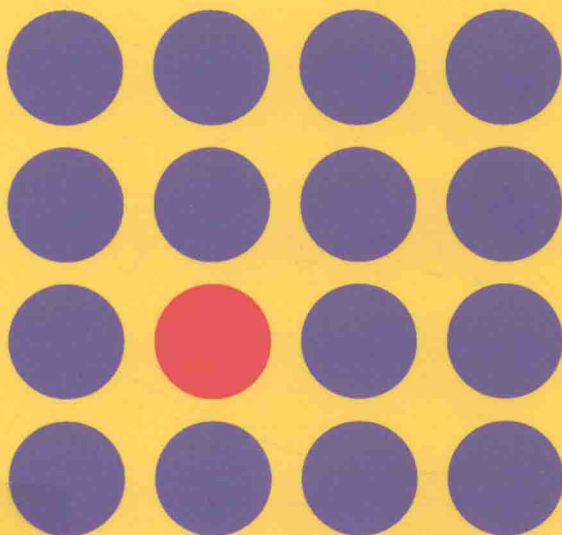


中国体育博士文丛

本书由武汉体育学院体育学重点学科资助出版

田径男子1500米跑全程速度 节奏和能量代谢的特征

郜卫峰 著



北京体育大学出版社

本书由武汉体育学院体育学重点学科资助出版

中国体育博士文丛

田径男子 1500 米跑全程速度节奏和 能量代谢的特征

郜卫峰 著

北京体育大学出版社

策划编辑 李 飞
责任编辑 郎 玥
审稿编辑 李 飞
责任校对 王子涵
版式设计 博文宏图

图书在版编目 (CIP) 数据

田径男子 1500 米跑全程速度节奏和能量代谢的特征/
郜卫峰著. - 北京: 北京体育大学出版社, 2015. 4
ISBN 978 - 7 - 5644 - 1896 - 0

I. ①田… II. ①郜… III. ①男子项目 - 长跑 - 运动速度 (体育) - 研究 ②男子项目 - 长跑 - 能量代谢 - 研究 IV. ①G822.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 84426 号

田径男子 1500 米跑全程速度节奏和能量代谢的特征

郜卫峰 著

出 版	北京体育大学出版社
地 址	北京海淀区信息路 48 号
邮 编	100084
邮 购 部	北京体育大学出版社读者服务部 010 - 62989432
发 行 部	010 - 62989320
网 址	http://cbs.bsu.edu.cn
印 刷	北京京华虎彩印刷有限公司
开 本	787 × 1092 毫米 1/16
成品尺寸	235 × 157 毫米
印 张	12
字 数	167 千字

2016 年 7 月第 1 版第 1 次印刷

定 价 48.00 元

(本书因装订质量不合格本社发行部负责调换)

摘 要

计时类项目的成绩与速度节奏的变化关系密切,而速度节奏的变化又源于运动能量输出的改变,因此从能量代谢的层次探讨田径男子1500米速度节奏的特征,有助于发现中国田径男子1500米项目存在的问题并找到解决问题的思路。

本文首先观察了男子1500米跑比赛速度节奏的总体趋势及变化特征;然后,参照国际大赛以名次为目的的速度节奏变化模式,设计、实施了场地干预节奏1500米跑测试,并与受试者以获得最快成绩为目的的场地1500米跑测试时的速度节奏及能量代谢方面的特征进行了比较;最后,结合比赛分析1500米跑测试及相关生理测试结果,讨论了男子1500米跑速度节奏总体趋势形成以及节奏变化差异产生的原因,得到以下结论。

(1) 经本文改进的相关实验方案适合应用在场测试条件下对跑类项目运动全程能量代谢动态变化的监控和测量。

(2) 男子1500米跑是一项以有氧为基础的混合代谢型项目。有氧功率的差异是快慢组受试者成绩产生差异的主要原因。快组在反映有氧机能的生理指标方面均优于慢组,且1500米跑专项成绩与最大摄氧量关系密切,说明最大有氧能力是区分受试者运动水平的关键因素,要始终高度重视有氧机能的全面提高和保持。

