

# 我国男子赛艇双人双桨奥运会奖牌获得者 拉桨动作的生物力学分析

## Biomechanical Analysis of Drive Techniques of Chinese Men's Double Sculls Medal Winners in Olympic Games

闫家祥<sup>1</sup>, 梁志强<sup>2</sup>, 但林飞<sup>1</sup>, 于佳彬<sup>1</sup>, 李建设<sup>1\*</sup>

YAN Jiexiang<sup>1</sup>, LIANG Zhiqiang<sup>2</sup>, DAN Linfei<sup>1</sup>, YU Jiabin<sup>1</sup>, LI Jianshe<sup>1\*</sup>

**摘要:**目的:分析第32届夏季奥运会男子赛艇公开级双人双桨奖牌获得者张亮/刘治宇组合(以下简称“张/刘组合”)拉桨动作的关键技术特征,为我国男子赛艇项目技术再突破提出建议。方法:采用Powerline赛艇实船生物力学测试系统对张/刘组合备战第32届夏季奥运会周期中的10次模拟测试赛的拉桨动作进行跟踪采集及数据分析。结果:1)张/刘组合整体的左、右桨拉桨功率无显著差异,左、右桨拉桨时间、拉桨节奏、入水打滑、出水打滑、入水角和桨幅存在显著差异;2)领桨手张亮的桨幅、有效桨幅、出水角、拉桨时间及拉桨节奏显著大于跟桨手刘治宇,入水角显著小于跟桨手刘治宇;3)桨幅、有效桨幅、入水角、拉桨时间、拉桨节奏及回桨时间与拉桨功率呈高度相关性,其中拉桨时间与入水角呈显著负相关。结论:1)张/刘组合整体的左桨拉桨动作幅度和速度大于右桨,左、右桨拉桨动作幅度和速度存在不一致现象,与国外优秀多人艇相关研究结果一致;2)张/刘组合拉桨入水打滑幅度超出合理范围( $<6^\circ$ ),影响有效拉桨幅度并降低拉桨功率;3)领桨手张亮拉桨幅度较大,跟桨手刘治宇拉桨节奏较快,跟桨手应适当加大有效桨幅;4)拉桨时间和入水角是影响拉桨功率的2个主要因素。综合张/刘组合整体及个体拉桨动作技术特征,建议优化拉桨前弧技术,减小入水打滑幅度,加强桨叶入水控制。

**关键词:**赛艇;男子双人双桨;拉桨动作;生物力学

**Abstract:** Objective: To analyze the drive technique performance of double sculls (HM2x) medal winners in the 32<sup>nd</sup> Summer Olympic Games (Zhang Liang/Liu Zhiyu group) via the biomechanical system, and makes suggestion for a technical breakthrough in Chinese men's rowing program. Methods: Powerline biomechanical system was used to collect and analyze the drive technique of the HM2x in the 10-time regatta during the preparation period of the 32<sup>nd</sup> Summer Olympic Games. Results: 1) No significant difference in the overall left and right boat power of Zhang/Liu group were found, but significant difference in the overall left and right drive time, drive rhythm, catch slip, finish slip, catch angle and stroke length of Zhang/Liu group were found; 2) stroke length, efficient stroke length, finish angle, drive time and drive rhythm in stroke rower were significantly larger than bow rower, and catch angle was significantly smaller than bow rower; 3) stroke length, efficient stroke length, catch angle, drive time, drive rhythm and recover time were highly correlated with boat power, drive time and catch angle were significantly negatively correlated when compared with others. Conclusions: 1) Stroke length and speed in left side of HM2x is larger compared with right, suggesting the inconsistency in drive technique, which is consistent with international research. 2) Slip angle of the Zhang/Liu group is larger than the reasonable range ( $<6^\circ$ ), which negatively affects the boat power. 3) Compared with Zhang Liang, Liu Zhiyu should appropriately increase the effective stroke length. 4) Driving time and catch angle are the two main factors that affect the boat power. Synthesizing the technical characteristics of the overall and individual pulling movements of the Zhang/Liu group, it is recommended to optimize the front arc technology of the paddle pulling to reduce the sliding amplitude

### 第一作者简介:

闫家祥(1997-),男,在读硕士研究生,主要研究方向为运动生物力学, E-mail:jiaxiang0016@163.com。

### \*通信作者简介:

李建设(1957-),男,教授,博士研究生导师,主要研究方向为运动生物力学, E-mail:lijianshe@nbu.edu.cn。

### 作者单位:

1. 宁波大学,浙江宁波315211;
2. 上海体育学院,上海200438
1. Ningbo University, Ningbo 315211, China;
2. Shanghai University of Sport, Shanghai 200438, China.

of entering the water and strengthen the control of the paddle blade entering the water.

