

文章编号: 1004-7220(2024)06-1168-07

游泳世锦赛 1 500 m 自由泳奖牌获得者的有效节奏策略特征

吕晓庆^{1,2}, 吴昊源¹, 洪乐雯¹, 李明³, 李旭鸿^{1,2}

(1. 杭州师范大学 体育学院, 杭州 311121; 2. 杭州师范大学 体育赛事与健康促进研究中心, 杭州 311121;

3. 上海体育大学 运动健康学院, 上海 200438)

摘要:目的 探寻 1 500 m 自由泳比赛中奖牌获得者是否与竞争对手选择不同的节奏策略, 从而确定获得比赛胜利的有效节奏策略特征。方法 选取 2003~2023 年游泳世锦赛 1 500 m 自由泳决赛运动员为研究对象, 根据最终名次对比赛中 175 名精英运动员分段时间、比赛成绩分别计算, 比较奖牌获得者与其竞争对手在节奏策略主要指标之间的差异, 对上述的变量选择单因素方差分析。结果 不论分段时间, 还是出发、途中游和冲刺阶段速度, 奖牌获得者均拥有明显的优势 ($P < 0.01$)。比赛成绩归一化后, 奖牌获得者与第 4~8 名运动员在分段时间百分比和标准化速度上的差异主要体现在前、后半程的后 400 m 左右 ($P < 0.05$)。无论是否获得奖牌, 男子自由泳运动员节奏策略类型以反 J 型、U 型居多, 而女子则以反 J 型为主 (90.9%)。奖牌获得者的出发和冲刺指数较高, 但是仅冲刺指数与第 4~8 名运动员存在显著性差异 ($P < 0.05$), 同时在途中游阶段的变异系数以及变异系数密度分布的中位数和四分位数明显较低。结论 不论性别和最终比赛名次, 1 500 m 自由泳决赛运动员基本上都采用类似的抛物线节奏策略。但是相对第 4~8 名运动员, 奖牌获得者均选择相对保守的出发策略、较为稳定的途中速度以及强劲的冲刺。综合来看, 反 J 型曲线是精英自由泳运动员获得 1 500 m 比赛胜利的有效节奏策略。

关键词: 精英运动员; 自由泳; 游泳比赛; 节奏策略

中图分类号: R 318.01 文献标志码: A

DOI: 10.16156/j.1004-7220.2024.06.022

Characteristics of Effective Pacing Strategies of 1 500-m Freestyle Medalists in World Swimming Championships

LÜ Xiaqing^{1,2}, WU Haoyuan¹, Hong Lewen¹, LI Ming³, LI Xuhong^{1,2}

(1. School of Physical Education, Hangzhou Normal University, Hangzhou 311121, China; 2. Research Center for Sports Events and Health Promotion, Hangzhou Normal University, Hangzhou 311121, China; 3. School of Exercise and Health, Shanghai University of Sport, Shanghai 200438, China)

Abstract: Objective To explore whether the medalists in 1 500-m freestyle swimming choose different pacing strategies from their competitors, so as to determine the most effective pacing strategy characteristics to obtain victory in swimming race. **Methods** The 1 500-m freestyle finalists in World Swimming Championships from 2003 to 2023 were selected as candidates of this study. According to the final ranking of the 175 elite athletes in the race, the split time, cumulative time were calculated, respectively. The differences of the main indicators in pacing strategies between medalists and their competitors were compared, and the above variables were selected

收稿日期: 2024-09-14; 修回日期: 2024-09-30

基金项目: 浙江省教育厅一般科研项目 (Y202454779), 国家级大学生创新创业训练计划项目 (202410346069)