(3) 男子1500米跑有相似的速度节奏趋势,即在速度节奏曲线上存在着高速起动、途中低速、途中加速和终点速度保持4个区分较为明显的段落。但依参赛目的的不同,速度节奏在变化的时间和幅度方面会有所不同,粗略地可分为以名次为目的的节奏变化模式和以创造最佳成

绩为目的的节奏变化模式。

(4) 男子 1500 米跑高速起动有着生理学和战术方面的优势；途中低速段落主要与有氧供能加强和保留无氧储备有关；途中选择加速的时间、幅度与持续距离的基本依据是保证无氧储备充分动用，并保证在终点跑段落不出现明显的降速。

(5) 参照国际重大赛事中以比赛名次为目标的速度节奏变化模式进行运动，对受试者的峰值摄氧量并无影响，但可抑制途中跑段落的整体摄氧水平，并造成摄氧量下落现象集中发生于终点跑段落。说明这种名次节奏模式主要影响了运动员的有氧代谢能力，进而引起成绩的大幅下降。

(6) 中国男子 1500 米跑运动员与国外优秀选手在生理机能、代谢水平方面的巨大差距是其成绩差异的根源。因此，中国田径男子 1500 米项目速度节奏实现突破的前提是生理机能与代谢水平的提高。

关键词：男子 1500 米跑；速度节奏趋势；速度节奏变化；能量代谢；摄氧动力学

Abstract

There are close relationships between velocity pacing and performance of time trial sporting events. The variation of velocity pacing depends on the energy metabolism, so analyzing the variation characteristics based on energy metabolism will be helpful for the improvement of men's 1500m running performance in China.

Firstly, this paper observed the tendency and variation characteristics of velocity pacing of men's 1500m running race; then designed and implemented the test on track, and analyzed the physiological factors affecting the performance of men's 1500m running, compared the differences of energy metabolism between the self - paced test for better performance and the intervention - paced test that was designed according to the velocity pacing variation model that was usually adopted for better place in international men's 1500m running competition; at last, based on the results of competition observation and tests, this paper synthetically discussed the reason for the formation and differences of variation of the velocity pacing profile for men's 1500m running, here were conclusions:

(1) The relevant test protocols that were improved by this paper can be used to monitor and test the dynamic changes of energy metabolism in the whole course of running.

(2) Men's 1500m running is a kind of sport that depends on mixture - energy supply and the aerobic energy plays the basic role. The difference of aerobic power explained for the difference of performance be-

tween two groups of subjects. The fast group was superior in aerobic function than the slow group, and the VO_{2max} closely correlated with the 1500m running performance. That suggested VO_{2max} could be used as a key index to discriminate between different exercise level's subjects, and during the whole phase of training for male 1500m runners the improvement and maintenance of the aerobic capacity should be paid more attention.

(3) It showed similar tendency for velocity pacing in men's 1500m running, there were four distinctive sections appearing successively on the velocity pacing profile, these were fast start section, low speed section, acceleration section and speed keeping section. According to the different goals for the competition, the pacing profiles could change in time and amplitude, these might be divided roughly into two changing models: better performance pacing model and better place pacing model.

(4) In men's 1500m running, fast start had physiological and tactical advantages; purpose of low speed section was keeping anaerobic energy reserve with the reinforcement of aerobic metabolism; when to accelerating, how amplitude of acceleration was and how long the acceleration sector covered were decided by the two principles: the anaerobic reserve should be fully used, and the speed could not decline below the average speed.

(5) Compared with performance pacing 1500m running test, the intervention - paced test didn't influence VO_{2peak} , but it depressed the oxygen uptakes during the whole halfway sector, and led to the most VO_{2} drop phenomenon appearing in the end sector. That indicated the velocity pacing variation model usually adopted for better place in competition could influence the aerobic energy supply and impede athletic performance significantly.

(6) The gap of performance between world elite and Chinese men's 1500m runners was rooted in the physiological functions and energy metabolism levels. Therefore, the breakthrough in velocity pacing for Chinese

athletes should be based on the improvement of physiological functions and energy metabolism levels.