**Keywords:** rowing; men's double sculls; drive technique; biomechanics

**中图分类号:**G861.4 **文献标识码:**A

我国男子赛艇运动员张亮/刘治宇组合(以下简称“张/刘组合”)夺得第 32 届夏季奥运会男子赛艇公开级双人双桨 2 000 m 铜牌,实现了我国男子赛艇奥运会奖牌零的突破。张/刘组合在 2019—2021 年世界赛艇锦标赛等一系列国际重大赛事中连创佳绩。跟踪分析张/刘组合拉桨动作关键技术的生物力学特征对认识我国男子赛艇优秀运动员的技术特征及促进男子赛艇项目的整体发展具有重要意义。

赛艇是一项对动作技术要求很高的周期性、体能类直道竞速项目(高炳宏等, 2005; 何海峰等, 2005; 曾凡星等, 2005),合理的动作技术贯穿训练及比赛全过程是高水平赛艇的基本理念(黄胜初等, 2000; Soper et al., 2004)和发挥最大运动潜力的基础支撑(马志云, 2014)。在赛艇动作技术结构中,拉桨是赛艇技术中最关键的环节(单清华, 2015),拉桨产生的推进力是赛艇的唯一动力,合理的动作技术有利于全程保持高艇速(李吉如等, 2021)。因此,分析赛艇拉桨动作,尤其是多人艇的技术弥合是科技助力赛艇突破的重要内容。

赛艇作为水上运动项目,拉桨动作的直接测量和量化分析较为困难(Hase et al., 2002)。赛艇实船生物力学测试系统为水上项目动作技术的生物力学分析提供了理想的方法(梁志强等, 2021)。Powerline 赛艇生物力学实船测试系统具有测量数据直观、准确和可靠的特点,为优秀运动员训练监控提供了可靠手段(梁志强等, 2021)。本研究采用该系统对张/刘组合拉桨动作的关键指标进行跟踪采集及数据分析,并为我国男子赛艇项目整体突破提出建议。

## 1 研究对象与方法

### 1.1 研究对象

以国家赛艇队重点攻关项目男子公开级双人双桨运动员张/刘组合为研究对象(表 1),采集其在备战第 32 届夏季奥运会周期中冲刺阶段的 10 次 2 km 模拟赛拉桨动作的生物力学参数,测试环境为静水航道、水深 > 3 m、风速小于 3 m/s,符合国际赛艇联合会(Fédération Internationale des Sociétés d'Aviron, FISA)要求。

表 1 运动员基本信息

Table 1		Basic Information of Athletes			
姓名	艇位	年龄 /岁	身高 /cm	体质量 /kg	运动员技术等级
刘治宇	1(跟桨手)	27	191	88	国际级运动健将
张亮	2(领桨手)	34	195	91	国际级运动健将

### 1.2 研究方法

#### 1.2.1 测试流程

按实战要求完成 2 km 全力划。测试前,采用水平尺对 Powerline (Peach, 英国)测试系统进行校正,确保桨栓处于 0°位(与艇身垂直)。采集张/刘组合 2 km 全程的每桨动作技术参数,采集频率为 50 Hz,采集数据由 Powerline 4.2 软件导出。

#### 1.2.2 测试设备及指标选取

Powerline 测试系统由二维测力桨栓、船艇运行感应器及记录表组成,可提供船艇运行和拉桨动作的 23 个生物力学指标。本研究选取拉桨动作的 10 个关键技术指标(图 1,表 2),重点分析张/刘组合及个体左、右桨的拉桨动作及技术特征。

