

日本女子1500 m跑节奏分配特征研究

杨永昌¹, 黄毅杰², 朱敏敏³

¹吉利学院, 四川 成都

²四川国际标榜职业学院, 四川 成都

³中国民用航空飞行学院, 四川 广汉

收稿日期: 2021年10月28日; 录用日期: 2021年11月29日; 发布日期: 2021年12月7日

摘要

目的: 分析日本女子不同水平选手1500 m速度节奏分配特征, 以及影响日本女子不同水平选手1500 m跑节奏特征的机械要因, 阐明日本女子选手比赛所面临的挑战。为了解日本女子选手在1500 m跑中节奏分配与战术定位提供理论支撑。方法: 采用视频分析法, 以2019~2020年度日本全国性大型田径比赛女子1500 m跑决赛前三名选手为研究对象。共计19名选手, 将其按照运动等级划分为两组(快组与慢组), 对其速度及各机械变量进行统计分析。结果: 1) 快组平均速度快、步频快、步幅长、接地和腾空时间短、重心位移小。2) 各组速度与步频呈显著正相关(快组: $r = 0.772$, $p < 0.01$; 慢组: $r = 0.888$, $p < 0.01$), 与腾空时间(快组: $r = -0.673$, $p < 0.01$; 慢组: $r = -0.851$, $p < 0.01$)、接地时间(快组: $r = -0.595$, $p < 0.05$; 慢组: $r = -0.842$, $p < 0.01$)、重心位移变动(快组: $r = -0.788$, $p < 0.01$; 慢组: $r = -0.876$, $p < 0.01$)呈显著负相关。慢组步幅与速度呈显著正相关($r = 0.855$, $p < 0.01$), 快组步幅与速度无显著相关性($r = 0.416$, $p = 0.123$)。3) 日本女子选手1500 m速度分配呈现出“fast-slow-fast-slow”的战略模式。结论: 日本女子1500 m跑, 快组与慢组速度均表现为途中与冲刺阶段薄弱。因此, 维持与提高日本女子途中跑水平和冲刺水平, 加强途中步频和冲刺步幅能力对提高日本女子选手运动水平与成绩至关重要。

关键词

日本, 女子1500 m, 跑速, 节奏类型

Research on Speed Control Features of Japanese Women's 1500 m Race

Yongchang Yang¹, Yijie Huang², Minmin Zhu³

¹Geely University of China, Chengdu Sichuan

²Polus International College, Chengdu Sichuan

³Civil Aviation Flight University of China, Guanghan Sichuan

Received: Oct. 28th, 2021; accepted: Nov. 29th, 2021; published: Dec. 7th, 2021

Abstract

Objectives: To analyze the speed control features of different levels of Japanese women athletes during 1500 m race, explore the mechanical influencing the speed features of different levels of Japanese women athletes during 1500 m race, and clarify the challenges in Japanese women's running race, so as to provide theoretical support for learning about the tactic selection and speed control of Japanese women athletes in the 1500m race. **Methods:** By means of video analysis, each of the top three athletes of women's 1500m race finals of 2019~2020 Japan national large-scale track and field competition from 2019 to 2020 was taken as the research objects, so a total of 19 athletes were collected and divided into two groups (fast group and slow group) according to sport levels, and their speed and various mechanical variables were statistically analyzed. **Results:** (1) The fast group showed faster average speed and stride frequency, long stride length, contact and flight time, and small displacement of gravity center. (2) In the two groups, the speed was significantly in positive correlation with step frequency (fast group: $r = 0.772$, $p < 0.01$; slow group: $r = 0.888$, $p < 0.01$), while was significantly in negative correlation with the flight time (fast group: $r = -0.673$, $p < 0.01$; slow group: $r = -0.851$, $p < 0.01$), contact time (fast group: $r = -0.595$, $p < 0.05$; slow group: $r = -0.842$, $p < 0.01$), as well as displacement of gravity center (fast group: $r = -0.788$, $p < 0.01$; slow group: $r = -0.876$, $p < 0.01$). The stride length in the slow group was significantly in positive correlation with speed ($r = 0.855$, $p < 0.01$), but was not significantly correlated with speed in fast group ($r = 0.416$, $p = 0.123$). (3) Japanese women's speed control in 1500 m race showed a "fast-slow-fast-slow" strategic model. **Conclusions:** In the Japanese women's 1500 m race, the speeds of both fast and slow groups are relatively slow in the midway and sprint stages. Therefore, maintaining and improving Japanese women's midway running and sprint speed, as well as strengthening the midway step frequency and sprint stride are essential to enhance the skill and performance of Japanese women athletes.

Keywords

Japan, Women's 1500 m, Running Speed, Pace Pattern

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 前言

我国女子中长跑起步较晚, 起点较低, 但随着国家的重视, 80~90 年代我国女子中长跑项目达到了一个辉煌时期。涌现出一批像孙素梅、曲云霞、王秀婷、王军霞等优秀运动员。自 90 年代末, 随着“马家军”的解体和一些优秀运动员的退役, 我国女子中长跑出现了大幅度下滑趋势。从我国选手改写世界纪录至今, 我国女子中长跑项目由盛转衰, 至今不容乐观[1] [2]。而同样作为女子中长跑优势项目之一的日本, 近年来整体发展态势良好, 涌现了一批年轻的新秀。2020 年, 日本女子中长跑选手田中希实更是以 4 分 05 秒 27 和 8 分 41 秒 35 的成绩刷新了日本维持十多年的女子 1500 m 与 3000 m 两项新的全国纪录。虽然此纪录与世界水平还存在一定差距, 但从日本近年来中长跑竞技水平发展现状来看, 呈显著上升趋势。