Key words: men's 1500m running; velocity pacing tendency; velocity pacing variation; energy metabolism; oxygen uptakes kinetics

目 录

1	前 言	(1)
1.1	研究背景	(1)
1.2	研究目的与意义	(6)
2	文献综述.....	(9)
2.1	本研究“速度节奏”概念的界定	(9)
2.2	关于计时类项目速度节奏类型及能量代谢特点的研究	(10)
2.3	关于速度节奏调节机制的研究	(24)
2.4	关于 1500m 跑速度节奏特点的研究	(41)
2.5	关于 1500m 跑能量代谢特征的研究	(42)
2.6	关于影响 1500m 跑成绩的生理因素的研究	(44)
3	研究对象与方法	(53)
3.1	研究一：男子 1500m 跑比赛速度节奏特征的研究	(53)
3.2	研究二：最大累积氧亏简化测试方案的设计及其有效性 论证	(68)
3.3	研究三：男子 1500m 成绩节奏跑的能量代谢特征及影响 男子 1500m 跑成绩的生理因素	(86)

3.4 研究四: 速度节奏干预条件下男子 1500m 跑的能量代谢特征	(117)
4 分析与讨论	(135)
4.1 参赛(测试)目的与男子 1500m 跑速度节奏变化的关系	(135)
4.2 能量代谢水平与男子 1500m 跑速度节奏变化的关系	(137)
4.3 生理机能与男子 1500m 跑速度节奏的关系	(145)
4.4 对速度节奏调节机制的探讨	(150)
4.5 对男子 1500m 跑运动员选材、训练及比赛的建议	(154)
5 结论与建议	(158)
5.1 结 论	(158)
5.2 研究的创新	(159)
5.3 研究的局限	(159)
5.4 建 议	(160)
6 参考文献	(161)
7 附 录	(177)
附录 1 英文缩略词表	(177)
附录 2 本书主要测试仪器	(179)

1 前 言

1.1 研究背景

1.1.1 男子 1500m 跑比赛速度节奏的趋势及变化特征

在计时类项目的比赛中,运动员运动全程的速度并非始终保持恒定,而是会根据外部环境、生理及心理状态等的变化进行适当的调整,从而表现出一定的节奏特征。种种证据^[83,107,116,182]表明,速度节奏与计时类项目的运动成绩密切相关。

对计时类项目速度节奏的系统研究始于 20 世纪 50 年代^[5]。经过半个多世纪的发展,学者们已经明确了计时类项目常用的 6 种速度节奏类型,并对比赛持续时间在 30s ~ 1min 的短距离项目,以及比赛持续时间在 6 ~ 8min 以上的长距离项目的速度节奏类型归属也基本达成了共识。比较而言,由于中距离/中等持续时间项目的类型繁多,且代谢更为复杂,因此,现有研究对该类项目所适宜采用的速度节奏的观点还存在着较大的分歧。

男子 1500m 跑也是一项对有氧和无氧代谢能力都有很高要求的中距离项目,但相对于 1500 ~ 4000m 自行车^[66,80,105,107]、200 ~ 400m 游泳^[116,117]、赛艇^[54,89,119]等其他中距离项目,学术界对 1500m 跑速度节奏的关注并不是很多。Tucker 等^[182]曾调查了 1500m 跑及其他中长跑项目世界纪录的速度节奏特点,但仅是指出男子 1500m 跑的速度节奏更

接近于长跑,而与另外一个中跑项目——800m 跑的速度节奏存在明显区别。Hanon 等^[98]虽然对成绩在 3min45s 以内以及 3min35s 以内的男子 1500m 跑运动员的速度节奏进行了比较,但遗憾的是,由于其研究的重点在于考察运动过程中的生理反应,因此并没有对不同水平运动员速度节奏方面的差异进行讨论。中国一些学者^[13,14]也曾对男子 1500m 跑的速度节奏特点进行了研究,但这些研究多是结合生理学、生物力学等学科理论,甚至是依赖主观经验对 1500m 跑的速度节奏特点进行了定性的描述和分析,明显缺乏相关数据的支撑。

研究^[182]表明,相同的计时类项目,其速度节奏的总体趋势有很强的相似性,但依运动员的运动水平,参赛目的等的不同,其速度节奏发生变化的时间和幅度也存在着一定的差异。这就提示我们,对国际优秀男子 1500m 跑运动员比赛的速度节奏进行分析,总结其趋势及变化特点,可能会找到长期以来都是中国田径运动中的弱势项目——男子 1500m 跑的突破路径。