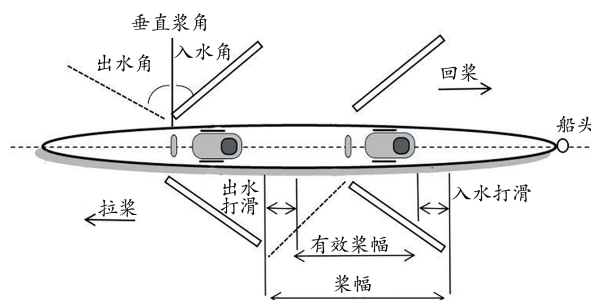


图 1 赛艇拉桨动作生物力学指标的示意图

Figure 1. Schematic Diagram of Rowing Technique Biomechanical Indicators

#### 1.2.3 竞速结构阶段选取

根据艇速特征,通常将赛艇竞速结构划分为启航阶段(0~250 m)、调整阶段(250~500 m)、途中划阶段(500~1 500 m)和冲刺阶段(1 500~2 000 m)。在国际顶级赛艇比赛中,78%的冠军艇在途中划阶段就位于第 1 的位置,100%的冠军艇在途中划阶段至少处于前 3 的位置(Brown et al., 2010)。冠军艇通常在途中划阶段(500~1 500 m)表现出稳定的高速度,从而在冲刺阶段处于领先地位(刘英杰等, 2011)。在第 32 届夏季奥运会男子双人双桨决赛中,张/刘组合在 750 m 处暂列第 1,经过途中划阶段后退居第 3,冲刺阶段保持住第 3 位次。为了研究张/刘组合最高水平阶段的拉桨动作,本研究选取 750~1 250 m 阶段的技术参数。

#### 1.2.4 数据处理与统计分析

所有数据采用平均值±标准差( $M \pm SD$ )表示,采用 Shapiro-Wilk 检验对数据进行正态性检验;数据满足正态分布,采用配对样本  $t$  检验对张/刘组合整体和个体左、右

桨拉桨动作技术指标进行差异性检验;当数据不满足正态分布,采用 Wilcoxon 秩和检验对左、右桨拉桨动作技术指标进行差异性检验。采用独立样本 *t* 检验分别对 1 号位(跟桨手)和 2 号位(领桨手)的左、右桨进行分析,探讨艇位与动作技术特征的关系。采用 Pearson 相关性检验及回

归分析探讨拉桨动作技术指标与拉桨功率的相关性及对功率的影响。所有统计分析使用 SPSS 19.0 进行,相关系数 *r* 设为:  $0 \leq |r| < 0.3$  不相关、 $0.3 \leq |r| < 0.5$  低度相关、 $0.5 \leq |r| < 0.8$  中度相关和  $0.8 \leq |r| \leq 1$  高度相关。

表 2 拉桨动作技术指标的选取及概念释义  
Table 2 Selection and Concept Interpretation of Rowing Technique Biomechanical Indicators

指标	英文全称及缩写	释义
拉桨功率	boat power (BP)	单位时间内的做功
拉桨时间	drive time (DT)	桨入水、划水、出水所消耗的时间
回桨时间	recover time (RT)	桨出水、推送、入水所消耗的时间
拉桨节奏	drive rhythm (DR)	拉桨时间与总划桨时间(拉桨时间+回桨时间)的比值
桨幅	stroke length (SL)	桨从最前端至最后端所划过的水平桨角
入水打滑	catch slip (CS)	桨从最前端至完全入水划过的水平桨角
出水打滑	finish slip (FS)	桨从开始出水至最后端划过的水平桨角
有效桨幅	efficient stroke length (ESL)	桨幅减去打滑桨幅(ESL=SL-CS-FS)
入水角	catch angle (CA)	桨入水时,与垂直桨位之夹角
出水角	finish angle (FA)	桨出水时,与垂直桨位之夹角

## 2 结果

### 2.1 张/刘组合拉桨动作的生物力学指标分析

配对样本 *t* 检验分析结果显示(表 3),张/刘组合左桨

DT( $P < 0.01$ )、DR( $P < 0.05$ )、CS( $P < 0.05$ )均显著低于右桨;左桨 SL( $P < 0.01$ )、FS 及 FA( $P < 0.001$ )均显著高于右桨( $P < 0.05$ )。左、右桨 BP、RT、ESL 及 CA 均无显著差异。