日本田联(JAAF)自 1991 年世界田径锦标赛以来, 长期对中长跑项目每 100 m 的速度、步频和步幅进行了收集和分析, 并积累了大量数据[3]。1992 年, 松尾等人首次拍摄了东京田径世锦赛男子 1500 m 跑

的5名男选手,并分析了1500 m跑每100 m的跑速、步频和步幅。其研究认为,步频的变化对世界优秀运动员1500 m跑有重要影响[4]。而榎本等人在对日本优秀女子1500 m跑节奏研究中指出,日本女子1500 m跑前半段速度不快,途中速度略有下降,比赛后程速度有所提高,但百米冲刺速度较慢。起跑后即刻步幅较小,途中步频有所下降。因此,提高选手上半程和中段的步幅和步频,对提高运动员成绩有很大帮助[5]。而在我国,基于对女子中长跑节奏分配的研究尚且不多,主要以男子中长跑项目分析为主[6][7][8]。因此,本研究通过日本田联(JAAF)研究活动,收集了日本近两年来全国比赛1500 m项目视频,分析日本女子不同水平选手1500 m速度节奏分配特征,以及影响日本女子不同水平选手1500 m跑节奏特征的机械要因。为阐明日本女子选手比赛所面临的挑战以及了解日本女子节奏和战术变化提供理论支撑。

2. 研究对象与方法

2.1. 研究对象

本研究以2019~2020年度,由日本田联(JAAF)主办的日本全国性大型田径比赛女子1500 m跑决赛前三名选手为研究对象,且比赛完成率不得低于个人最佳成绩的96%。多次出场取得优异成绩者仅选用最佳成绩比赛作为分析对象,共计19名运动员。按照我国女子1500 m等级划分,1人为国际健将水平(4:05.27日本全国纪录),5人为国家健将,剩余选手均为国家一级水平。所有视频拍摄得到了日本田径联盟JAAF委员会的认可。所拍摄视频仅用于科学研究。本研究将其选手划分为2组进行对比研究。其中,Group 1为快组8名选手,最快选手为4分05秒27,最慢为4分20秒27;Group 2为慢组11名选手,最快为4分22秒24,最慢为4分25秒33。各组平均值及详细情况见表1。

Table 1. Characteristics of runners in each group

表 1. 各组选手情况

组别	年龄	比赛成绩	个人纪录	完成率(%)
Group 1 (n = 8)	22.5 ± 4.56	4:15.16 ± 4.49 s**	4:15.02 ± 3.69 s*	100 ± 2
Group 2 (n = 11)	22.1 ± 3.15	4:23.70 ± 0.88 s	4:20.00 ± 4.29 s	98.6 ± 1.35

(Mean ± S.D.) * p < 0.05; **p < 0.01.

2.2. 研究方法

2.2.1. 视频拍摄

本研究采用两台数码相机(HC-VX908 M,松下,日本)沿跑道对选手进行跟踪拍摄。拍摄速度为59.94 fps,鸣枪闪光拍摄时的快门速度为1/60 s,之后相机速度以1/500 s~1/1000 s录制至比赛结束。视频收录格式为MP4,视频软件读取闪光与各区间帧数。

2.2.2. 变量计算

将操场划分为四个区间,每个区间100 m(图1)。运用视频软件读取每个区间帧数,计算出每个区间经过时间 T_i ($i = 15$),见公式1。通过区间经过时间进一步计算出每个百米区间用时(1/100 s),将每段区间时间代入公式(2),计算出每100 m区间的速度 V_i ($i = 15$)。

$$T_i = \frac{\text{区间经过帧数} - \text{闪光瞬时帧数}}{\text{视频拍摄速度}(59.94 \text{ fps})} \quad (1)$$

$$V_i = \frac{100}{t} \quad (2)$$

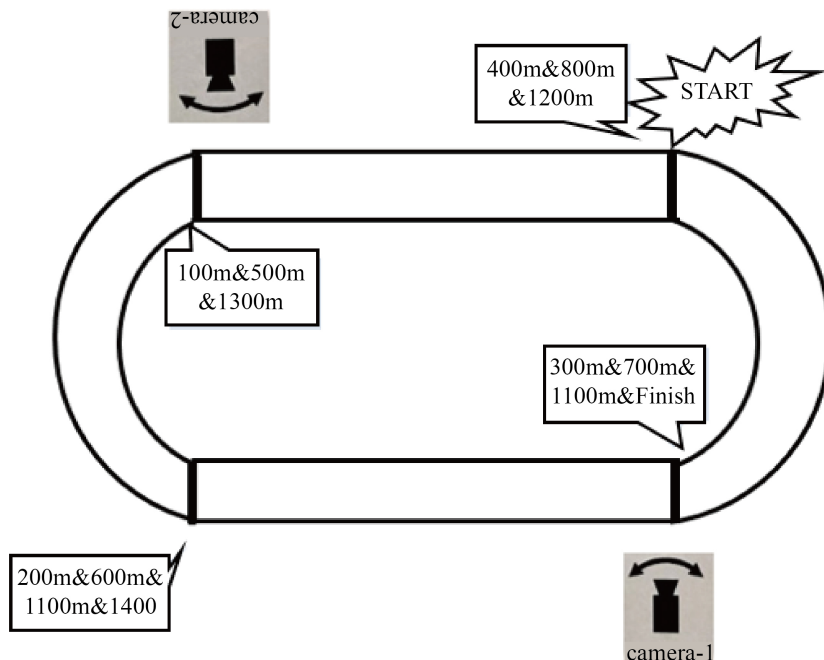


Figure 1. Diagrammatic sketch of interval division
图 1. 区间划分示意图

读取每 100 m 区间中 10 步所需时间，将每步所需平均时间的倒数作为平均步幅(SF)，公式(3)。将每个区间平均速度比上平均步频求得每 100 m 区间的平均步幅(SL)，公式(4)。

