时间变化特征，从中不难看出：从 0 ~ 350 m 范围内腾空时间呈增加趋势，从 350 ~ 650 m 腾空时间几乎变化不大，而从 650 ~ 800 m 腾空时间又呈现增加趋势；对于支撑时间而言，从 0 ~ 150 m 支撑时间下降，然后从 150 ~ 350 m 支撑时间开始增加，在 350 ~ 450 m 支撑时间又几乎保持不变，然后从 450 ~ 800 m 支撑时间呈增加趋势。图 5 显示的是 800 m 跑各分段区间上跑速的变化特征，其中从 0 ~ 150 m 区间内跑速是逐渐增加的，接着从 150 ~ 450 m 区间内急速下降，接着在

450 ~ 800 m 转为缓慢下降。

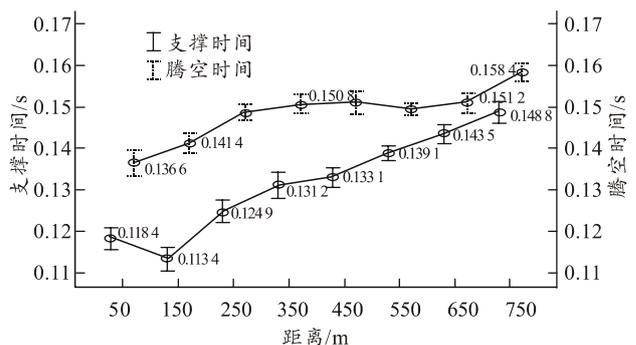


图 4 800 m 跑不同分段中支撑时间与腾空时间变化特征

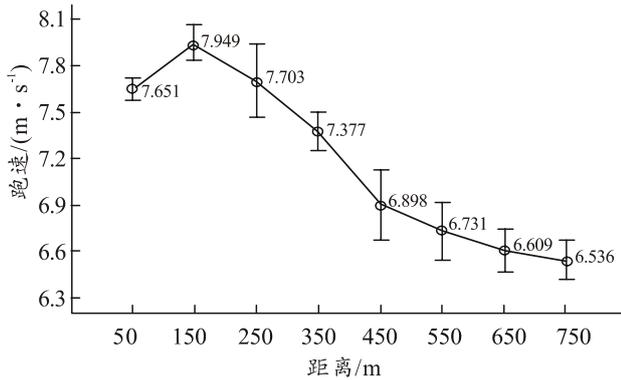


图 5 800 m 跑不同分段区间跑速变化特征曲线

表 2 数据进一步揭示 800 m 跑各区间段, 支撑时间、腾空时间、步幅、步频及跑速等 5 种参数经单因素方差分析后获得多重比较结果, 根据均衡子集特征不难看出:

1) 支撑时间分为 4 个子集: (1)0~200 m, 平均值约为 115.9 ms; (2)200~300 m, 平均值约为 124.9 ms; (3)300~500 m, 平均值约为 132.15 ms; (4)500~800 m, 平均值约为 142.15 ms, 经检验 4 个子集各区间支撑时间差异均有显著性( $P<0.05$ )。

2) 腾空时间分为 4 个子集: (1)0~100 m, 平均值约为 136.6 ms; (2)100~200 m, 平均值约为 141.4 ms; (3)200~700 m, 平均值约为 150.3 ms; (4)700~800 m, 平均值约为 158.4 ms, 经检验 4 个子集各区间腾空时间差异均有显著性( $P<0.05$ )。

3) 步幅分为 4 个子集: (1)100~200 m, 平均步幅约为 2.24 m/步; (2)200~300 m, 平均步幅约为 2.19 m/步; (3)0~100 m 及 300~400 m, 平均步幅约为 2.12 m/步; (4)400~800 m, 平均步幅约为 2.05 m/步, 经检验 4 个子集各区间平均步幅差异有显著性 ( $P<0.05$ )。

4) 步频分为 3 个子集: (1)0~300 m, 平均步频为 3.56 步/s; (2)为 300~500 m, 平均步频为 3.40 步/s; (3)500~800 m, 平均步频为 3.23 步/s, 经检验 3 个子集各区间平均步频差异有显著性( $P<0.05$ )。

5) 跑速分为 5 个子集: (1)为 100~200 m, 速度最大, 平均约为 7.95 m/s; (2)0~100 m 及 200~300 m, 平均速度约为 7.68 m/s; (3)300~400 m, 平均为 7.38 m/s; (4)400~500 m, 平均为 6.90 m/s; (5)500~800 m, 平均值约为 6.63 m/s, 经检验 5 个子集各区间平均跑速差异有显著性( $P<0.05$ )。