表 3 张/刘组合左、右桨拉桨动作生物力学指标

Table 3 Biomechanical Indicators of Port and Starboard Oar Drive Technique of Zhang/Liu Group

指标	左桨		右桨		<i>t/z</i>	<i>P</i>
	<i>M</i> ± <i>SD</i>	95% CI	<i>M</i> ± <i>SD</i>	95% CI		
BP	168.10±8.50	[161.80, 174.60]	169.40±9.90	[161.90, 176.90]	-0.430	0.667
DT	0.88±0.02	[0.86, 0.90]	0.89±0.02	[0.87, 0.91]	-3.153**	0.005
RT	0.88±0.05	[0.84, 0.92]	0.88±0.05	[0.85, 0.92]	-1.069	0.285
DR	0.49±0.01	[0.49, 0.51]	0.50±0.01	[0.50, 0.51]	-2.821*	0.011
SL	103.95±1.30	[103.05, 104.95]	102.61±0.72	[101.99, 103.01]	2.934**	0.003
CS	7.29±0.38	[6.90, 7.50]	7.94±0.30	[7.67, 8.13]	-2.194*	0.028
FS	10.31±0.55	[9.82, 10.78]	9.31±0.49	[9.03, 9.77]	2.441*	0.015
ESL	86.53±1.64	[85.33, 87.87]	85.36±0.87	[84.63, 86.17]	-1.592	0.111
CA	-63.79±0.63	[-64.05, -63.35]	-64.14±0.52	[-64.89, -63.71]	-1.599	0.110
FA	40.76±0.71	[39.54, 40.86]	38.47±0.31	[38.12, 38.88]	3.946***	0.000

注:左、右桨拉桨动作对比,\* $P < 0.05$ ,\*\* $P < 0.01$ ,\*\*\* $P < 0.001$ 。

### 2.2 个体拉桨动作的生物力学指标对比

张/刘组合个体左、右桨拉桨动作的生物力学指标分析结果发现(表 4,图 2),个体左、右桨拉桨动作技术特征存在显著差异。1 号位跟桨手刘治宇左、右桨的 BP、ESL、CA、FA、CS 及 FS 存在显著差异( $P < 0.01$ ),其中,左桨的 BP、ESL 和 CA 显著低于右桨,左桨的 FA、CS 及 FS 显著高于右桨。2 号位领桨手张亮左、右桨的 BP、SL、ESL、CA、FA、CS、DT、DR、RT( $P < 0.01$ )及 FS( $P < 0.05$ )存在显著差异,其中,左桨的 BP、SL、ESL 及 FA 显著高于右桨,左

桨的 CA、CS、FS、DT、RT 及 DR 显著低于右桨。

1、2 号艇位的动作生物力学指标对比分析结果发现(表 4,图 2),刘治宇与张亮的左桨 CS、DR( $P < 0.05$ )及 BP、SL、ESL、CA、FA、FS、DT( $P < 0.01$ )存在显著差异。其中,刘治宇的左桨 BP、SL、ESL、FA、DT 及 DR 显著低于张亮,CA、CS 和 FS 显著高于张亮。刘治宇与张亮的右桨 BP( $P < 0.05$ )、SL、ESL、CA、FA、CS、DT 及 DR 存在显著差异( $P < 0.01$ )。其中,刘治宇的右桨 BP 和 CA 显著高于张亮,SL、ESL、FA、CS、DT 及 DR 显著低于张亮。