$$SF = \frac{1}{Isteptime} \tag{3}$$

$$SL = \frac{V_i}{SF} \tag{4}$$

读取每 100 m 区间 10 步所需帧幅，计算每 100 m 区间的平均接地时间(CT)和腾空时间(FT)。假设 FI 是脚接触地面时的瞬时帧数，FO 是脚离开地面时的瞬时帧数，由此可得公式(5)。

$$CT = \frac{FI - FO}{59.94} \text{ 或 } FT = \frac{FO - FI}{59.94} \tag{5}$$

另外，根据 Carrard、Morin 等学者对其跑机械变量的研究[9] [10]，将其公式简化，即已知腾空与接地时间，可求得身体重心上下位移变动。见公式(6)：

$$\Delta y = \left| -\frac{g\pi TF + g\pi TC}{2TC} \times \frac{TC^2}{\pi^2} + g \times \frac{TC^2}{8} \right| \tag{6}$$

速度变化率是指从前 1 区间到后 1 区间的速度变化方式。将 1500 m 划分 14 个区间，分别表示为：S₁₋₂: 0~100 m~100~200 m; S₂₋₃: 100~200 m~200~300 m … S₁₄₋₁₅: 1300~1400 m~1400~1500 m，由此可得：

$$\text{区间速度变化率}(\%) = \left(1 - \frac{\text{前一区间速度}}{\text{后一区间速度}} \right) \times 100 \tag{7}$$

2.2.3. 数据统计处理

运用描述性统计对数据做初步分析, 结果表示为平均值 \pm 标准差(Means \pm S.D.)。用 t 检验, 对组间差异性做分析。用 Pearson 相关系数对其变量间做相关分析, r 取值范围为[-1, 1], 统计显著性水平设为 5%。

3. 结果

3.1. 日本女子 1500 m 跑圈时分配

表 2 为日本女子快、慢两组圈时分配均值与标准差。从快、慢两组选手来看, 快组在前 1200 m 分配较为均匀, 保持在每圈 68 s 左右, 而慢组维持在 71 s 左右。在 400~800 m 区间, 慢组用时较长。前 1200 m 阶段, 快组与慢组选手各区间时间呈显著差异性($p < 0.01$)。而最后 300 m, 慢组时间小于快组, 选手间无显著差异性。慢组选手在前 1200 米用时较长, 表现出更多体力用于最后冲刺阶段的特征。

Table 2. Mean and standard deviation of lap time for Japanese women's fast and slow groups

表 2. 日本女子快慢两组圈时分配均值与标准差

Section	Group1		Group2		
	Mean	S.D.	Mean	S.D.	
0~400 m	(sec)	68.07**	1.52	70.72	1.74
	(%)	26.68	0.49	26.82	0.70
400~800 m	(sec)	68.77**	2.27	72.71	1.59
	(%)	26.95	0.49	27.57	0.65
800~1200 m	(sec)	68.71**	1.73	71.12	1.59
	(%)	26.93	0.31	26.97	0.56
1200~1500 m	(sec)	49.6	2.00	49.15	3.08
	(%)	19.44	0.83	18.64	1.14

* $p < 0.05$; ** $p < 0.01$.

3.2. 日本女子 1500 m 跑的区间机械变量

通过对日本女子 1500 m 跑快、慢两组速度及各机械变量分析, 快组的平均速度为 5.89 ± 0.13 m/s, 慢组的平均速度为 5.71 ± 0.25 m/s, 快组平均速度大于慢组, 两组平均速度间呈显著差异性($p < 0.05$)。快组步频为 3.391 ± 0.07 steps/s, 慢组为 3.330 ± 0.09 steps/s, 快组大于慢组且无显著差异性($p = 0.58$)。在步幅上, 快组为 1.74 ± 0.03 m, 慢组为 1.71 ± 0.04 m, 快组步幅大于慢组, 两组平均步幅无显著差异性($p = 0.07$)。选手脚接地时间上, 快组为 0.154 ± 0.003 s, 慢组为 0.158 ± 0.006 s, 慢组接地时间长于快组, 两组间存在显著差异性($p < 0.05$)。脚腾空时间上, 快组为 0.142 ± 0.004 s, 慢组为 0.143 ± 0.003 s, 慢组大于快组, 快慢两组间无显著差异性($p = 0.51$)。身体重心位移方面, 快组为 0.042 ± 0.001 m, 慢组为 0.043 ± 0.002 m, 慢组大于快组, 且两组间无显著差异性($p = 0.08$)。

此外, 将 1500 m 划分为四个区间(L1, L2, L3, L4), 可以看出(表 3): 两组在第四区间 L4 时, 速度、步频最快, 步幅最大。快组在 L3 区间时接地时间最长, 慢组在 L2 区间时接地时间最长。在腾空时间上, 快组 L1 区间最长, 慢组 L3 区间最长。在重心移动上面, 快组 L3 区间最大, 慢组 L2 区间最大。从四个

区间各机械变量的差异性来看, L2 区间的速度、步频、步幅、接地时间、重心位移两组均存在显著差异性($p < 0.05$)。步幅则在 L1 区间、接地时间则在 L3 区间呈现显著差异性($p < 0.05$)。