通信作者: 李旭鸿, 教授, 博士生导师, E-mail: lxhong928@163.com

for one-way ANOVA statistical analysis. **Results** The medalists had a significant speed advantage regardless of split time in the race, as well as the velocity of the starting stage, intermediate swim and end spurt ($P < 0.01$). After the normalization of the cumulative time, the differences between the medalists and 4th-8th athletes in the percentage of split time and normalized velocity were mainly reflected in the last 400 m or so of the first and second half of the race ($P < 0.05$). Regardless of whether they won medals or not, the pacing strategies of male freestyle swimmers were mostly reverse J- and U-shaped, while those of the female were mainly reverse J-shaped (90.9%). The diving start indicator (DSI) and end-spurt indicator (ESI) of medalists were higher, but the ESI of medalists was significantly different from that of 4th-8th athletes ($P < 0.05$). Meanwhile, the coefficient of variation (CV) and the median and quartile of the density distribution of CV were significantly lower in intermediate stage. **Conclusions** All 1 500-m freestyle finalists follow a similar parabolic pacing strategies regardless of gender and final race ranking. Compared with their competitors, the medalists choose a relatively conservative starting strategy, a more even pace through the middle section of the race and a strong end-spurt. In summary, the reverse J-shape is an effective pacing strategy for the success of elite freestyle athletes in 1 500-m swimming competitions.

Key words: elite athlete; freestyle swimming; swimming competition; pacing strategies

在计时类项目比赛中,运动员为了在尽可能短的时间内完成规定的比赛距离,需要适当地能量分配,这种能量消耗的分配模式被称为节奏策略^[1]。它是一种为了达到最佳运动表现,在未对生理系统造成不可逆伤害的前提下,进行有意识或者潜意识的能量输出调控^[2]。由于水的特性,导致游泳运动的阻力较大且机械效率通常较低。因此,与其他陆地项目相比,游泳运动员节奏策略的选择对比赛成绩的影响就显得更为重要。尤其是长距离耐力项目,为了避免过早出现疲劳,就要控制能量消耗的时间分布,特别在高水平运动员能力水平相近的情况下^[3-5],毕竟高手之间的差距非常小,其输赢仅在毫厘之间。虽然前期已有研究利用分段时间^[6]、分段时间百分比^[7]、标准化速度^[8]进行节奏策略特征曲线的描述和解释,考虑到不同竞技水平运动员比赛成绩的异质性,上述任何一个指标是否能呈现不同竞技水平运动员节奏策略的差异并不清楚。同时,有研究指出,长距离耐力项目的节奏策略大多为抛物线型,其中包括 U 型曲线,而且还有 J 型或反 J 型^[9]。鉴于游泳比赛出发 15 m 水下蝶泳腿,故第 1 个 50 m 速度普遍较快。因此,仍需深究长距离游泳运动员的节奏策略。另外,长距离游泳运动员在比赛开始和结束的几圈速度较快,在途中游阶段则是保持较均匀的速度节奏游进。但相对于没有站上领奖台的运动员,奖牌获得者是否拥有更快的出发、冲刺能力,以及在途中游进其速度波动更小,

有待于进一步研究。

基于上述考虑,本文以 1 500 m 自由泳为研究对象,对 2003~2023 年世界精英游泳运动员在世锦赛上的比赛成绩展开分析,并进一步探寻奖牌获得者与其竞争对手在节奏策略上的特征曲线、类型,以及出发、冲刺能力和途中游的速度稳定性之间的差异,确定获得 1 500 m 自由泳比赛奖牌的有效节奏策略特征,旨在为我国教练员和运动员科学化训练、制定比赛策略提供一定的参考依据^[10-11]。

1 研究对象与方法

1.1 研究对象

以参加 2003~2023 年游泳世锦赛 1 500 m 自由泳决赛的运动员为研究对象,历时 21 年共 11 届游泳世锦赛。其中,男、女奖牌获得者(第 1~3 名)均为 33 人,而未获得奖牌的运动员(第 4~8 名),男、女分别为 54、55 人(2015 年 1 名运动员因伤弃赛)。需要说明三点:首先,没有把 2001 年(日本福冈)及以前的游泳世锦赛囊括进来,主要是因为上述赛事并未公布各个分段游泳成绩;其次,未将 2024 年多哈游泳世锦赛纳入,主要是不少世界名将为了调整比赛和训练节奏全力备战 2024 巴黎奥运会,纷纷选择放弃导致成绩的含金量不足;第三,由于很多精英运动员在不同级别赛事(预赛和决赛)会选择不同的节奏策略,故未纳入预赛成绩。

