

影响 1 500m 跑节奏的机械要因及赛后血乳酸浓度分析

The Effect of Mechanical Factors and Post – competition Blood Lactate on Pace of 1 500m

杨永昌, ENOMOTO Yasushi
YANG Yong – chang, ENOMOTO Yasushi

摘 要:目的:对影响 1500m 跑速的各机械变量及赛后血乳酸浓度进行相关分析。方法:以 11 名男子中长跑选手为研究对象,通过视频分析与血乳酸浓度测试,获取选手各机械变量及赛后血乳酸浓度值。结果:步幅与速度间呈显著相关性($r = 0.805, P < 0.01$)。赛后血乳酸浓度峰值与比赛成绩无显著相关性。L3 区间速度与血乳酸浓度峰值呈显著相关性($r = 0.608, P < 0.05$)。各区间变量分配在 L3 区间速度、步频、身体垂直刚度最小,重心位移最大;L4 区间步幅、最大地面反作用力、腾空时间最小,接地时间最大。结论:步幅对选手节奏影响显著。第三区间乳酸堆积及机械变量薄弱是导致选手比赛中、后程速度降低的主要原因。

关键词:1 500m;速度;节奏;血乳酸浓度

中图分类号:G804 **文献标识码:**A **文章编号:**1008 – 2808 (2021) 04 – 0023 – 07

Abstract:The purpose of this study was to investigate the effect of mechanical factors and post – competition blood lactate on pace of 1500m. **Methods:**11 middle and long – distance runners were taken as the research objects. Through the video analysis and the blood lactate concentration test, the runner’s mechanical factors and post – competition blood lactate values after the race are obtained. The results were as follows: Stride length and running speed were significantly correlated ($r = 0.805, P < 0.01$), No correlation was found between blood lactate concentration and race time, but L3 section running speed and PBLa were significantly correlated ($r = 0.608, P < 0.05$). From the perspective of variables in each section, the speed, stride frequency, and vertical stiffness (Kvert) are the smallest, and the center of mass (Δy) is the largest in the L3 section. The stride length, maximal reaction force (Fmax) and flight time are the smallest, and the contact time is the largest in the L4 section. **Conclusions:** The stride length has a significant effect on the runner’s pace. accumulation of lactate and mechanical factors of L3 section are the main causes for the runner’s speed reduction.

Key words:1 500m; Running speed; Running pace; Blood lactate concentration

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。Foster 等学者认为适当的步调对运动成绩至关重要^[1]。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^[2]。1 500m跑是一项及有氧和无氧代谢能力都很高的项目。根据 Duffield 等学者对1 500m跑能量代谢的研究,男性选手有氧占 77%,无氧 23%,女性有氧占 86%,无氧为 14%^[3]。可见有氧与无氧代谢在 1 500m 运动中都占有极其重要的角色。

通常将骨骼肌抗氧化能力、最大摄氧量(VO_{2max})、最大心率(HR_{max})等用作评价中长跑运动能力的指标。近年来,通过无氧阈(AT)评估运动成绩和设定运动强度的研究亦很多^[4]。学者 Thompson 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。中长跑在生理性能上取决于跑步经济性和抗疲劳性,而从生物力学角度来看,这种高经济性源于执行理想的机械模式,包括施加适当大小、方向和时间力,同时避免额外体能消耗。所以在保持接地时间的同时,增加步频、降低最大垂直地面反作用力和冲击载荷的生物力学因素与抗疲劳性有关^[5]。

此外,优秀中长跑运动员均表现出较高的摄氧量^[6-7],在有氧条件下可以维持的最大速度与中长跑成绩显著相关^[8]。在无氧能力评价方面,森丘等学者认为血液中乳酸浓度的变化对其评价无氧功率与中长跑性能十分重要^[9]。在赛后乳酸与成绩方面,榎本等学者对 800m 跑赛后血乳酸浓度进行了相关研究,结果显示赛后血乳酸浓度与运动成绩并无显著相关性,但区间速度与血乳酸浓度方面存在不同程度相关^[10]。黄仁官等学者在10 000m 跑和半程马拉松项目研究中发现,比赛成绩与赛后血乳酸浓度呈显著负相关^[11]。