Table 3. Distribution of running speed and mechanical variables in each section

表 3. 各区间速度及各机械变量分配

Section	L1 (0~400 m)		L2 (400~800 m)		L3 (800~1200 m)		L4 (1200~1500 m)	
Group	Group 1	Group 2	Group 1	Group 2	Group 1	Group 2	Group 1	Group 2
Speed (m/s)	5.88 (0.09)	5.67 (0.18)	5.83 (0.07)	5.51 (0.08)**	5.83 (0.15)	5.63 (0.11)	6.06 (0.06)	6.13 (0.09)
SF (steps/s)	3.400 (0.08)	3.351 (0.11)	3.353 (0.02)	3.264 (0.01)**	3.354 (0.05)	3.285 (0.04)	3.480 (0.06)	3.450 (0.02)
SL (m)	1.732 (0.02)	1.692 (0.02)*	1.739 (0.02)	1.688 (0.02)*	1.739 (0.02)	1.715 (0.01)	1.744 (0.04)	1.777 (0.03)
CT (s)	0.151 (0.004)	0.155 (0.008)	0.155 (0.002)	0.163 (0.001)**	0.156 (0.001)	0.160 (0.002)*	0.153 (0.002)	0.151 (0.001)
FT (s)	0.144 (0.003)	0.143 (0.002)	0.143 (0.002)	0.144 (0.001)	0.143 (0.002)	0.144 (0.001)	0.137 (0.003)	0.139 (0.002)
Δy (m)	0.0414 (0.002)	0.0426 (0.003)	0.0426 (0.0005)	0.0452 (0.0003)**	0.0429 (0.001)	0.0445 (0.001)	0.0404 (0.001)	0.0402 (0.0005)
%Speed	99.88 (1.37)	99.3 (3.21)	98.94 (1.17)	96.47 (1.49)	99.00 (2.52)	98.67 (1.90)	102.92 (1.10)	107.41 (1.60)*
%SF	100.16 (2.27)	100.64 (3.17)	98.86 (0.50)	98.01 (0.31)*	98.91 (1.43)	98.65 (1.11)	102.62 (1.78)	103.61 (0.46)
%SL	99.63 (0.98)	98.72 (1.13)	100.04 (0.89)	98.47 (1.30)	100.07 (1.32)	100.06 (0.79)	100.35 (2.36)	103.66 (1.87)
%CT	98.18 (2.80)	98.49 (4.92)	101.00 (1.01)	103.14 (0.39)*	101.33 (0.58)	101.41 (1.34)	99.34 (1.15)	95.95 (0.042)*
%FT	101.12 (1.97)	100.37 (1.18)	100.86 (1.12)	100.81 (0.37)	100.84 (1.76)	101.00 (0.95)	96.25 (1.83)	97.09 (1.10)
% Δy	98.67 (4.42)	98.43 (6.76)	101.80 (1.12)	104.36 (0.74)*	102.24 (1.95)	102.69 (2.36)	96.37 (1.78)	92.69 (1.08)

(Mean \pm S.D.), * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$.

3.3. 日本女子 1500 m 跑速度及速度变化率

图 2 为日本女子各组速度分配及区间速度变化率示意图。从图 2(a)日本女子速度分配来看, 快组前 1300 m 速度明显大于慢组, 最后两百米慢组速度大于快组。其中, 快组在 1000 m 处速度最慢(5.70 m/s), 在 1300 m 处最快(6.15 m/s)。慢组在 800 m 处速度最低(5.41 m/s), 在 1300 m 处最快(6.22 m/s)。从各百米区间两组选手速度差异性来看, 300~400 m、700~900 m 及 1200 m 区间, 两组选手存在显著差异性($p < 0.05$)。图 2(b)为各组区间速度变化率示意图。用来判断选手前后区间速度的变化情况。其中, 正值为加速, 负值为减速。从两组加速来看, 快组在 S_{11-12} (1000~1100 m~1100~1200 m)区间加速最大, 在 S_{1-2} (0~100 m~100~200 m)区间减速最大。慢组在 S_{12-13} (1100~1200 m~1200~1300 m)区间加速最大, 在 S_{1-2} (100~200 m~200~300 m)区间减速最明显。

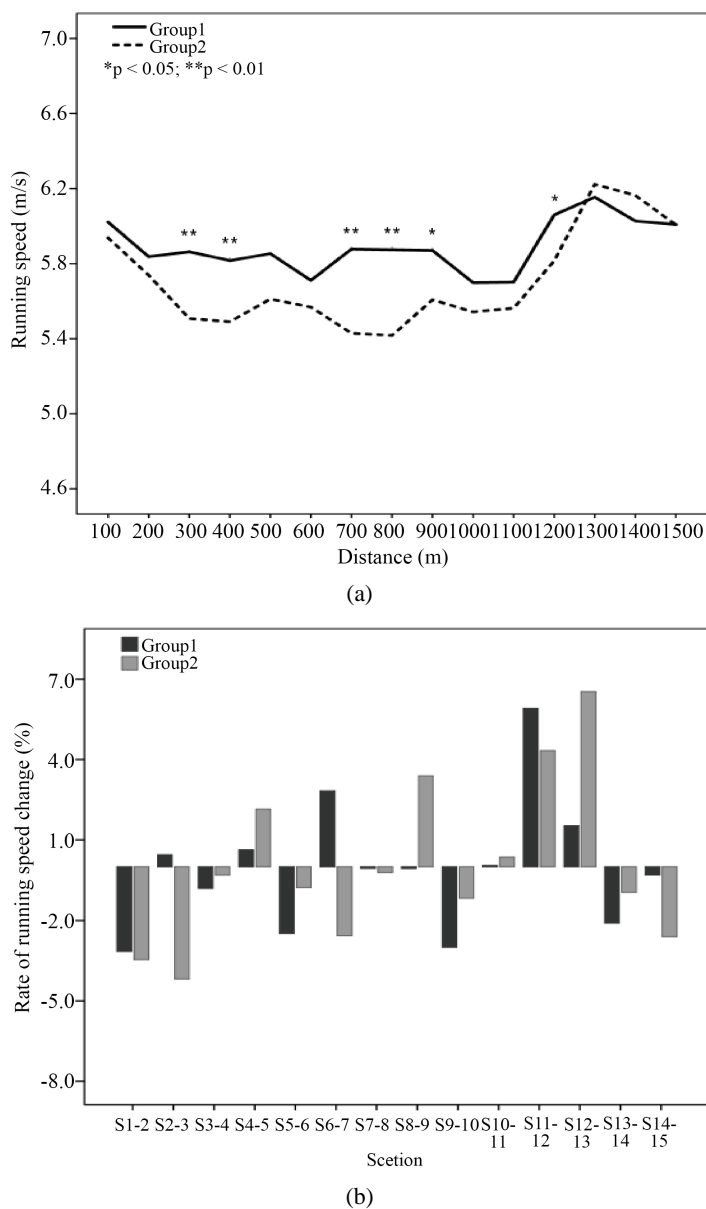


Figure 2. Speed (a) and rate of speed change (b) of Japanese women's 1500 m (* $p < 0.05$; ** $p < 0.01$)