1.2 研究方法

收集数据:从官方网站收集和整理数据,主要包括分段时间(split time)和最终时间(cumulative time),均来自国际泳联公开的官方公告(<https://www.worldaquatics.com/>)。信息均为公开获取。

定义与数据处理:

(1) 节奏策略特征曲线包括分段时间、分段时间百分比和标准化速度3个指标,根据最终的比赛名次分别进行第1~3名和第4~8名在各个分段的数据合并求平均值,因为它们代表了相似的结果(奖牌获得者与其竞争对手)。

(2) 节奏策略类型的划分根据每位运动员30个分段的速度计算其平均值和标准差^[12]。若出发和结束两个50 m的速度相差在1个标准差以内,定义为U型;若第1个50 m速度较大,且与最后1个50 m的速度相差超过1个标准差,定义为反J型,若相反则为J型。

(3) 出发和冲刺能力水平采用出发指数(diving start indicator, DSI)、冲刺指数(end-spurt indicator, ESI)表示。出发和冲刺指数越高,说明运动员的出发启动和冲刺到边能力越强^[13],公式如下:

$$DSI = (v_1 - \bar{v}) / SD$$

$$ESI = (v_{30} - \bar{v}) / SD$$

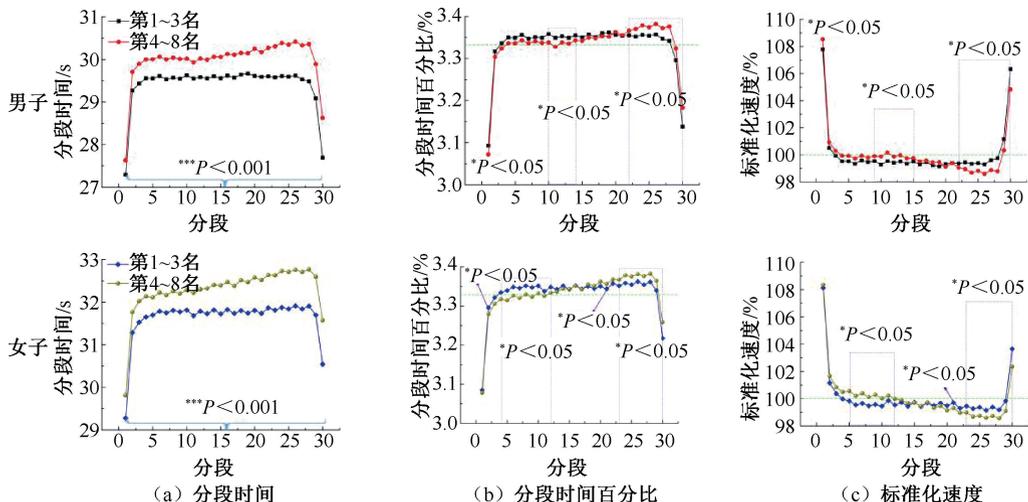


图1 游泳世锦赛1500 m自由泳奖牌获得者与其竞争对手节奏策略比较

Fig.1 Comparison of pacing strategies for 1500-m freestyle medalists and their competitors in the world championships (a) Split time, (b) Percentage of split time, (c) Normalized velocity

注:横坐标分段是指将1500 m自由泳比赛中以50 m进行分段,共计30个分段。

式中: v_1 和 v_{30} 表示每位运动员在第1个和第30个50 m分段上的速度; \bar{v} 和SD则分别表示每位运动员在第2~29个50 m(途中游1400 m)上速度的平均值和标准差。

(4) 途中游的速度稳定性利用连续分段速度的变异系数来表示,即每位运动员在途中游阶段每圈之间的差异。其中,奖牌获得者与其竞争对手的速度变异系数分布采用小提琴的核密度评估(kernel density estimation)表示。

1.3 统计分析

本文主要采用观察法和描述性分析,数据通过(均值±标准差)表示,利用SPSS 27.0对变量进行单因素方差(one-way ANOVA)分析两组之间(第1~3名和第4~8名)的差异,显著性水平为 $P < 0.05$ 。