基于当前中长跑项目研究现状,本研究意在通过对1 500m跑各机械要因及赛后血乳酸浓度变化的分析,探讨对其实际比赛中跑步节奏分配的影响,从而为训练与比赛提供参考。

1 研究对象与方法

1.1 研究对象

11 名健康男性中长跑运动员,年龄 20.2 ± 1.03 岁;身高 1.72 ± 0.06 m;体重 57.8 ± 5.45 kg;比赛成绩 $4.05.21 \pm 3.86$ s;个人最佳成绩 $4.00.84 \pm 5.11$ s;比赛达成率为 $98\% \pm 1.64$;赛后血乳酸浓度峰值(PBLa)为 19.93 ± 3.32 mmol/L。所有选手自愿参加了这项研究(详见表 1)。

表 1 各实验对象特征

对象	年龄 (岁)	身高 (m)	体重 (kg)	比赛 成绩	最佳 成绩	完成率 (%)	PBLa (mmol/L)
1	20	1.66	52.4	3.54.85	3.51.17	98.43	22.2
2	20	1.82	64.1	4.03.53	4.03.17	99.85	15.2
3	22	1.85	69.0	4.04.29	3.51.15	94.62	17.6
4	19	1.67	57.1	4.05.35	4.00.17	97.89	20.2
5	22	1.70	50.0	4.05.47	4.05.00	99.81	16.7
6	20	1.70	56.0	4.05.74	4.05.82	100.03	24.2
7	19	1.70	52.9	4.05.82	4.00.48	97.83	20.2
8	20	1.65	60.8	4.05.97	3.56.73	96.24	24.9
9	21	1.72	59.8	4.06.57	4.06.00	99.77	18.5
10	20	1.71	60.5	4.08.05	4.05.13	98.82	15.7
11	19	1.70	53.0	4.11.67	4.04.62	97.20	23.8
Mean	20.18	1.72	57.78	4.05.21	4.00.84	98.23	19.93
S. D.	1.03	0.06	5.45	3.86	5.11	1.64	3.32

1.2 研究方法

1.2.1 1 500m数据采集 本研究采用两台数码相机(HC-VX908M,松下,日本)沿跑道对选手进行跟踪拍摄。拍摄速度为 59.94fps,鸣枪闪光拍摄时的快门速度为 1/60s,之后相机速度以 1/500s~1/1000s 录制至比赛结束。视频以 AVI 格式保存,Quick Time Player 软件读取。

1.2.2 赛后血乳酸采取 为获取 PBLa(血乳酸浓度峰值),赛后对其进行指尖取血(Lactate Pro 2; Japan; 测量范围 0.5~25.0mmol/L; 测量时间 15s)。采血以赛后续隔 1、3、5 分钟进行,直至选手血乳酸浓度开始降低为止。部分选手采血至 4~5 次,所有选手均在 10min 内完成 PBLa 测定。

1.2.3 各变量计算 从视频中读取每 100m 段的时间(1/100s),将每段时间代入公式(1),计算每 100m 区间的速度。

$$V_{100} = \frac{100}{t}$$

(1)

读取每 100m 区间中 10 步所需时间,将 1 步所需时间倒数作为步幅(SF),公式(2)。将每个区间平均速度比上步频求得每 100m 区间的步幅(SL),公式(3)。

$$SF = \frac{1}{1 \text{ steps time}}$$

(2)

$$SL = \frac{V_{100}}{SF}$$

(3)

读取每 100m 区间 10 步所需帧幅,计算每 100m 区间的平均接地时间(CT)和腾空时间(FT)。本研究相机拍摄速度为 59.94fps。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(4)。

$$CT = \frac{FI - FO}{59.94} \text{ or } FT = \frac{FO - FI}{59.94}$$

(4)

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1 500m划分 14 个区间,分别表示为:L1 - 2: 0 - 100m ~ 100 - 200m; L2 - 3: 100 - 200m ~ 200 - 300m …… L14 - 15: 1 300 ~ 1 400m - 1 400 ~ 1 500m,由此可得:

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

(5)