表 4 个体拉桨动作技术生物力学指标

Table 4 Biomechanical Indicators of Drive Technique for Individual Rower

桨位	指标	1号位	2号位	前后		左右	
		(跟桨手刘治宇)	(领桨手张亮)	<i>t</i>	<i>P</i>	<i>t</i>	<i>P</i>
左桨	BP	155.57±12.26***	180.63±5.55**	-5.620	0.001	-2.810	0.005
	SL	99.63±1.06**	108.26±1.64**	-13.200	0.001	0.557	0.591
	ESL	80.33±1.25***	92.71±2.26**	-14.710	0.001	-2.820	0.005
	CA	-60.02±0.43***	-67.55±1.10**	-19.695	0.001	-3.051	0.002
	FA	39.60±0.93***	40.71±0.58**	-2.952	0.009	2.919	0.004
	CS	7.49±0.18**	6.72±0.22**	2.611	0.020	2.828	0.005
	FS	11.79±0.50***	8.82±0.69*	8.504	0.001	2.859	0.004
	DT	0.85±0.02**	0.90±0.02**	-3.735	0.002	-0.649	0.516
	RT	0.87±0.05	0.88±0.05**	-0.253	0.803	1.809	0.104
	DR	0.49±0.01*	0.50±0.01**	-2.180	0.043	-0.182	0.860
右桨	BP	174.78±13.11*	164.09±8.61	2.066	0.044	2.810	0.005
	SL	99.45±0.75**	105.76±0.91	-15.720	0.001	2.724	0.006
	ESL	83.54±0.66**	87.17±1.49	-7.070	0.001	2.831	0.005
	CA	-61.70±0.48**	-66.56±0.87	-15.677	0.001	2.640	0.008
	FA	37.74±0.71**	39.20±0.47	-5.267	0.001	2.739	0.006
	CS	6.63±0.30**	9.24±0.49	-10.070	0.001	-2.919	0.004
	FS	9.27±0.26	9.34±1.04	-0.507	0.618	-2.714	0.024
	DT	0.85±0.02**	0.92±0.02	-5.266	0.001	-0.879	0.004
	RT	0.87±0.04	0.89±0.04	-0.805	0.431	-6.000	0.001
	DR	0.49±0.01**	0.50±0.01	-3.837	0.002	-7.524	0.001

注:1号位与2号位对比,\**P*<0.05,\*\**P*<0.01;个体左桨与右桨对比,※*P*<0.05,※※*P*<0.01。

### 2.3 相关性分析

拉桨动作的生物力学指标与BP的相关性分析发现(表5),张/刘组合左、右桨SL、ESL、CA、DT、RT及DR与BP具有较高的相关性,其中,SL、ESL、DT、CA及RT与BP呈负相关,DR与BP呈正相关。

采用逐步回归法进一步对各因子进行分析,可得出逐步回归数据模型。以张/刘组合的左桨SL、ESL、CA、DT、RT及DR作为自变量,以左桨BP作为因变量进行线性回归(表6),最后进入左桨BP方程的变量是左桨CA和DT,综合左桨CA和DT 2个参数的模型解释力度为92.7% ( $R^2=0.927$ ),模型公式为左桨BP=208.702-5.835CA-468.599DT。同理,最后进入右桨BP方程的变量是右桨CA和DT,模型 $R^2=0.964$ ,即右桨功率变化的96.4%的原因可由CA和DT解释,模型公式为右桨BP=294.093-413.97DT-4.061CA(表7)。

## 3 分析与讨论

### 3.1 张/刘组合拉桨动作技术分析

多人艇左、右桨拉桨动作的非一致性是赛艇动作技术分析领域的共识(李吉如等,2015;Buckeridge et al.,2012,2014,2015;Murphy,2009)。优秀赛艇运动员在奥运会和世锦赛等重要比赛中多存在左、右桨拉桨动作的非一致