2 研究结果

2.1 节奏策略特征曲线

从分段时间的角度看所有1500 m自由泳运动员,男子和女子奖牌获得者(第1~3名)在每个50 m上的分段时间均明显低于其竞争对手,且呈现非常显著性差异($P < 0.001$),见图1(a)。

由于每位运动员的最终成绩存在异质性,故常选择归一化的方式来描述不同竞技水平的运动员节奏策略特征曲线的差异。不论分段时间百分比

还是标准化速度, 男子奖牌获得者与其竞争对手的节奏策略特征曲线差异大致都是出现在第 1 个 50 m 分段上, 以及前半程 450~750 m 附近和后半程 1 100~1 500 m 处, 并呈现显著性差异 ($P<0.05$); 而女子精英运动员则是在前半程 200~600 m 附近, 以及在后半程 1 150~1 500 m 处出现显著性差异 ($P<0.05$), 见图 1(b)、(c)。

2.2 节奏策略的类型

对于 1 500 m 自由泳精英运动员, 无论最终是否获得奖牌其分段时间、分段时间百分比和距离的关系都遵循抛物线的曲线特征, 而标准化速度和距离的关系则是类似 U 型的曲线(见图 1)。因此, 本文利用全程比赛速度的平均值和标准差对上述两

个分段的速度进行差异性分析。结果发现, 1 500 m 精英运动员节奏策略(实线为均值、阴影面积为标准差)有 U 型、J 型和反 J 型 3 种(见图 2)。其中, 男子精英运动员以反 J 型和 U 型曲线居多(占比分别为 51.7% 和 35.6%)。有意思的是, 女子运动员没有 J 型特征曲线, 以反 J 型曲线为主(占比 90.9%)。从竞技水平角度看, 男子奖牌获得者的节奏策略类型分布相差不大, 其中 U 型 11 人、J 型 9 人和反 J 型 13 人, 而第 4~8 名男子运动员主要分布在 U 型(20 人)和反 J 型(32 人)。而女子运动员不论是否获得奖牌, 节奏策略均是以反 J 型为主(第 1~3 名 28 人、第 4~8 名 52 人)。同时, J 型 0 人、U 型 8 人。

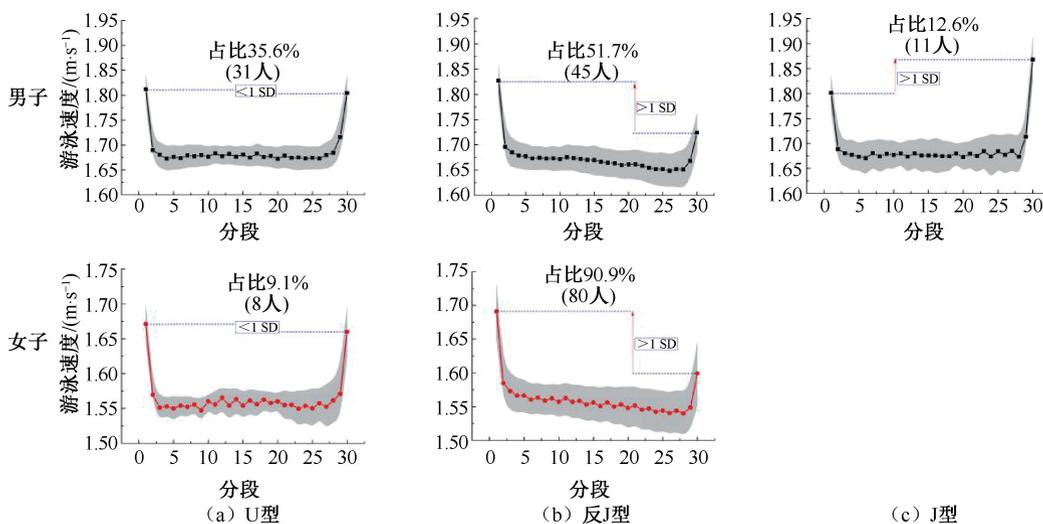


图 2 游泳世锦赛 1 500 m 自由泳运动员节奏策略类型

Fig. 2 Pacing strategy types of 1 500-m freestyle swimmers in the World Championships