此外,Nummela 等学者表明,跑的经济性受到地面反作用力的垂直冲力,步幅长度,地面接触时间变化以及腿部垂直刚度的影响^[12]。根据 Carrard 等学者研究,通过对接地时间(CT)、腾空时间(TF)、运行速度和体重评估,可采用 Morin 等学者提出的方法来计算身体弹簧质量参数(spring - mass parameters)来评价其经济性^[13-14]。即垂直刚度(Kvert,单位 N/m,公式(6)),最大反作用力(Fmax,单位 N,公式(7)),身体重心位移(Δy,单位 m,公式(8))。

$$F_{\max} = mg \frac{\pi}{2} \left(\frac{TF}{TC} + 1 \right)$$

(6)

$$\Delta y = \left| -\frac{F_{\max}}{m} * \frac{TC^2}{\pi^2} + g * \frac{TC^2}{8} \right|$$

(7)

$$K_{\text{vert}} = \frac{F_{\max}}{\Delta y}$$

(8)

1. 2. 4 数理统计法 运用描述性统计对数据做初步分析,结果表示为平均值 ± 标准差 (Means ± S. D.)。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%。

2 研究结果

11 名选手平均比赛成绩在 4'05"21 左右,一位选手达到我国 1 级水平,剩余 10 名选手均达到了我国 2 级水平。比赛成绩达到个人最佳成绩的 98% 左右。表 2 为各区间变量分配指标。将 1 500m分为四个区间来看(即 L1:0 ~ 400m; L2: 400 ~ 800m; L3: 800 ~ 1 200m; L4: 1 200 - 1 500m),其中,速度(6. 03m/s, 98. 4%)、步频(3. 2Hz, 99. 0%)、身体垂直刚度(37 430N/m, 97. 3%)在 L3 区间最小;步幅(1. 88m,98. 8%)、最大地面反作用力(1 694. 93N,96. 7%)与腾空时间(0. 145s,95. 5%)在 L4 区间最小;接地时间 L4 区间最大(0. 162s,102. 8%);身体重心位移在 L3 区间最大(0. 047m,102. 1%)。

表 2 各区间变量指标

变量	L1(0 - 400m)	L2(400 - 800m)	L3(800 - 1200m)	L4(1200 - 1500m)
速度(m/s)	6. 22(0. 10)	6. 15(0. 10)	6. 03(0. 08)	6. 11(0. 05)
步频(Hz)	3. 27(0. 03)	3. 22(0. 02)	3. 2(0. 01)	3. 27(0. 03)
步幅(m)	1. 9(0. 04)	1. 91(0. 02)	1. 88(0. 02)	1. 87(0. 03)
接地时间(s)	0. 152(0. 003)	0. 157(0. 002)	0. 16(0. 001)	0. 162(0. 002)
腾空时间(s)	0. 154(0. 002)	0. 154(0. 001)	0. 152(0. 001)	0. 145(0. 004)
最大地面反作用力(N)	1794. 01(29. 81)	1764. 76(15. 84)	1744. 02(8. 53)	1694. 93(27. 15)
重心位移(m)	0. 045(0. 001)	0. 046(0. 001)	0. 047(0. 0002)	0. 046(0. 001)
垂直刚度(N/m)	40446(1576)	38200(774)	37430(195)	37502(50)
% 速度	101. 5(1. 63)	100. 4(1. 61)	98. 4(1. 29)	99. 7(0. 79)
% 步频	100. 9(0. 97)	99. 4(0. 57)	99. 0(0. 19)	100. 9(0. 88)
% 步幅	100. 5(2. 25)	101. 0(1. 26)	99. 4(1. 29)	98. 8(1. 65)
% 接地时间	96. 6(2. 20)	99. 8(1. 24)	101. 5(0. 42)	102. 8(0. 98)
% 腾空时间	101. 5(1. 33)	101. 5(0. 75)	100. 5(0. 68)	95. 5(2. 82)
% 最大地面反作用力	102. 3(1. 70)	100. 7(0. 90)	99. 5(0. 49)	96. 7(1. 55)
% 重心位移	97. 3(2. 28)	101. 0(1. 24)	102. 1(0. 43)	99. 5(1. 35)
% 垂直刚度	105. 2(4. 10)	99. 3(2. 01)	97. 3(0. 51)	97. 5(0. 13)

注:值表示为:Means ± S. D.