表 2 800 m 跑区间内腿弹簧-质量模型的主要运动学参数 ( $\bar{x} \pm s$ )

分段/m	测点/m	支撑时间/ms	腾空时间/ms	步幅/(m·步 <sup>-1</sup> )	步频/(步·s <sup>-1</sup> )	跑速/(m·s <sup>-1</sup> )
0~100	50	118.41±1.19	136.61±1.41	2.11±0.01	3.62±0.03	7.65±0.03
100~200	150	113.40±1.25	141.40±1.05	2.24±0.01	3.55±0.03	7.95±0.05
200~300	250	124.90±1.22	148.73±0.83	2.19±0.01	3.52±0.04	7.70±0.10
300~400	350	131.21±1.39	150.71±1.04	2.13±0.02	3.46±0.03	7.38±0.06
400~500	450	133.12±1.04	151.24±1.22	2.06±0.02	3.35±0.03	6.90±0.10
500~600	550	139.00±0.83	149.51±0.63	2.05±0.01	3.28±0.02	6.73±0.08
600~700	650	143.51±1.05	151.23±1.01	2.04±0.02	3.24±0.03	6.61±0.06
700~800	750	148.71±1.15	158.42±0.99	2.06±0.01	3.18±0.04	6.54±0.06

### 2.3 支撑腿刚度与步频、步幅及质心速度相关性

由表 3 可知, 步幅与跑速、腾空时间/支撑时间、垂直刚度存在显著的正相关( $P<0.05$ ), 其相关系数依次为 0.788、0.685、0.628; 而与单步支撑时间存在明显负相关( $P<0.05$ ), 相关系数为-0.675; 步幅与步频、腾空时间及腿刚度相关程度较低。步频与跑速、腾空时间/支撑时间及垂直刚度呈显著正相关( $P<0.05$ ), 相关系数依次为 0.888、0.617、0.754; 步频与支撑时间及腾空时间呈显著负相关( $P<0.05$ ), 相关系数依次为 -0.767、-0.601; 步频与腿刚度相关程度较低。跑速与腾空时间/支撑时间及垂直刚度呈显著正相关

( $P<0.05$ ), 相关系数依次为 0.765、0.828; 跑速与支撑时间呈显著负相关( $P<0.05$ ), 相关系数为-0.860, 跑速与腿刚度相关程度较低。支撑时间与腾空时间存在显著正相关( $P<0.05$ ), 相关系数为 0.731; 支撑时间与腾空时间/支撑时间、垂直刚度及腿刚度呈显著负相关( $P<0.05$ ), 相关系数依次为-0.857、-0.960、-0.759。腾空时间与垂直刚度呈显著负相关( $P<0.05$ ), 相关系数为-0.735, 而与腿刚度相关程度较弱。垂直刚度及腿刚度与腾空时间/支撑时间存在显著正相关( $P<0.05$ ), 相关系数分别为 0.810、0.699, 且垂直刚度与腿刚度间亦有显著的正相关关系( $P<0.05$ ), 相关系数为 0.836。

表 3 800 m 跑各区间段主要参数间的相关系数及检验统计表

	步幅	步频	跑速	支撑时间	腾空时间	腾空时间/支撑时间	垂直刚度	腿刚度
步幅	1	0.418	0.788 <sup>1)</sup>	-0.675 <sup>1)</sup>	-0.358	0.685 <sup>1)</sup>	0.628 <sup>1)</sup>	0.315
步频	0.418	1	0.888 <sup>1)</sup>	-0.768 <sup>1)</sup>	-0.601 <sup>1)</sup>	0.617 <sup>1)</sup>	0.754 <sup>1)</sup>	0.376
跑速	0.788 <sup>1)</sup>	0.888 <sup>1)</sup>	1	-0.860 <sup>1)</sup>	-0.587	0.765 <sup>1)</sup>	0.828 <sup>1)</sup>	0.414
支撑时间	-0.675 <sup>1)</sup>	-0.768 <sup>1)</sup>	-0.860 <sup>1)</sup>	1	0.731 <sup>1)</sup>	-0.857 <sup>1)</sup>	-0.960 <sup>1)</sup>	-0.759 <sup>1)</sup>
腾空时间	-0.358	-0.601 <sup>1)</sup>	-0.587	0.731 <sup>1)</sup>	1	-0.280	-0.735 <sup>1)</sup>	-0.516
腾空时间/支撑时间	0.685 <sup>1)</sup>	0.617 <sup>1)</sup>	0.765 <sup>1)</sup>	-0.857 <sup>1)</sup>	-0.280	1	0.810 <sup>1)</sup>	0.699 <sup>1)</sup>
垂直刚度	0.628 <sup>1)</sup>	0.754 <sup>1)</sup>	0.828 <sup>1)</sup>	-0.960 <sup>1)</sup>	-0.735 <sup>1)</sup>	0.810 <sup>1)</sup>	1	0.836 <sup>1)</sup>
腿刚度	0.315	0.376	0.414	-0.759 <sup>1)</sup>	-0.516	0.699 <sup>1)</sup>	0.836 <sup>1)</sup>	1