图 2. 日本女子 1500 m 跑速度(a)与速度变化率(b)示意图(* $p < 0.05$; ** $p < 0.01$)

3.4. 日本女子 1500 m 跑步频、步幅分配

图 3 为日本女子 1500 m 跑步频(a)与步幅(b)示意图。从步频(图 3(a))来看, 快组整体快于慢组。其中快组步频最快位于最后 1500 m 区间(3.564 steps/s), 最慢在 1000 m 区间(3.319 steps/s)。慢组步频最快位于最初 100 m 区间(3.530 steps/s), 最慢位于 800 m 区间(3.246 steps/s)。两组选手区间差异性来看, 700 m 和 800 m 区间处呈显著差异性($p < 0.05$)。从步幅(图 3(b))分布来看, 快组前 1200 m 快于大于慢组, 最后 300 m 慢组步幅大于快组。其中, 快组最大步幅在 1300 m 区间(1.783 m), 最小步幅在 1500 m 区间处(1.687 m)。慢组最大步幅在 1300 m 区间(1.815 m), 最小步幅落在 700 m 区间(1.663 m)。两组各区间选手在 300~400 m、700~800 m 区间呈显著差异性($p < 0.05$)。

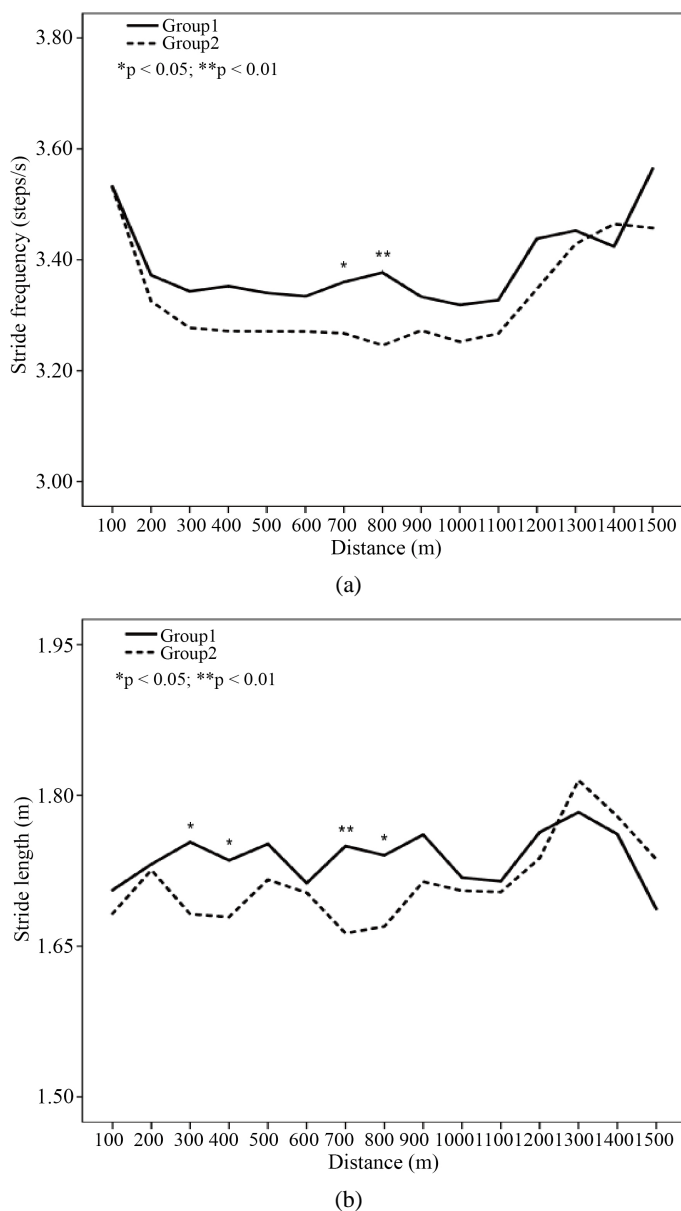


Figure 3. Stride frequency (a) and stride length (b) of Japanese women's 1500 m (* $p < 0.05$; ** $p < 0.01$)

图 3. 日本女子 1500 m 跑步频(a)与步幅(b) (* $p < 0.05$; ** $p < 0.01$)

3.5. 日本女子 1500 m 腾空时间、接地时间与重心位移变动

图 4 为日本女子 1500 m 跑腾空时间(a), 接地时间(b)和重心位移(c)变化示意图。从接地时间(图 4(a))来看, 慢组大于快组。其中慢组最大接地时间落在 800 m 区间(0.164 s), 最小接地时间为最初 100 m 区间(0.142 s)。快组最大接地时间为 600 m 区间(0.158 s), 最小落在 100 m 区间(0.144 s)。腾空时间(图 4(b))上, 慢组略大于快组。其中, 快组最大腾空时间为 300 m 区间(0.147 s), 最小腾空时间落在最后 1500 m 区间(0.133 s)。慢组最大腾空时间落在 1000 m 区间(0.145 s), 最小腾空时间为 1500 m 区间(0.137 s)。从接地与腾空时间, 各区间各组选手差异性来看, 均无显著差异性。重心位移变动(图 4(c))上, 慢组大于快组。其中慢组最大重心位移变动落在 800 m 区间(0.0458 m), 最小落在最初 100 m 区间(0.0377 m)。快组最大