图1表示的是各机械变量与速度相关性示意图。关于影响跑速的要因,除了本研究所涉及的变量外,跑步者在接地时小腿的角度、髌关节制动、躯干前倾、踝关节弯曲等生物力学要因也对中长跑速度产生重要的影响^[15]。从本研究的结果来看:步幅与速度之间具有显著正相关性($r = 0.805, P < 0.01$),步幅越大,速度越快。其他变量与速度之间呈现弱相关性或无显著相关性。由此可见,步幅对此次比赛选手速度方面影响显著。

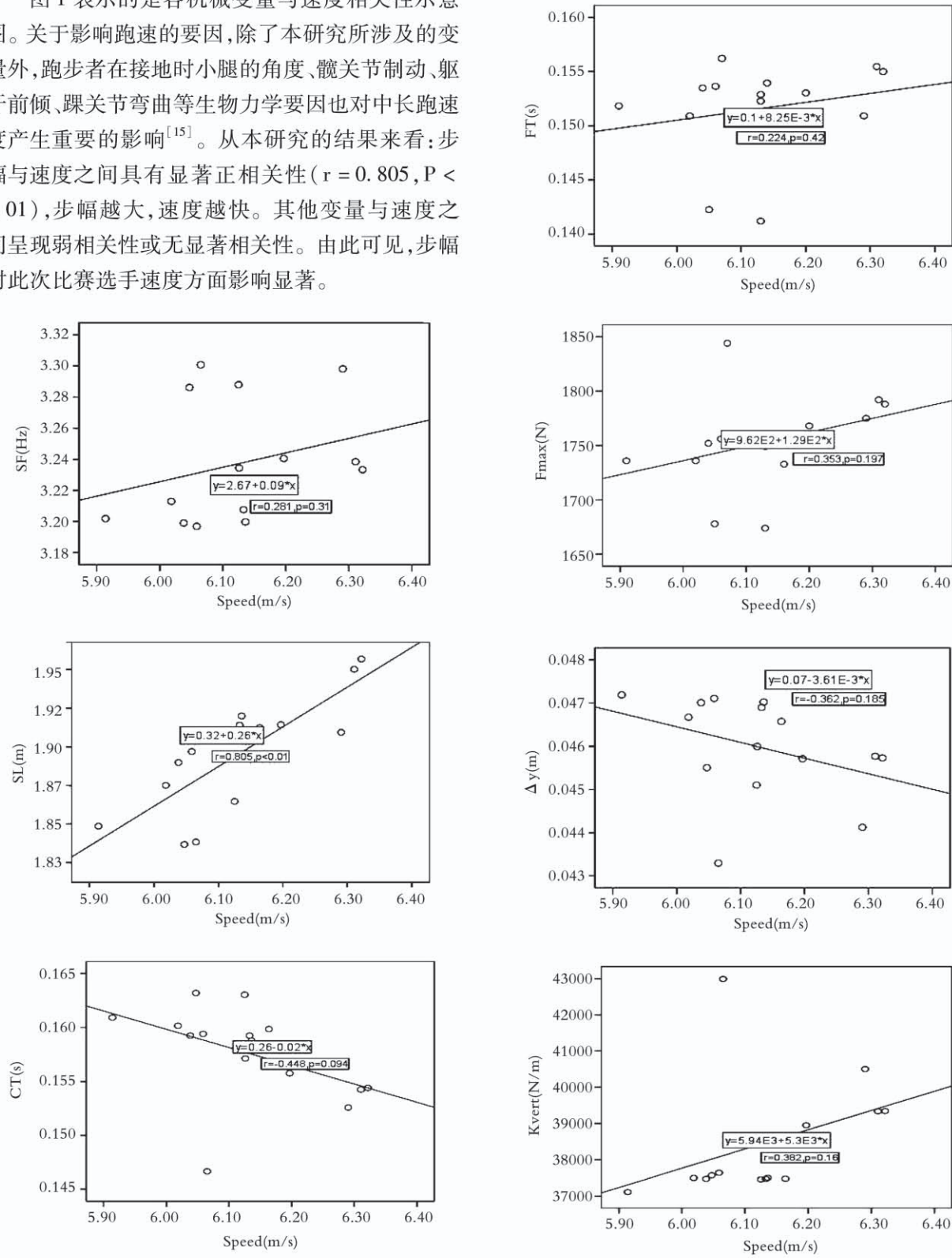


图1 各机械变量与速度相关性图

图2为选手比赛成绩与赛后血乳酸浓度峰值示意图。从本次实验结果来看,比赛成绩与赛后乳酸浓度峰值并无显著相关性($r = 0.021, P = 0.95$)。图3为1 500m各区间速度与赛后血乳酸浓度峰值