1.1.2 男子 1500m 跑全程速度节奏的能量代谢特征及影响男子 1500m 跑成绩的生理因素

速度节奏的变化源于运动能量输出的改变^[66],因此对速度节奏研究的关键即是明确其能量代谢的动态变化过程。对运动状态下机体能量代谢的过程进行实时监测是相对困难的。在实践中,有氧供能的变化一般可通过摄氧量来间接地反映,而无氧供能的评定受技术条件的制约,长期以来,一直缺乏一种能被公认的测试方法。

氧亏(OD: oxygen deficit)的概念最早是由 Krogh 和 Lindhard^[120]在 1920 年提出的,意指恒定负荷运动时,运动初期的摄氧曲线与摄氧达到稳态时,摄氧曲线间的差异。时隔近半个世纪后, Hermansen^[104]又重新介绍了氧亏的概念,并以运动时需氧曲线与摄氧曲线的面积差——累积氧亏(AOD: accumulated oxygen deficit),初步实现了对无氧供能的量化处理。1988 年, Medbø 等^[131]在前人研究的基础上,通过一系列复杂测试,确立了最大累积氧亏(MAOD: maximal accumulated

loxygen deficit) 的测试方法。同时, Medbø 等^[131]还在研究中发现: 个体的 MAOD 在超过 2 ~ 3min 的力竭性测试中为一恒定的值, 可作为量化无氧供能与评价无氧代谢能力的有效指标。在接下来 20 多年的时间里, MAOD 法以其较高的实用性和有效性, 被认为是一种“黄金标准”^[142], 广泛地应用于无氧代谢能力的评定及对其他无氧代谢能力测评方法有效性的判别。

MAOD 法评定无氧代谢能力的原理是根据负荷 - 摄氧对应关系计算运动过程中的理论需氧量, 再参照对运动中实际摄氧量的测量, 进而得出无氧代谢的贡献。其核心步骤是负荷 - 稳态摄氧 ($PO - VO_2$) 预测方程的建立。Medbø 等^[24]在 3 周的时间里, 对受试者进行了 20 次强度在 35% ~ 100% VO_{2max} 之间, 每回合持续 10min 的恒定负荷测试, 确立了 $PO - VO_2$ 预测方程构建的条件和原则, 而 Medbø 等^[131]的这份报告也成为后人相关研究最为重要的参考依据。不过, 繁琐的测试虽然能够在一定程度上保证测量的准确性, 却并不利于在实践中的推广。为此, 诸多学者在 Medbø 等^[131]的研究基础上, 对建立 $PO - VO_2$ 预测方程的测试次数、每回合持续的时间进行了相应的简化, 测试周期逐渐缩短至 1 ~ 3 天^[38,48,85,145,157]。然而, Buck 等^[56,57]的研究结果表明, 当以 10 次测试建立预测方程所计算出的 MAOD 作为标准, 逐渐减少测试次数并建立预测方程得到相应的 MAOD, 其与标准值的最大差异可达 45%; 而若取每回合测试最后 2min 的 VO_2 值建立预测方程, 则随着测试时间由 4min 延长至 10min, 预测方程曲线会逐渐上移, 其中 8 ~ 10min VO_2 取值方案得到的 MAOD, 要比 2 ~ 4min 取值方案高 25.8% 之多, 说明测试方案对建立 $PO - VO_2$ 预测方程及计算 MAOD 有着重要的影响。但遗憾的是, 相关研究在简化测试方案的同时, 却并未对其有效性进行深入的探讨, 以致在研究结果间产生了大量的分歧, 影响了 MAOD 作为动态评价无氧代谢能力重要指标应有的价值。

实际上, 除了测试的次数以及每回合持续的时间外, 影响 MAOD 测试有效性的另外一个关键因素是测试的强度。Green 等^[94]观察到, 当分别以 5 次低于和 5 次高于无氧阈 (AT) 的次极限 (submaximal)