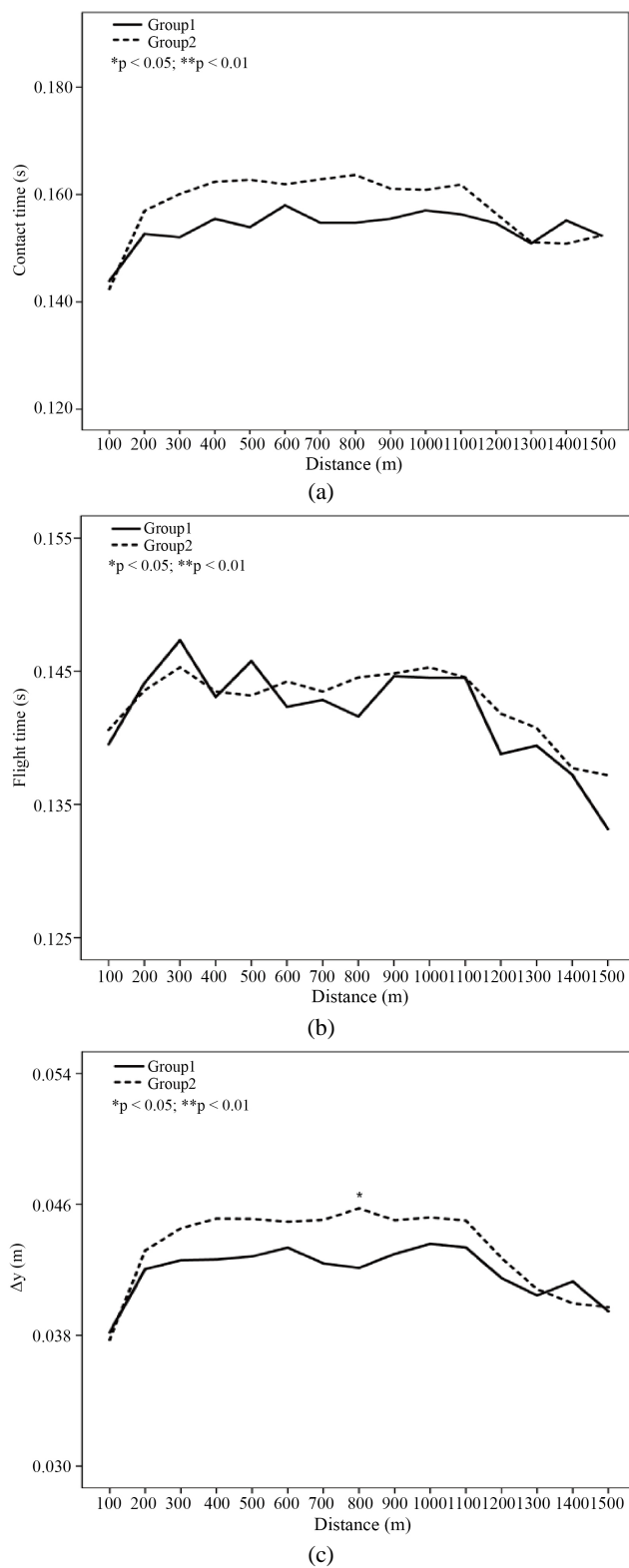


Figure 4. Diagrammatic sketch of contact time (a), flight time (b) and center of mass displacement change (c) of Japanese women's 1500m race (*p < 0.05; **p < 0.01)

图 4. 日本女子 1500 m 跑接地时间(a)、腾空时间(b)及重心位移变动(c)示意图(*p < 0.05; **p < 0.01)

重心位移变动则落在 1000 m 区间(0.0436 m), 最小落在最处 100 m 间处(0.0382 m)。两组选手在各区间重心位移变动差异性上, 仅在 800 m 处呈现显著差异性($p < 0.05$)。

4. 分析与讨论

4.1. 日本女子 1500 m 跑速度分配特征

在计时比赛项目中, 选手比赛过程并不总是恒定的, 它会根据外界环境、生理和心理状态变化而自我调整。如何设定比赛节奏对选手更新成绩, 赢得比赛有很大影响[11]。Foster 等认为适当的步调对运动成绩至关重要。对比前三名选手成绩发现, 差距仅有 1%。说明即使是节奏策略上的微小变化也可能对比赛结果产生重大影响[12] [13]。根据 Duffield 等学者对 1500 m 跑能量代谢的研究, 女性选手有氧比例占 86%, 无氧为 14% [14], 因此, 提高选手无氧供给能力, 调控自身有氧和无氧供给平衡, 对提高运动员比赛性能十分重要。另外, 根据学者 Adams 对中长跑节奏类型的研究, 可将中长类跑速类型主要分为三类: “slow-fast”、“fast-slow-fast”、“steady” [15]。从运动学角度来看, “steady” 类型跑法最为理想。但在实际比赛中, 由于人体能量代谢、空气阻力、地心引力等因素影响, 速度并非一成不变。从本研究两组选手速度分配模式来看(图 5), 以相对速度 100%为基准, 快组选手途中速度相对稳定, 且不难看出日本女子选手无论快组还是慢组, 均呈现出“fast-slow-fast-slow”的战略分配模式。从日本女子速度分配来看(图 2(a)), 快组前 1300 m 速度明显大于慢组, 最后两百米慢组速度大于快组。在 300~400 m、700~900 m 及 1200 m 区间, 两组选手存在显著差异性($p < 0.05$)。两组均从 1100 m 处速度大幅度提升至 1300 m, 最后 200 m 均呈现速度显著下降趋势。慢组相对快组, 途中跑能力表现较弱, 节奏分配较为不均。因此, 提高日本女子途中跑水平与维持冲刺速度对日本女子选手提高运动水平与成绩至关重要。