性(Fohanno et al.,2015),甚至奥运冠军选手的左、右桨拉桨动作同样普遍存在差异(Baca et al.,2006;Buckeridge et al.,2014;Colloud et al.,2001;Fohanno et al.,2015)。张/刘组合拉桨动作技术指标分析显示,在左、右桨整体BP一致的前提下,左、右桨的DT、DR、SL、CS、FS和FA均存在显著差异( $P<0.05$ ),表现为左桨拉桨动作幅度和速度更大。作为我国男子赛艇的优秀运动员代表,张/刘组合表现出左、右桨拉桨动作幅度和速度的不一致现象,与国外优秀运动员的相关研究结果一致。这种左、右桨拉桨动作的非一致性,可能是由赛艇船艇设计、拉桨动作形式及运动员左、右习惯运动模式等因素造成的。双桨赛艇和单桨赛艇在艇身结构设计上并无差别,但双桨赛艇特有的体前手部交叉动作,使桨架设计与单桨存在明显不同。通常,双桨赛艇的桨架呈左高右低设计,因此运动员的拉桨动作需要进行适应性调整。双桨运动员在桨叶入水抓水时,为保持赛艇平衡,通常是左桨先入水,左手相比右手呈更大的下倾幅度(Burnett et al.,2008),当桨叶移动至垂直于艇身纵轴时,左桨因垂直桨角增大使桨叶入水深度加大(Smith et al.,2002;Warmenhoven et al.,2018)。此外,运动员各自的动作习惯也是导致多人艇左、右桨拉桨不一致的因素。无论多人艇还是单人艇,高水平赛艇运动员均已形成相对固定的拉桨