(a) U-shape, (b) Reverse J-shape, (c) J-shape

注: SD 表示标准差。

2.3 出发、冲刺能力和途中游的速度稳定性

不论出发、途中游还是冲刺阶段, 奖牌获得者的速度均明显高于未获得奖牌的运动员 ($P<0.01$)。

从标准化速度的角度来看, 出发阶段所有精英运动员标准化速度都是自身平均比赛速度 107.8%~108.5%, 但奖牌获得者的标准化速度相对较低且仅男子在组间存在显著性差异 ($P<0.05$); 在途中游(1 400 m)阶段其速度下降至平均比赛速度的 99.7%, 同时奖牌获得者的标准化速度相对较低且各自在组间存在显著性差异 ($P<0.05$); 冲刺阶

段运动员标准化速度提高到自身平均比赛速度的 102.3%~106.3%, 奖牌获得者的标准化速度相对较高, 同时各自在组间均存在显著性差异 ($P<0.05$)。

不论性别如何, 奖牌获得者的出发、冲刺指数均高于未获得奖牌的运动员, 但是在两者之间仅冲刺指数呈现显著性差异 ($P<0.05$)。同时, 在途中游阶段, 奖牌获得者的速度变异系数均低于第 4~8 名, 但仅在女子运动员的两组之间呈现显著性差异 ($P<0.05$), 见表 1。

表1 游泳世锦赛1500 m自由泳运动员的出发、冲刺能力和途中游的速度稳定性

Tab. 1 Starting, end-spurt ability and velocity stability of 1500-m freestyle swimmers in the World Championships

参数		男子		女子	
		第1~3名 (n=33)	第4~8名 (n=54)	第1~3名 (n=33)	第4~8名 (n=55)
出发阶段(50 m)	速度/(m·s ⁻¹)	1.83±0.03**	1.81±0.03	1.71±0.04***	1.68±0.03
	DSI	9.56±2.83	9.33±3.38	10.81±3.03	9.41±3.73
	标准化速度/%	107.8±1.7*	108.5±1.6	108.1±1.7	108.3±1.9
途中游阶段(1400 m)	速度/(m·s ⁻¹)	1.69±0.01***	1.66±0.02	1.57±0.02***	1.54±0.02
	速度变异系数/%	0.92±0.27	1.07±0.41	0.83±0.25*	1.05±0.48
	标准化速度/%	99.5±0.1*	99.7±0.6	99.6±0.4*	99.8±0.5
冲刺阶段(50 m)	速度/(m·s ⁻¹)	1.81±0.06***	1.75±0.06	1.64±0.04***	1.58±0.04
	ESI	8.21±5.72*	5.94±3.96	5.40±3.63*	3.66±3.20
	标准化速度/%	106.3±3.5*	104.8±2.9	103.6±1.9*	102.3±2.4

注:奖牌获得者(第1~3名)与其竞争对手(第4~8名)相比,* $P<0.05$;** $P<0.01$;*** $P<0.001$ 。

另外,对游泳世锦赛1500 m自由泳运动员途中游的变异系数核密度分布进行分析,结果显示,所有奖牌获得者的Q1、Q2和Q3值都小于未获得奖牌运动员的相应值(见图3)。

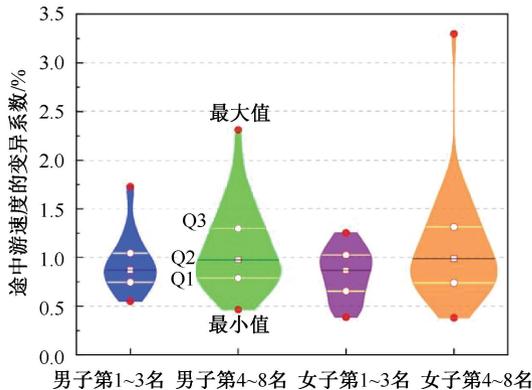


图3 游泳世锦赛1500 m自由泳运动员途中游分段速度的变异系数核密度分布

Fig. 3 Kernel density distributions of coefficient of variation through the middle section of the race for 1500-m freestyle swimmers in the World Championships