恒定负荷测试,为自行车运动员建立两个 $PO-VO_2$ 线性回归方程,前者方程与横坐标的夹角要比后者小 14%,说明测试强度越大,方程的斜率越大,计算的 MAOD 值也会更高。而 Daniels 等^[65]的研究发现,长跑运动员在较低跑速时的耗氧较中跑运动员低,在较高跑速时的耗氧又较中跑运动员高,说明测试强度与受试者的专项特点也有着密切的联系。因此,对 MAOD 测试方案进行规范时,还需着重考虑恒定负荷测试的强度对建立 $PO-VO_2$ 预测方程的影响。

1.1.3 男子 1500m 跑全程速度节奏的能量代谢特征及影响男子 1500m 跑成绩的生理因素

从逻辑关系上讲,以能量代谢的视角分析速度的变化情况,是深入研究速度节奏的重要一环。早期,学者们主要探讨了不同代谢途径在 1500m 跑中的供能比例。1998 年, Foss 等撰文指出,有氧代谢占 1500m 跑总能量供应的 50%。然而,随后大量的实验结果却驳斥了 Foss 等^[78]的观点。不少学者分别利用 La-PCr 法^[110]、AOD 法^[168]及数学模拟法^[71]研究了 1500m 跑时不同代谢途径供能的比例。虽然因测试条件、受试对象、评价方法等的不同,结果也有所差异,有氧及无氧供能的比例一般在 75:25~90:10 之间。目前,学界已对 1500m 跑的代谢属性达成了共识,承认了有氧供能的主导地位。但遗憾的是,受测试手段的限制,至今未见有研究关注 1500m 全程跑中能量供应动态变化的特点,以致无法从代谢的角度对速度节奏进行更为深入的探索。

事实上,从能量代谢的角度探索 1500m 跑全程速度节奏的变化特点,不但便于深刻理解项目的代谢归属,更为重要的是有助于发现能够有效区分运动员训练状态及运动水平的生理指标。无论从现有的实验结果来看,还是对运动实践的经验而言,学界在影响 1500m 跑成绩关键生理指标的问题上还存在着诸多争议与空白。耐力跑的经典预测模型指出,最大摄氧量 (VO_{2max})、无氧阈 (AT) 和跑步经济性 (RE) 能解释长跑项目成绩 70% 以上的变异来源。在此基础上,不少研究检验了相关指标与 1500m 跑成绩,结果学者们只能在反映心肺功

能上限的 VO_2max 与 1500m 跑成绩的关系上,取得较为一致的观点,但对反映乳酸清除能力的 AT 和反映运动时效性的 RE 与成绩的关系方面,却因受试对象、测试手段以及评价方法的不同,存在着不同的看法。从实践角度讲,尽管有氧代谢是 1500m 跑主要的能量来源,但无氧代谢对维持较高的比赛速度却更为重要。为此,不少学者又从无氧能力的评价指标入手,试图发现影响 1500m 跑成绩的关键因素。然而,无论是以 wingate 测试为代表的计功仪器测试结果,还是以 AOD 为代表的理论推算结果,甚至是肌肉活检的直接测定结果,都未能与 1500m 跑成绩发生显著相关。

以上背景表明,受代谢特点的限定,优秀男子 1500m 跑运动员需在有氧和无氧两种供能途径上都具备较强的能力。对男子 1500m 跑全程能量代谢进行实时监测对于明确其代谢属性,发现其速度节奏变化与能量代谢的关系,进而探讨能有效评定运动员专项水平的敏感指标,并用以指导训练,有着重要的意义。

1.1.4 速度节奏干预条件下男子 1500m 跑全程的能量代谢特征

研究速度节奏根本目的之一是为了探索一种既能保证生理系统不受损害,又能获得优异比赛成绩的最佳节奏(optimal pacing)模式。然而,影响比赛的外部因素众多,而运动的人体又极其复杂,因此目前对比赛最佳节奏的探索还处于起步阶段,主要是从能量代谢的角度出发,比较以何种速度节奏的变化方式才能更为有效地发挥生理机能。

对速度节奏的探索往往需要借助于干预节奏测试,因此干预节奏的设计是体现该类研究价值的重要因素。现阶段有关中距离计时类项目速度节奏研究的干预节奏设置主要可分为三类:进行先快后慢的快起式干预节奏、先慢后快的慢起式干预节奏以及从始至终速度保持不变的匀速干预节奏。Bailey 等^[26]对于普通受试者的功率自行车测试证明,强度变化 20% 的快起节奏较匀速或慢起节奏的运动,提高了 3min 全力运动有氧供能的总量,但对 6min 全力运动的有氧代谢无明显影