1) $P < 0.05$ 

### 3 讨论

本研究发现,在 100~200 m 区间内,腿垂直刚度、腿刚度及跑速均达到最大值,而相关分析表明,800 m 跑过程中垂直刚度与跑速存在显著的正相关( $r=0.828$ ),故可认为不论在室内跑步机还是在室外田径场内垂直刚度都是维持跑速重要的因素。这与众多学者研究结论相一致,他们认为刚度和跑步速度之间存在直接关系,跑速增加伴随刚度增加<sup>[7-8]</sup>。有学者在固定跑速下对刚度与步幅之间的关系进行探讨,认为步幅越大,刚度越小<sup>[9-10]</sup>,但本研究似乎并不支持这个结论,可能是跑速变化的原因。

本研究显示,800 m 跑过程中,300~500 m 区间内,垂直刚度值维持在较好水平,而在 600~800 m 区间内,垂直刚度下降较快,这也与跑速持续下降的变化规律基本一致。因此可以认为垂直刚度变化是由于疲劳。例如, Dutto 和 Smith<sup>[9]</sup>研究认为,当受试者在跑步机上运动至精疲力竭时,垂直刚度显著下降;库伊图宁等<sup>[10]</sup>研究表明在精疲力竭的伸长-缩短练习中,垂直刚度显著下降,还有据莫林等<sup>[2]</sup>认为,在重复性百米短跑后,垂直刚度明显下降。因此,本研究表明,疲劳导致腿垂直刚度下降是 800 m 跑速受限的主要因素。

本研究观察到 150 m 后,跑速开始下降,且步频、步幅、垂直刚度与跑速显著相关,步幅在最后 100 m 时下降了约峰值的 8%,而步频下降了约峰值的 12.3%,这表明在 800 m 跑最后阶段决定跑速的因素中步频比步幅更重要,也许是 800 m 跑过程中,疲劳主要影响步频而不是步幅。此外,本研究还发现,步幅、步频与垂直刚度存在显著正线性关系(相关系数分别达 0.628、0.754),然而步幅、步频却与腿刚度不相关,这个结果有些让人迷惑不解,但至少象征着腿弹簧-质量模型的垂直成分是决定跑成绩的主要因素。而有相关研究认为,跑速不变时,腿刚度不受步幅影响<sup>[7、11]</sup>。因此,我们建议在 800 m 跑的最后 200 m 左右,尽管垂

直刚度及腿刚度都下降,受试者不必为了维持步幅而有意以降低步频为代价。

本研究利用垂直刚度的计算受支撑时间、腾空时间及受试者体重的影响。垂直刚度值与步频正相关,而这反过来又与支撑时间及腾空时间存在显著负相关(相关系数依次为-0.960、-0.735),但垂直刚度与腾空时间/支撑时间值却存在显著正相关(相关系数为 0.810)。因此,不同参数间的内在关系还有待于进一步研究才能完全弄清 800 m 跑过程中,垂直刚度及腿刚度与跑成绩之间的关系。

### 4 结论

1)在 800 m 跑开始后前 200 m 内,支撑腿刚度、垂直刚度、步幅及跑速均基本达到最大值,随后 200 m 呈急速下降,接着的 200 m 呈缓慢下降,在最后 200 m 内各参数指标值达到最低值。

2)在 800 m 跑过程中,跑速与垂直刚度存在显著正相关,而与腿刚度相关程度较弱,因此,可认为腿弹簧-质量模型的垂直成分是维持跑速的关键因素。

3)在 800 m 跑最后 200 m 内,疲劳导致受试者腿垂直刚度显著下降,因此,要保持足够高的水平速度,受试者应该以保持步频为关键因素,而不应为了维持步幅去有意降低步频。

4)垂直刚度受支撑时间、腾空时间及受试者体重的影响,垂直刚度与步频成正相关,但又与支撑时间及腾空时间呈负相关,而又与腾空时间/支撑时间呈正相关,这种错综复杂的内在规律还有待于进一步探讨。

### 参考文献:

- [1] 刘宇,魏勇. 运动科学领域的下肢刚度研究[J]. 上海体育学院学报, 2008, 5(32): 32-35.
- [2] Morin J B, Jeannin T, B. Spring-mass model characteristics during sprint running: correlation with per-

formance and fatigue-induced changes[J]. *J Sports Med*, 2006(27): 158-165.