注:变异系数最大值和最小值分别位于小提琴图的两端(红点),黄线、黑线则分别表示四分位数(Q1、Q3)和中位数(Q2)。

3 讨论与分析

在长距离1500 m游泳比赛中,精英运动员为了高效地发挥有限的能量储备,通常都会选择适合自身的节奏策略来完成比赛,这往往是其获得成功

的关键因素特别是在能力水平接近的情况下。本文以2003~2023年游泳世锦赛1500 m自由泳决赛的运动员为研究对象,分析精英运动员在1500 m比赛中获得胜利或者奖牌有效的节奏策略特征规律,以期为我国教练员和运动员在国际大型游泳赛事中获得优异成绩提供一些实用的信息。

本文发现,近11届游泳世锦赛所有1500 m自由泳决赛选手,不论性别和最终名次基本上都采用类似的抛物线节奏策略(见图1)。该结果说明,长距离精英游泳运动员节奏策略的选择主要取决于项目距离,但无法忽视个人生理储备的差异和竞争对手的存在^[14],毕竟采取跟随的策略会形成视觉上的劣势,让运动员失去比赛的控制权和出现消极的心理反馈^[15]。但是若想确定一个项目有效的节奏策略特征,就需要探寻在国际大型游泳赛事中获得奖牌的运动员其节奏策略以及与竞争对手的差异。因此,本文从分段时间、分段时间百分比以及标准化速度3个角度探讨上述两者之间的差异。本文发现,无论从全程比赛分段时间,还是从出发、途中游和冲刺阶段的速度来看,相对于未获得奖牌的运动员,奖牌获得者则拥有较大的速度优势,呈现非常显著性差异($P<0.01$, $P<0.001$),这与前期的研究结果较为吻合^[4,8]。该结果表明,第4~8名运动员要在有氧耐力和技术优化上寻求突破,不需改变节奏策略的整体模式,毕竟比赛中游得更快才是其获胜的关键。鉴于不同竞技水平运动员比赛成绩的异质性,需要通过归一化的方式来消除差异^[16]。

因此,本文采用分段时间百分比和标准化速度来展开分析,结果显示:① 相对男、女奖牌获得者在出发阶段和前半程较为保守,而第 4~8 名则采取更高的平均比赛速度游进,特别在前半程的后半阶段明显提高了比赛的速度($P<0.05$),导致氧气的供应不足和无氧糖酵解代谢增加,大量的乳酸在体内形成堆积,使其后期乏力。其中,后半程最后 400 m 的比赛速度明显低于奖牌获得者($P<0.05$),进而无法获取比赛的胜利。该结果也间接佐证了 1 500 m 自由泳运动员采取略微保守的出发策略为最后的冲刺蓄力将会获得更好的比赛成绩这一结论^[4]。② 相对男子运动员,由于女子出发后在更多 50 m 分段上超过自身的平均比赛速度,特别是未获得奖牌的精英运动员,导致最后冲刺能力不足。具体表现为男子在最后两个 50 m 上将速度提高到平均比赛速度之上,而女子仅最后 1 个 50 m。本文认为,女子运动员在前程的节奏策略更为积极主动导致最后无法进行强劲的冲刺,这与前期研究的结果较为一致^[8]。由此推测,男、女 1 500 m 自由泳运动员在出发和冲刺阶段的差异主要归于节奏策略类型的不同。

本文应用出发策略类型的划分方法发现与长距离跑步、赛艇和速度滑冰等项目类似的研究结果,即无论是否获得奖牌,男子 1 500 m 自由泳运动员的节奏策略均以反 J 型和 U 型居多,而女子则以反 J 型为主。这不仅揭示前面自由泳运动员在开始和结束阶段分段时间百分比和标准化速度性别差异的根本原因,而且还说明了长距离自由泳精英运动员更为青睐反 J 型的节奏策略。值得注意,反 J 型曲线并不意味着游泳运动员在开始阶段就要采取冒进的出发策略,例如第 4~8 名运动员在前半程选择较高的速度游进,导致血乳酸浓度升高、代谢性酸中毒(metabolic acidosis)、肌肉活化能力下降等问题的出现^[17],无法产生或维持所需能量的输出,遗憾地与奖牌失之交臂。另一方面,奖牌获得者的 DSI 虽然略高,但与第 4~8 名运动员无显著性差异($P>0.05$)。再结合奖牌获得者明显较高的出发速度与较低的标准速度,表明在 1 500 m 自由泳比赛中奖牌获得者采取相对保守的出发策略,这与前期的研究结果较为相似^[17]。其意义在于保存体力,使途中的游速较为平稳,并能在冲刺阶段小幅度提