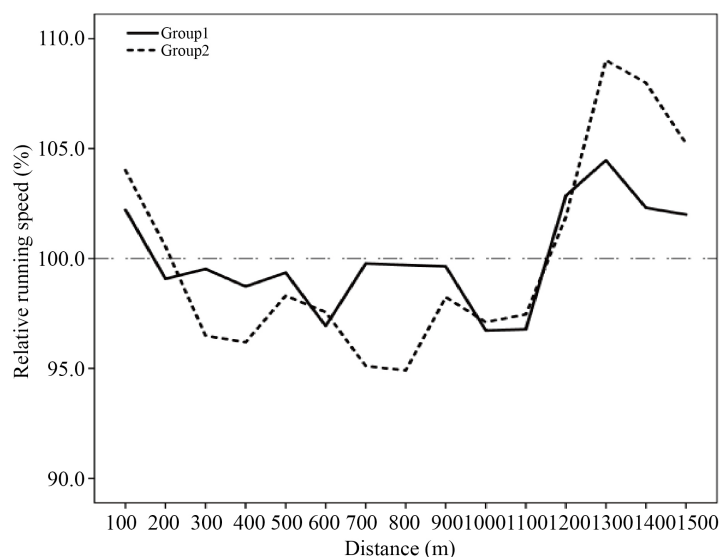


Figure 5. Pace pattern of Japanese women's 1500 m
图 5. 日本女子 1500 米跑速度分配模式

4.2. 影响日本女子 1500 m 跑速的机械要因

影响中长跑性能的要因很多。Thompson 等认为, 中长跑性能的特点是生物力学和生理学参数的中间值, 每一个参数的巧妙组合都有可能致使高水平成绩出现。机械功率的输出和能量分配差异因比赛项目而不同[16]。一般来讲, 跑速是由步频与步幅乘积决定, 同时步幅与步频互相影响。根据 Hogberg、Luhtanen

等研究,当跑速接近最大速度的70%~80%之前,步幅的增加比步频的增加影响要大,如果跑速继续增大,步频则急剧增加,步幅则会减小[17][18]。本研究中国女子快慢两组选手步频均表现为起跑和冲刺阶段增加显著,途中步频较慢。两组步频与速度均呈现显著相关性(快组: $r = 0.772$, $p < 0.01$; 慢组: $r = 0.888$, $p < 0.01$)。步幅上面,慢组选手200~900 m区间波动较大。快组在1000~1100 m区间步幅下降明显。最后200 m冲刺阶段,两组步幅均呈下降趋势。步幅与速度之间,慢组呈现显著相关性($r = 0.855$, $p < 0.01$),快组则无显著相关性($r = 0.416$, $p = 0.123$)。因此,提高和维持日本女子途中步频和冲刺步幅,对提高选手成绩十分重要。

此外,Follond、Danielle 等对中长跑运动员进行了生物力学动作分析,并指出:中长跑速度快的选手在落地时的小腿角度明显较小,在落地时骨盆的峰值制动速度较小,整个步态周期躯干更直立。速度较慢的人在最初的地面接触时踝关节弯曲程度更大,躯干前倾程度更大[19][20]。但由于上述实验多数在空间有限的实验室完成,因此并不能客观的反映出实际比赛中选手真实的运动表现。Aragon 等人认为,对于中长跑1500 m的研究,大多数研究集中于运动员表现的生理学研究,少部分集中于生物力学的动作分析。有限的实验室数据和现有的理论模型表明,不同的节奏策略对运动员水平发挥影响很大。因此,需要通过获取选手实际比赛的过程,进一步研究1500 m跑中的节奏分配尤为重要[21]。福田等人在对优秀短距离选手腾空、落地与重心移动的研究指出:速度越快,腾空距离与时间越长,落地距离与时间越短,而身体重心水平移动距离与时间受落地与腾空时间影响[22]。本研究与短跑不同,快慢两组选手速度与落地(快组: $r = -0.595$, $p < 0.05$; 慢组: $r = -0.842$, $p < 0.01$)、腾空时间(快组: $r = -0.673$, $p < 0.01$; 慢组: $r = -0.851$, $p < 0.01$)均呈现出显著负相关。在重心位移变动与速度上,均呈显著负相关性(快组: $r = -0.788$, $p < 0.01$; 慢组: $r = -0.876$, $p < 0.01$)。表现出速度越快,腾空与落地时间越短,重心上下位移越小。因此,伴随着速度降低,步频减少,身体重心的上下位移增大等,可能成为影响跑步经济性下降的主要原因[23]。

5. 结论

1) 日本女子选手快组平均速度快,步频快,步幅长,落地和腾空时间短,重心位移小。各区间变量分配来看,L4区间速度和步频最快,步幅最长。落地时间与重心位移变动上,快组在L3、慢组在L2区间最大。腾空时间上,快组在L1区间、慢组在L3区间最大。除腾空时间外,两组各变量在L2区间均呈现显著差异性。

2) 从两组速度变化率来看,快组在1000~1100 m~1100~1200 m区间加速最大,在0~100 m~100~200 m区间减速最大。慢组在1100~1200 m~1200~1300 m区间加速最大,在100~200 m~200~300 m区间减速最大。