[3] D J Dutto and G. A. Smith. Changes in spring-mass characteristics during treadmill running to exhaustion[J]. *Sci Sports Exerc*, 2002(34): 1324-1331.

[4] 王志强, 罗跃兵, 邱爱华. 对短跑新技术理论的综述与分析[J]. *武汉体育学院学报*, 1997, 31(3): 44-47.

[5] Andrew Howard Payne. 优秀运动员脚对地面的接触力[G]//运动生物力学译文集 II. 北京: 清华大学出版社, 1989: 58-62.

[6] Hunter I, Smith G A. Preferred and optimal stride frequency, stiffness and economy: changes with fatigue during a 1-h high-intensity run[J]. *Eur J Appl Physiol*, 2007(100): 653-661.

[7] Derrick T R, Caldwell G E, Hamill J. Modeling the

stiffness characteristics of the human body while running with various stride length[J]. *J Appl Biomech*, 2000(16): 36-51.

[8] Kuitunen S, Kyröläinen H, Avela J, et al. Leg stiffness modulation during exhaustive stretch-shortening cycle exercise[J]. *J Med Sci Sports*, 2007(17): 67-75.

[9] Hobara H, Kanosue K, Suzuki S. Changes in muscle activity with increase in leg stiffness during hopping[J]. *Neurosci Lett*, 2007(418): 55-59.

[10] Butler R J, Crowell H P, Davis I M. Lower extremity stiffness: implication for performance and injury[J]. *Clin Biomech*, 2003(18): 511-517.

[11] Chang Y H, Kram R. Limitation to maximum running speed on flat curves[J]. *J Exp Biol*, 2007(210): 971-982.

## “谁”应该感谢“谁”？

今年年初温哥华冬奥会后,发生了一场“谁应该感谢谁?”的争论。一位体育高官两会期间公开提出优秀运动员在获得金牌的时候,应该首先感谢国家,然后才允许感谢教练员和父母家人。这一冠冕堂皇代表“国家立场”的观点,当即遭到了网民的非议。

其实,国家、人民这些概念是非常抽象的、虚的,而父母、老师、教练、同伴、观众这些概念是非常形象的、实在的。从心理学的角度来考虑问题,人们朴素的、真实的感恩表达首先面对父母、老师、教练、同伴,是完全发自内心的,是不必专门修饰的,尤其是在特定的环境下(如,比赛刚刚结束,获得胜利时的极其兴奋中),特别对那些涉世未深的年青运动员,这种表达完全是自然流露,并不是如那位品位甚高的官员所言是“运动员的素质问题”。更何况父母、老师、教练、同伴、观众不都是人民的一部分,不正是由他们组成了国家吗?一个不尊重自己父母、教练的人能热爱、尊重自己的祖国吗?为什么要把这些鲜活的人群概念与国家、人民对立起来?一旦对立起来,究竟对谁有利?这不能不让人们怀疑这位高官的自身的素质究竟有多高?

解决了感谢的谁先谁后的问题,我感到还没有说到事情的本质。这里还有一个“谁应该感谢谁”的问题更需要解决。

马克思主义的理论十分强调人的自由发展和全面发展,温总理在许多场合都谈到这个问题。那么,我国的运动员得到全面发展和自由发展了吗?显然没有。早在 20 世纪 80 年代一部题为《强国梦》的报告文学就提出了运动员“半拉子人”的问题,20 多年过去了,这个问题解决了吗?虽然“体教结合”叫得很响,但运动员的文化教育、道德教育的问题,并没有根本改善。在现有运动训练体制下,这个问题永远只停留在会议、文件上。那么,运动员的自由发展能得到落实吗?我们的“封闭式训练”、教练的“家长式管理”、“三从一大”等做法,使运动员本应得到的“自由”二字变得何等苍白。

为了国家的利益,运动员牺牲了自己的“全面发展”、“自由发展”,牺牲了自己的青春、学识、爱情、娱乐、休闲……难道我们不应该首先感谢他们,甚至感到愧对他们吗?在这个问题上还要苛责他们,逼迫他们去按照官员的官话格式“吐真言”?

国家首先应该感谢运动员!国家是崇高的,如能做到感谢运动员和其他一切为之献身的公民,那么她将更为崇高。

(华南师范大学博士生导师 卢元镇)