响。而 Jones^[116] 等对于普通受试者的 2min 全力功率自行车测试, 虽然也证明了强度变化 20% 的快起节奏能较慢起或匀速节奏运动更能促进有氧供能总量的提高, 但同时还指出了慢起节奏(强度变化 20%) 比快起节奏运动更为显著地引起了无氧供能总量的提高。另外, Fukuba 等^[86] 利用相似的干预方法对受试者进行测试后发现, 在强度变化为 17% 的力竭性干预节奏测试中, 快起或慢起节奏对受试者无氧供能总量的影响并无显著差别。

上述三份较有代表性的报道, 基本上反映了目前中距离计时类项目干预节奏测试研究的现状: ① 受试者多为健康男性, 缺乏具有一定训练水平的运动员的相关测试结果; ② 强度控制多利用测功仪器完成, 缺乏场地测试研究; ③ 干预强度的设置多以生理模型为依据, 强度变化往往远大于现实比赛中速度节奏变化的幅度; ④ 研究一般仅关注干预节奏对有氧和无氧供能总量的影响, 而忽视了对干预过程中能量代谢动态变化情况的考察。⑤ 研究间尚存在较大分歧。为此, 选择男子 1500m 跑运动员作为受试对象, 参照国际优秀运动员比赛速度节奏变化模式特点, 设计、实施场地干预节奏测试, 并着重关注节奏模式的变化对能量代谢的影响, 对进一步理解男子 1500m 运动员生理机能、能量代谢与速度节奏之间的关系, 以及提高研究的应用价值有重要的意义。

1.2 研究目的与意义

1.2.1 研究目的

基于以上研究背景, 本文将从以下 5 个方面对男子 1500m 跑的速度节奏及速度节奏的能量代谢特征进行研究。

1.2.1.1 以中外男子 1500m 跑比赛的速度节奏为研究对象, 着重考察相对速度的变化情况, 目的是发现不同名次、不同赛次、不同水平男子 1500m 跑运动员速度节奏的总体趋势及变化特征。

1.2.1.2 以不同专项成绩男子 1500m 跑运动员为受试对象,借助便携式生理仪器,设计并实施与专项相关的场地测试,目的是:在保证测试有效性和可靠性的前提下,简化 MAOD 的测试程序,实现对 1500m 跑全程无氧代谢变化特征的动态测量。

1.2.1.3 利用场地 1500m 跑测试,观察不同成绩受试者以获得最快成绩为目的运动时,速度节奏的特点和机体有氧、无氧供能动态变化的情况,并从速度节奏的角度,分析不同成绩受试者能量代谢的特点及差异;结合 1500m 跑全程能量代谢的变化特征,探寻能有效反映男子 1500m 跑专项运动水平的敏感生理指标。

1.2.1.4 以男子 1500m 跑运动员为受试对象,参照国际优秀运动员比赛速度节奏变化模式的特点,设计并实施场地干预节奏跑测试,目的是:观察干预节奏条件下,受试者有氧及无氧代谢的动态变化情况;比较不同段落中,干预节奏 1500m 跑测试与以获得最快成绩为目的的 1500m 跑测试在能量代谢方面的差异,并分析差异产生的原因。

1.2.1.5 综合比赛分析及相关场地测试结果,探讨男子 1500m 跑速度节奏总体趋势的形成以及不同变化产生的原因,分析影响因素男子 1500m 跑速度节奏的因素。

1.2.2 研究意义

1.2.2.1 理论意义

速度节奏与计时类项目成绩密切相关。本文通过对比赛及场地测试时男子 1500m 跑运动员全程速度节奏变化特征及其相关能量代谢特征的分析,提高了跑类项目的研究层次,丰富了速度节奏的研究体系。

1.2.2.2 实践意义

本文对场地运动条件下 MOAD 的测试方案进行了改良,为实现跑类项目全程无氧代谢水平的动态测算奠定了实验基础;对男子 1500m 场地跑全程速度节奏的能量代谢特征进行分析,进一步明确了男子