3) 两组速度与步频呈显著正相关,与腾空、落地时间、重心位移变动呈显著负相关。慢组步幅与速度呈显著正相关,快组步幅与速度无显著相关性。

4) 从日本女子选手1500 m速度分配来看,呈现“fast-slow-fast-slow”的战略分配模式。此外,提高选手途中跑水平,维持冲刺速度,加强其途中步频和冲刺步幅能力对提高日本女子运动员运动水平至关重要。

参考文献

- [1] 郑春波. 中国女子中长跑的现状分析及对策研究[D]: [硕士学位论文]. 济南: 山东师范大学, 2006.
- [2] 李明, 魏家俊. 我国女子中长跑的现状分析及对策研究[J]. 辽宁体育科技, 2006, 28(2): 56-58.
- [3] 榎本靖士, 阿江通良, 森丘保典, 杉田正明, 松尾彰文. 世界と日本の一流男子 800m 選手のレースパターンの

- 比較[J]. 陸上競技研究紀要, 2005, 1(7): 16-22.
- [4] 松尾彰文, 杉田正明, 小林寛道, 阿江通良. 1500m 走における一流選手のスピード、ピッチ及びストライドの変化[C]//日本体育学会第 43 回大会. 1992: 429. https://doi.org/10.20693/jspeconf.43A.0_429
- [5] 榎本靖士, 杉田正明, 松尾彰文, 阿江通良. 一流女子中距離選手の 1500m レース分析[J]. 陸上競技研究紀要, 2006(2): 104-106.
- [6] 郜卫峰. 田径男子 1500 米全程速度节奏和能量代谢的特征[D]: [博士学位论文]. 北京: 北京体育大学, 2012.
- [7] 李玮. 男子 1500m 比赛速度节奏特征研究[J]. 河北体育学院学报, 2014, 28(4): 56-59.
- [8] 杨锋. 中距离跑项目速度节奏特征研究[D]: [博士学位论文]. 北京: 北京体育大学, 2016.
- [9] Carrard, A., Fontana, E. and Malatesta, M. (2018) Mechanical Determinants of the U-Shaped Speed-Energy Cost of Running Relationship. *Frontiers in Physiology*, **9**, Article No. 1790. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.01790>
- [10] Morin, J.B., Dalleau, G., Kyrolainen, H., Jeannin, T. and Belli, A. (2005) A Simple Method for Measuring Stiffness during Running. *Journal of Applied Biomechanics*, **21**, 167-180. <https://doi.org/10.1123/jab.21.2.167>
- [11] 有吉正博. 中距離走のペースに関する実験的研究[J]. 東海大学紀要, 体育学部, 1972(2): 43-54.
- [12] Foster, C., Schrage, M., Snyder, A.C. and Thompson, N. (1994) Pacing Strategy and Athletic Performance. *Sports Medicine*, **17**, 77-85. <https://doi.org/10.2165/00007256-199417020-00001>
- [13] De Koning, J.J., Bobbert, M.F. and Foster, C. (1999) Determination of Optimal Pacing Strategy in Track Cycling with an Energy Flow Model. *Journal of Science and Medicine in Sport*, **2**, 266-277. [https://doi.org/10.1016/S1440-2440\(99\)80178-9](https://doi.org/10.1016/S1440-2440(99)80178-9)
- [14] Duffield, R., Dawson, B. and Goodman, C. (2005) Energy System Contribution to 1500-3000-Metre Track Running. *Journal of Sports Sciences*, **23**, 993-1002. <https://doi.org/10.1080/02640410400021963>
- [15] Adams, W.C. (1968) The Effect of Selected Pace Variation on the Oxygen Requirement of Running a 4:37 Mile. *Research Quarterly*, **39**, 837-846. <https://doi.org/10.1080/10671188.1968.10613428>
- [16] Thompson, K.G., Maclaren, D.P., Lees, A. and Atkinson, G. (2004) The Effects of Changing Pacing on Metabolism and Stroke Characteristics during High Speed Breaststroke Swimming. *Journal of Sports Sciences*, **22**, 149-157. <https://doi.org/10.1080/02640410310001641467>
- [17] Hogberg, P. (1952) Length of Stride, Stride Frequency, "Flight" Period and Maximum Distance between the Feet during Running with Different Speeds. *Arbeitsphysiologie*, **14**, 431-436. <https://doi.org/10.1007/BF00934422>
- [18] Luhtanen, P., Komi P.V. (1978) Mechanical Factors Influencing Running Speed. In: Asmussen, E. and Jørgensen, K., Eds., *Biomechanics*, Vol. VI-B, University Park Press, Baltimore, 23-29.
- [19] Danielle, T., Elissa, P., Philo, S. and Jason, B. (2019) The Relationship between Performance and Biomechanics in Middle-Distance Runners. *Sports Biomechanics*, **20**, 974-984. <https://doi.org/10.1080/14763141.2019.1630478>
- [20] Folland, J.P., Allen, S.J., Black, M.I., Handsaker, J.C. and Forrester, S.E. (2017) Running Technique Is an Important Component of Running Economy and Performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, **49**, 1412-1423. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001245>
- [21] Aragon, S., Lapresa, D., Arana, J., Anguera, M.T. and Garzon, B. (2016) Tactical Behaviour of Winning Athletes in Major championship 1500m and 5000m Track Finals. *European Journal of Sport Science*, **16**, 279-286. <https://doi.org/10.1080/17461391.2015.1009494>
- [22] 福田厚治, 貴嶋孝太, 浦田達也, 中村力, 山本篤, 八木一平, 伊藤章. 一流短距離選手の接地期および滞空期における身体移動に関する分析[J]. 陸上競技研究紀要, 2013, 9(12): 56-60.
- [23] 大森由香子, 関慶太郎, 榎本靖士. 大学女子中長距離走者におけるピッチと上下動がランニングエコノミーに及ぼす影響[C]//日本体育学会大会予稿集: 第 67 巻, 日本体育学会, 2016: 263.