动力模式和技术特征,多人艇运动员难以通过训练使左、右桨拉桨动作呈完全一致状态(Hill, 2002)。

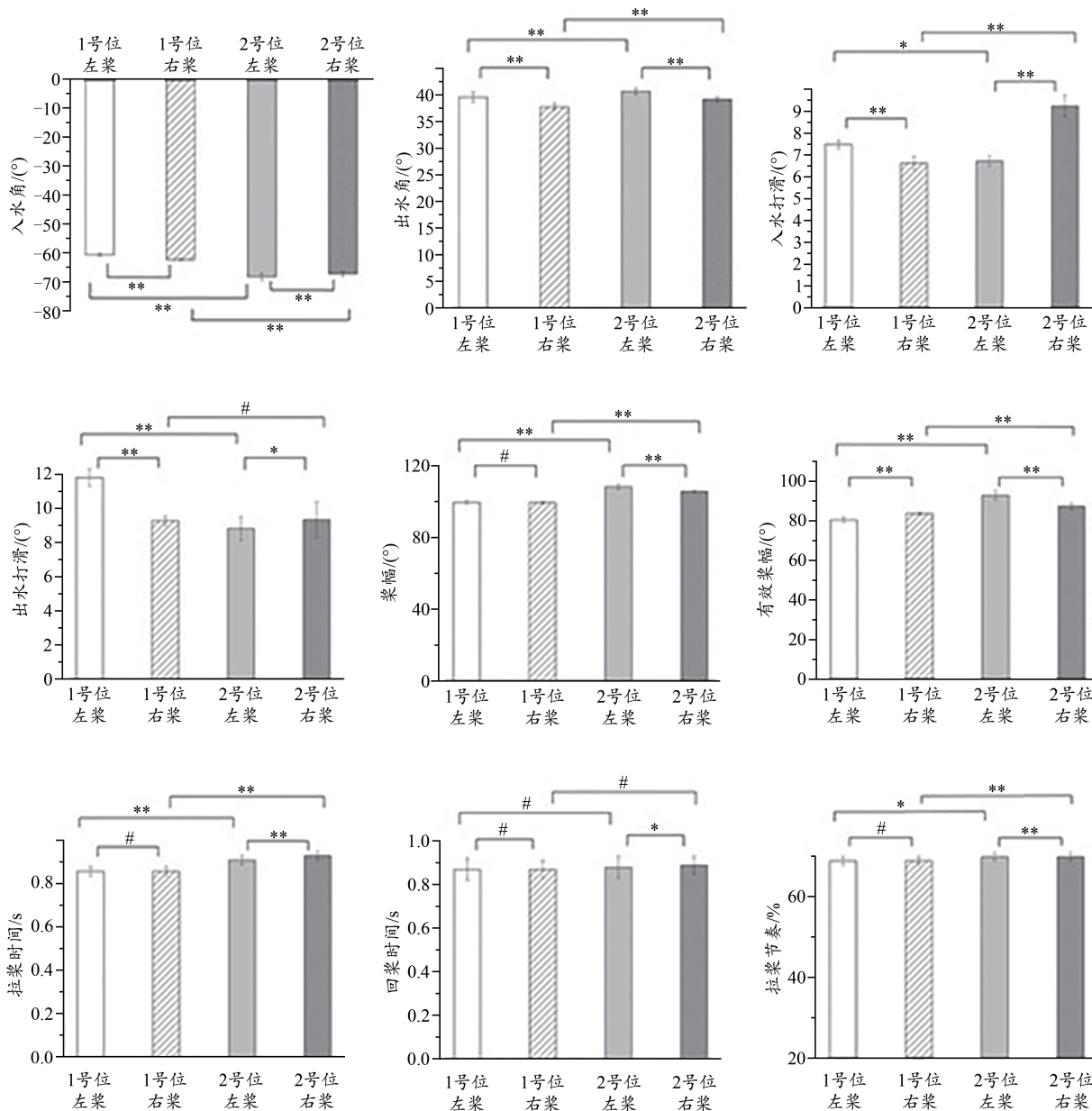


图2 个体拉桨动作技术比较

Figure 2. Comparison Analysis of Drive Technique for Individual Rower

注: \* $P < 0.05$ , \*\* $P < 0.01$ , # $P > 0.05$ ;下同。

桨叶在入水和出水过程中会不可避免地出现打滑,导致拉桨效率下降(高崇等, 2019)。尽管入水打滑会影响拉桨动作的有效性,但这是赛艇运动难以避免的普遍现象(游永豪等, 2015b)。理论上,拉桨动作追求桨叶垂直入水发力,但会因水流阻力的增大导致打滑(高崇等, 2019)。通常以入水打滑桨角 $< 6^\circ$ 和出水打滑桨角 $< 12^\circ$ (Nolte, 2005; Warmenhoven et al., 2018)为合理范围的参考值,超出该范围会影响动作的连贯性,而且降低每桨做功,减小拉桨过程中升力对动力的贡献(陈炜等, 2016)。将张/刘组合拉桨动作技术指标与国际精英运动员相关研

究结果进行对比,发现张/刘组合左、右桨的CS值(左桨为 $7.29^\circ$ 、右桨为 $7.94^\circ$ )均大于合理范围( $< 6^\circ$ ),其左、右桨的FS值(左桨为 $10.31^\circ$ 、右桨为 $9.31^\circ$ )与合理范围( $< 12^\circ$ )相符(Nolte, 2005; Warmenhoven et al., 2018)。入水打滑幅度增大,直接减小有效拉桨幅度,降低BP;因此,优化张/刘组合拉桨前弧(即前半程)技术,减小桨叶入水打滑幅度,加强桨叶入水控制能力,可能是提高拉桨效率以及提高成绩的突破口。

### 3.2 张/刘组合个体拉桨动作技术配合分析

多人艇的动作技术配合是赛艇教练员和运动员关注

的焦点。多人艇动作技术配合的研究多集中于各艇位桨手的入水角、出水角、拉桨速度、桨力等的一致性研究(游永豪等, 2015a)。张/刘组合个体拉桨动作的比较发现, 领桨手张亮的 SL、ESL、CA、FA、DT 及 DR 等指标均显著大于跟桨手刘治宇( $P < 0.05$ )。领桨手作为主动发力的动力桨手, 拉桨动作幅度较大, 具有更强的启航和冲刺能

力, 因此在每个划桨周期内均以更大的动作幅度完成划桨动作(McBride et al., 2001)。跟桨手作为动力的传递桨手, 需要具有更快的拉桨动作速度以配合领桨手完成动力传递。张/刘组合的个体拉桨动作特征比较符合双人艇不同艇位的功能要求(徐开胜, 2017)。

表 5 张/刘组合左、右桨技术指标与拉桨功率的相关系数

Table 5 Correlation Coefficient of Biomechanical Technique Indicators with Boat Power