示意图。将1 500m速度分为四个区间(L1:0 ~ 400m; L2: 400 ~ 800m; L3: 800 ~ 1 200m; L4: 1 200 ~ 1 500m),第三区间速度与赛后乳酸浓度峰值存在显著相关性($r = 0.608, P < 0.05$),其余区间

无显著相关性。

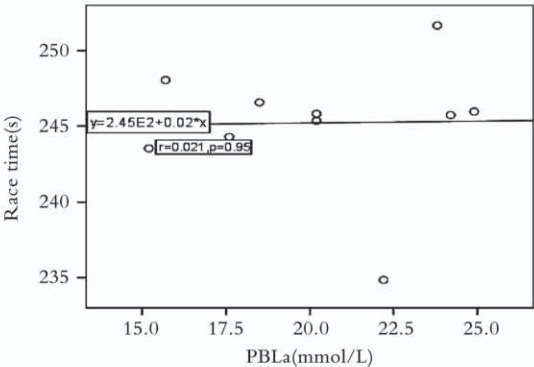


图 2 比赛成绩与赛后血乳酸峰值关系图

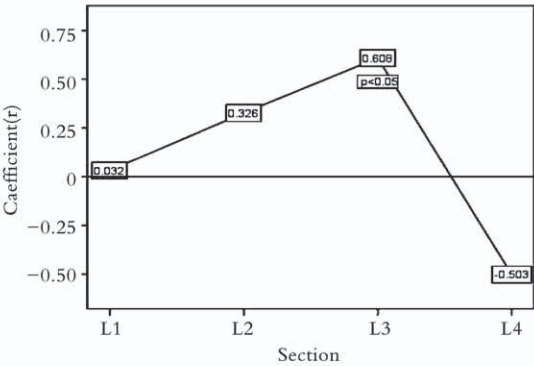


图 3 各区间速度与赛后血乳酸浓度峰值关系图

3 分析与讨论

3.1 速度分配模式对运动性能的影响

在中长跑比赛中,节奏分配关系着运动员的成绩水平。从运动学角度,主要考虑速度的分配;从生理学角度,主要考虑能量代谢与供给(有氧、无氧供能)^[16]。根据学者 Adams 研究,可将中长类跑速类型主要分为三类:slow - fast、fast - slow - fast、steady^[17]。从运动学角度来看,steady 型跑法最为理想,但实际比赛中,因人体能量代谢、空气阻力、地心引力等因素影响,速度并非一成不变。另外 Pettitt 和 Jones 等学者通过对中长跑临界速度、临界功率、氧动力学研究提出前半程速度的快慢对比赛成绩起到了决定性作用^[18-19]。然而,另一些研究指出,快速的启动模式会使选手 ATP - PCr 系统供能过早,或导致运动员提前达到最大摄氧量而引起选手过早疲劳^[20]。Hanon 等学者认为过度快速的起跑战略会损害整体表现,启动速度必须低于 VO_{2max} 的 115%,且持续时间不应超过 25 - 30s。启动速度应足够快用以增强 VO₂ 动力学,并快速调整节奏,以将 1 500m 中部的能量成本降至最低,以便能够在终点前 300m 加速^[21]。

从本研究参赛选手速度变化来看(见图 4),水平较高的选手,速度保持较为稳定,比赛后期冲刺

表现明显。而水平较低的选手,从 1 200m 处开始明显减速,表现最为明显的是 8 号选手在 1 200m 处的突然减速。导致该选手速度明显下降原因为前程速度过快,节奏战略分配失衡而导致前程体力过度消耗,体内产生大量疲劳物质所致。从所有选手各区间速度变化率来看(见图 5),加速最明显的区间是 L1 - 2,主要考虑选手为获取较有利的位置而采取的战略表现。减速最为明显的区间则在 L9 - 10。此时考虑选手过度消耗体力及体内疲劳物质堆积(乳酸)对选手速度带来直接影响。从选手速度分配模式来看(见图 6),以相对速度 100% 为基准,全程速度表现出「fast - slow - fast - slow」的战略分配模式。若最后 200m 冲刺阶段能维持在相对速度 100% 左右,整体水平将大幅提高。