高速度。毕竟游泳比赛中速度的微小变化也会导致水阻力的增加,进而出现更多的能量消耗和技术动作不稳定^[15]。

结合途中游阶段的速度变异系数、变异系数的密度分布以及冲刺阶段的速度和冲刺指数 ESI 等指标结果,本文认为:首先,相对于第 4~8 名运动员的积极主动,奖牌获得者的出发策略则相对保守,其途中游的速度变异系数明显较小,且在变异系数的密度分布上也低于第 4~8 名运动员。由节奏策略特征曲线可以清晰看出,奖牌获得者在途中采取更为平稳的速度游进来完成比赛,这主要归于奖牌获得者较小的划频(stroke rate, SR)和较长的划幅(stroke length, SL),进而形成更为节省体力的划水效率^[13]。其次,不论冲刺阶段的速度还是 ESI,奖牌获得者均明显较高且呈现显著性差异($P<0.05$),说明出发策略保守和更为平稳的途中游速通常能产生更快的冲刺速度,但均低于出发阶段的速度。鉴于较快的冲刺速度是长距离精英运动员获得比赛胜利的重要原因^[3],说明相对保守的出发策略、较为平稳的途中游进以及较快的冲刺速度都会对 1 500 m 自由泳成绩产生积极的影响,导致无氧能力的节省和有氧供能系统的作用放大^[18]。为了最后强力冲刺而故意在前半程蓄力的 J 型节奏策略却未必是一种好的选择^[19],毕竟比赛后能量的任何剩余都毫无意义,这也是 J 型节奏策略被长距离精英运动员选择不多的原因。因此,1 500 m 自由泳运动员选择反 J 型节奏策略的关键是要立足自身的生理储备和能力水平,否则很难形成途中平稳的游进和最后的冲刺有力。

本研究的局限性如下:① 本文的节奏策略主要与 1 500 m 自由泳的分段时间有关,并未考虑转身的因素。由于途中游速的较为稳定,似乎有理由相信转身对本调查结果的影响很小。② 游泳速度是 SR 和 SL 的乘积,本文并未考虑是否存在最优的 SR/SL 组合来保持匀速的游进节奏,同时也未分析奖牌获得者在各个分段时间上的差异是否与 SR 和 SL 的变化有关。③ 观察到的节奏策略是预先计划和成功执行的结果,还是在比赛中根据竞争对手的行为做出的反应,目前尚不清楚。④ 由于水的特性导致游泳运动的阻力较大且机械效率通常较低,游泳运动员的节奏策略与陆地上项目有很大的差别,

故而很难推广到其他运动项目。

4 结论

不论性别和最终比赛名次,所有 1 500 m 自由泳决赛运动员基本上都采用类似的抛物线节奏策略,说明长距离游泳运动员节奏策略的选择主要取决于项目距离,并非个人生理储备的差异和竞争对手的存在。

无论是否获得奖牌,男子 1 500 m 自由泳运动员的节奏策略类型以反 J 型和 U 型居多,而女子则以反 J 型为主。相对于竞争对手,奖牌获得者均选择相对保守的出发策略、较为均匀的途中游进速度以及强劲的冲刺,表明这是其获得比赛胜利的关键因素。

利益冲突声明:无。

作者贡献声明:吕晓庆负责数据处理和论文撰写;吴昊源和洪乐雯负责核对和检查数据;李明则负责数据采集;李旭鸿负责论文修改。

参考文献:

- [1] FOSTER C, DEKONING JJ, HETTINGA F, *et al.* Effect of competitive distance on energy expenditure during simulated competition [J]. *Int J Sports Med*, 2004, 25 (3): 198-204.
- [2] MCGIBBON KE, PYNE DB, SHEPHARD ME, *et al.* Pacing in swimming: A systematic review [J]. *Sports Med*, 2018, 48(7): 1621-1633.
- [3] LIPINSKA P, ALLEN SV, HOPKINS WG. Modeling parameters that characterize pacing of elite female 800-m freestyle swimmers [J]. *Eur J Sport Sci*, 2016, 16(3): 287-292.
- [4] LIPINSKA P, ALLEN SV, HOPKINS WG. Relationships between pacing parameters and performance of elite male 1500-m swimmers [J]. *Int J Sports Physiol Perform*, 2016b, 11(2): 159-163.
- [5] MAUGER AR, NEULOH J, CASTLE PC. Analysis of pacing strategy selection in elite 400-m freestyle swimming [J]. *Med Sci Sports Exerc*, 2012, 44(11): 2205-2212.
- [6] 李旭鸿, 范年春, 刘公博, 等. 优秀自由泳运动员分段时间的特征研究 [J]. *中国体育科技*, 2012, 48(2): 72-78.
- [7] 陆家麒, 周胜如, 李旭鸿. 国内和国际游泳比赛中 200m 个人混合泳运动员节奏策略的选择 [J]. *浙江体育科学*, 2022, 44(2): 107-112.
- [8] LARA B, COSO JD. Pacing strategies of 1500 m freestyle swimmers in the world championships according to their final position [J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2021, 18(14): 7559.
- [9] ABBISS CR, LAURSEN PB. Describing and understanding pacing strategies during athletic competition [J]. *Sports Med*, 2008, 38(3): 239-252.
- [10] 顾耀东, 汪顺, 徐异宁. 巴黎奥运周期竞技游泳运动生物力学研究进展 [J]. *医用生物力学*, 2024, 39(4): 576-585.
- [10] GU YD, WANG S, XU YN. Research progress of competitive swimming sport biomechanics during paris olympic games period [J]. *J Med Biomech*, 2024, 39(4): 576-585.
- [11] 李上校, 杨进, 郝卫亚. 竞技体育生物力学 2023 年度研究进展 [J]. *医用生物力学*, 2024, 39(4): 563-575.
- [11] LI SX, YANG J, HAO WY. Research progress of competitive sports biomechanics in 2023 [J]. *J Med Biomech*, 2024, 39(4): 563-575.
- [12] SKORSKI S, FAUDE O, CAVIEZEI S, *et al.* Reproducibility of pacing profiles in elite swimmers [J]. *Int J Sports Physiol Perform*, 2014, 9(2): 217-225.
- [13] NEULOH JE, SKORSKI S, MAUGER L, *et al.* Analysis of end-spurt behaviour in elite 800-m and 1500-m freestyle swimming [J]. *Eur J Sport Sci*, 2021, 21(12): 1628-1636.
- [14] KONINGS MJ, NOORBERGEN OS, PARRY D, *et al.* Pacing behavior and tactical positioning in 1500-m short-track speed skating [J]. *Int J Sports Physiol Perform*, 2016, 11(1): 122-129.
- [15] SCHIPHOF-GODART L, ROELANDS B, HETTINGA FJ. Drive in sports: How mental fatigue affects endurance performance [J]. *Front Psychol*, 2018(9): 1383.
- [16] MENTZONI F, LOSNEGARD T. World and European rowing medallists pace with smaller variation than their competitors [J]. *Front Sports Act Living*, 2021 (3): 790198.
- [17] SKORSKI S, FAUDE O, RAUSCH K, *et al.* Reproducibility of pacing profiles in competitive swimmers [J]. *Int J Sports Med*, 2013, 34(2): 152-157.
- [18] MOSER C, SOUSA CV, OLHER RR, *et al.* Pacing in world-class age group swimmers in 100 and 200 m freestyle, backstroke, breaststroke, and butterfly [J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2020, 17(11): 3875.
- [19] LEDANOIS T, HAMRI I, LAROCHELAMBERT QD, *et al.* Cutoff value for predicting success in triathlon mixed team relay [J]. *Front Sports Act Living*, 2023(5): 1096272.