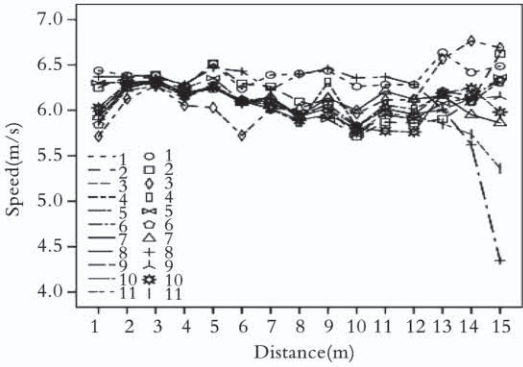


图 4 各选手速度变化示意图

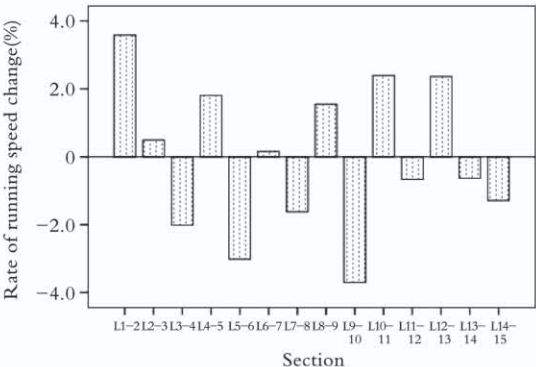


图 5 所有选手平均速度变化率图

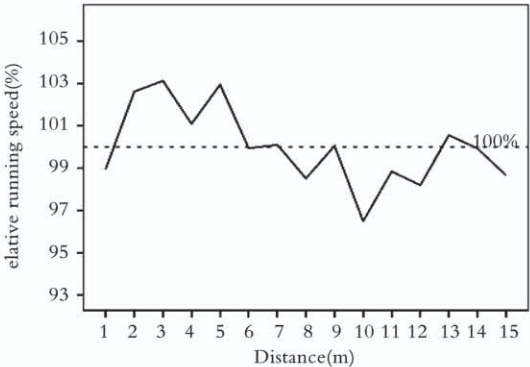


图 6 速度分配模式图

3.2 跑的机械因素对跑速节奏的影响

跑速由步频与步幅乘积决定。根据 Hogberg 和 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^[22-23]。另外,学者 Peter 在其步幅与氧气摄入量关系研究中,在最短和最长步幅时的 VO_2 的平均摄入量分别为 2.6 和 $3.4 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ 。步幅越大,氧气摄入量越多,能量消耗越大^[24]。在速度与各机械变量方面,Carrard 等学者发现各机械变量与速度之间呈现不同程度相关性^[13]。而从本研究各机械变量与跑速的相关性来看(见图 1),步幅与速度之间具有显著正相关性($r = 0.805, P < 0.01$),其他变量与速度之间呈现弱相关性或无显著相关性。导致该结果原因或许与实验对象水平差异不大有关。因此,今后需加强对不同级别,不同水平选手的研究,从而进一步探讨机械变量及赛后血乳酸浓度对其节奏性能变化的影响。

另外,从各区间各变量分配来看(见表 2),L3 区间的速度、步频、身体垂直刚度最小,重心位移在该区间最大。L4 区间的步幅、最大地面反作用力与腾空时间最小,接地时间在该区间最大。可见第三区间与第四区间各机械变量在整个比赛中较为薄弱。Jordan 与中野等学者在其研究中同样认为 1 500m 跑速的四个区间中,L3 区间是运动员性能最为薄弱的环节^[25-26]。因此,为提高选手中后程的运动能力,保持腾空与接地时间稳定,积极加快步频与加大步幅,维持身体重心位移平稳与身体刚度稳定等方面至关重要。与此同时,选手在落地时的小腿角度,盆骨的峰值制动速度,踝关节弯曲程度及躯干姿势等技术要领,也对其速度产生重要影响^[15,27]。

3.3 血乳酸浓度对跑速节奏的影响

血乳酸浓度作为评价选手无氧能力指标,一些研究表明比赛成绩与赛后乳酸浓度显著相关^[11]。但亦有研究表明,对于高水平运动员,赛后血乳酸浓度并不能作为评价成绩的绝对标准^[10,28]。本研究结果为赛后血乳酸浓度与赛后成绩并无显著相关性。而第三区间速度与赛后乳酸浓度峰值存在显著相关性($r = 0.608, P < 0.05$)。因此,第三区间乳酸堆积或许是导致第三区间各机械变量较为薄弱,影响选手速度节奏变化的原因之一。

目前,关于 1 500m 赛后血乳酸的研究较少。我国学者李金珠在对国内大学生男子中长跑运动员测得的运动后血乳酸浓度峰值为 12.6 mmol/L ^[29],与本研究赛后选手乳酸峰值 19.93 mmol/L 相比,浓度相对较低,其原因或许在于正式与非正式比赛运动后获取峰值的不同。因此无法客观比较两国大学生运动员实际水平。但据 Lacour 等学者对

800m 选手赛后乳酸浓度的峰值研究,赛后选手峰值可达到 20 mmol/L 左右^[8]。因此,对于 1 500m 跑赛后血乳酸浓度研究还有待深入研究。

4 结 论

基于上述 1 500m 跑各机械变量及赛后血乳酸浓度对其节奏的相关性研究,可得:

(1) 步幅与速度显著相关,步幅调整对选手节奏变化产生显著影响。赛后血乳酸浓度峰值与比赛成绩无显著相关。区间速度上,第三区间速度与赛后乳酸浓度峰值存在显著相关性。乳酸生成与堆积或许是导致第三区间速度降低的主要原因之一。

(2) 在节奏分配方面,选手整体表现出 fast – slow – fast – slow 的战略模式,个别选手因节奏分配不均,表现出明显 fast – slow 模式。选手若能在最后 200 米冲刺阶段维持相对速度稳定,整体水平将大幅提高。

(3) 在不同区间各变量分配上,L3 区间的速度、步频、身体垂直刚度最小,重心位移最大;L4 区间的步幅、最大地面反作用力与腾空时间最小,接地时间最大。选手中、后程机械变量薄弱,对整体节奏影响较大。

参考文献:

- [1] Foster C., Schrager M., Snyder A. C., et al. Pacing strategy and athletic performance [J]. Sports Med., 1994, 17(2): 77 – 85.
- [2] De Koning J. J., Bobbert M. F., Foster C. Determination of optimal pacing strategy in track cycling with an energy flow model [J]. J Sci Med Sport., 1999, 2(3): 266 – 277.
- [3] Duffield R., Dawson B., Goodman C. Energy system contribution to 1500 – 3000 – metre track running [J]. J. Sports Sci. 2005, 23(10): 993 – 1002.
- [4] Kumagai S., Kiyoji, Matsuura Y., et al. Relationships of the anaerobic threshold with the 5 km, 10 km and 10 mile race [J]. Eur. J. Appl. Physiol. 1982(49): 13 – 23.
- [5] Thompson K. G., Maclaren D. P., Lees A., et al. The effects of changing pacing on metabolism and stroke characteristics during high speed breaststroke swimming [J]. J. Sports Sci., 2004, 22(2): 149 – 157.
- [6] Foster C., Costill D., Daniels J., et al. Skeletal muscle enzyme activity, fiber composition and $VO_{2\text{max}}$ in relation to distance running performance [J]. Eur. J. Appl. Physiol Occup

- Physiol., 1978(39): 73 – 80.
- [7] Camus G. Relationship between record time and maximal oxygen consumption in middle – distance running[J]. Eur. J. Appl. Physiol. Occup Physiol., 1992(64): 534 – 537.
- [8] Lacour J., Bouvat E., Barthelemy J. Post – competition blood lactate concentrations as indicators of anaerobic energy expenditure during 400 – m and 800 – m races[J]. Eur. J. Appl Physiol Occup Physiol., 1990a (61): 172 – 176.
- [9] 森丘保典,伊藤静夫,大庭恵一. 間欠的漸増負荷走行中の血中乳酸動態から推定されるパワーと中距離走能力との関係[J]. 体力科学, 2003(52): 285 – 294.
- [10] 榎本靖士, 門野洋介. 800mレースにおける走スピードとレース後の血中乳酸濃度との関係[J]. Bulletin of studies in athletics of JAAF, 2007(3): 70 – 72.
- [11] 黄仁官, 上田大, 別府健至. 大学駅伝ランナーにおける10,000m走及びハーフマラソンレース時の血中乳酸濃度に関する検討[J]. Bulletin of Nippon Sport Science University, 2009, 39(1): 25 – 33.
- [12] Nummela A., Keranen T., Mikkelsen L. O. Factors Related to Top Running Speed and Economy[J]. Int. J. Sports Med., 2007, 28: 655 – 661.
- [13] Carrard A., Fontana E., Malatesta M. Mechanical Determinants of the U – Shaped Speed – Energy Cost of Running Relationship [J]. Front. Physiol., 2018(9): 1790.
- [14] Morin, J. B., Dalleau G., Kyrolainen H., et al. A simple method for measuring stiffness during running [J]. J. Appl. Biomech., 2005(21): 167 – 180.
- [15] Trowell D., Phillips E., Saunders P, et al. The relationship between performance and biomechanics in middle – distance runners [J]. Sports Biomechanics, 2019(10): 1 – 11.
- [16] 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, 1972(2): 43 – 54.
- [17] Adams, W. C. The effect of selected pace variation on the oxygen requirement of running a 4:37 mile[J]. Res. Quart., 1968, 39(4): 837 – 846.
- [18] Pettitt R. W. Applying the critical speed concept to racing strategy and interval training prescription [J]. International Journal of Sports Physiology and Performance, 2016 (11): 842 – 847.
- [19] Jones A. M.. Influence of pacing strategy on O₂ uptake and exercise tolerance [J]. Scand J. Med Sci Sports, 2007(18): 615 – 626.
- [20] Medbo J. I., Tabata I. Relative importance of aerobic energy release during short – lasting exhausting bicycle exercise[J]. J Appl Physiol, 1989(67): 1881 – 1886.
- [21] Christine Hanon, Jean – Michel Lévêque, L. Vivier, Claire Thomas. Oxygen uptake in the 1500 metres [J]. New Studies in Athletics, IAAF, 2007, 22 (1): 15 – 22.
- [22] Hogberg P. Length of stride, stride frequency, "flight" period and maximum distance between the feet during running with different speeds [J]. Arbeitsphysiologie, 1952 (14): 431 – 436.
- [23] Luhtanen, P., Komi P. V. Mechanical factors influencing running speed. International series on Biomechanics [J]. University Park Press: Baltimore, 1978(2B): 23 – 29.
- [24] Peter R. The effect of stride length variation on oxygen uptake during distance running [J]. Med. Sci. Sports Exerc, 1982(14): 30 – 35.
- [25] ペイトン・ジョーダン、バド・スペンサー. アメリカ陸上競技の技術[M]. 講談社, 1970: 53 – 63.
- [26] 中野正英, 若吉浩二, 尾縣貢, 中谷敏昭. ランニングペースに影響を及ぼす要因について[J]. 日本体育学会大会号 1996, 47 (0): 547.
- [27] Folland J. P., Allen S. J., Black MI, Handsaker J. C., Forrester S. E. Running technique is an important component of running economy and performance [J]. Medicine & Science in Sports & Exercise, 2017 (49): 1412 – 1423.
- [28] Lacour J. R., Bouvat E., Barthelemy J. C. Post – competition blood lactate concentrations as indicators of anaerobic energy expenditure during 400m and 800m races [J]. Eur. J. Appl Physiol. 1990(61): 172 – 176.
- [29] 李金珠, 于建成. 血乳酸、血尿素生理生化指标对耐力运动员训练水平的影响及其相关性研究[J]. 山西师大体育学院学报, 2005, 20(2): 124 – 125.