指标	左桨	<i>r</i>	相关性	<i>P</i>	右桨	<i>r</i>	相关性	<i>P</i>
SL	103.94±1.29**	-0.962	高	0.001	102.61±0.72**	-0.943	高	0.001
ESL	86.52±1.63**	-0.860	高	0.001	85.36±0.67**	-0.832	高	0.003
CA	-63.78±0.62**	-0.866	高	0.001	-64.13±0.51**	-0.882	高	0.001
FA	40.15±0.70	-0.895	—	0.462	38.47±0.30	-0.342	—	0.333
CS	7.29±0.38	-0.132	—	0.378	7.94±0.30	-0.302	—	0.396
FS	10.30±0.55	0.238	—	0.507	9.30±0.49	0.497	—	0.144
DT	0.88±0.02***	-0.983	高	0.000	0.89±0.02***	-0.989	高	0.000
RT	0.88±0.05***	-0.919	高	0.000	0.88±0.04***	-0.923	高	0.000
DR	0.49±0.01*	0.720	高	0.019	0.50±0.01*	0.678	中	0.031

注:\*\*\* $P < 0.001$ ;下同。

表 6 张/刘组合左桨拉桨动作技术指标逐步回归模型汇总

Table 6 Summary of Stepwise Regression Model of Port Oar Biomechanical Indicators of Drive Technique

参数	B	标准误	$\beta$	<i>t</i>	<i>P</i>	容差值	$R^2$	调整 $R^2$	<i>F</i>
常数	208.702	27.754	—	7.520	0.000	—	0.935	0.927	21.026***
CA	-5.835	0.376	-1.436	-15.502	0.000	0.445			
DT	-468.599	46.035	-0.943	-10.179	0.000	0.445			

注:因变量为左桨BP。

表 7 张/刘组合右桨拉桨动作技术指标逐步回归模型汇总

Table 7 Summary of Stepwise Regression Model of Starboard Oar Biomechanical Indicators of Drive Technique

参数	B	标准误	$\beta$	<i>t</i>	<i>P</i>	容差值	$R^2$	调整 $R^2$	<i>F</i>
常数	294.093	14.244	—	20.647	0.000	—	0.968	0.964	62.193***
DT	-413.970	22.083	-1.551	-19.561	0.000	0.300			
CA	-4.061	0.402	-0.802	-10.106	0.000	0.300			

注:因变量为右桨BP。

多人艇个体拉桨动作的同步化会导致艇身产生更大的速度波动和上下起伏, 从而降低拉桨效率(Cuijpers et al., 2017)。从力学角度分析, 多人拉桨动作的完全同步意味着人体相对于船艇发生更大净质量的相对位移, 可能导致船艇平均速度下降(de Brouwer et al., 2013; Hill et al., 2009)。多人艇运动员通过不同桨位所要求的拉桨动作要领实现协调配合, 共同维持艇速的稳定运行(李吉如等, 2019)。双人艇的有效推进需要领桨手和跟桨手在“力-时”关系上的相互配合(Roth, 1991; Smith et al., 2002; Zatsiorsky et al., 1991)。有研究表明, 多人艇不同桨位运动员拉桨幅度的差异可能是影响船艇运行效率的重要指标。本研究发现, 张/刘组合中跟桨手的有效桨幅

显著低于领桨手, 进一步分析发现其原因是跟桨手的桨叶入水角、出水角及入水打滑均显著小于领桨手。从技术层面而言, 加大跟桨手拉桨的出/入水角和有效桨幅, 延长拉桨阶段桨叶对水的作用距离, 可能有助于进一步提高张/刘组合的运动表现(Holt et al., 2020), 但这需要运动员的技术能力支撑。

运动员技术能力的提升与专项体能的支撑密切相关, 赛艇作为体能类项目, 中国国家赛艇队在备战第 32 届夏季奥运周期中贯彻“狠抓体能、恶补短板”理念, 形成了“技术问题, 体能解决”的思想认识(杨国庆, 2021)。跟桨手刘治宇相比于领桨手张亮, 全程拉桨动作的技术变化本质上是其体能支撑不足。因此, 突出体能训练, 强化体

能保障,是实现技术稳定的关键。

### 3.3 运动表现的比较分析

赛艇的平均艇速与每桨功率输出呈显著正相关(Hofmijster et al., 2007),每桨功率输出是评估训练效果和运动表现的最佳指标(Jurimac et al., 2002)。本研究发  
现,张/刘组合的SL、ESL、CA、DT、RT和DR等技术指标与BP呈显著相关,其中拉桨时间和入水角与功率呈显著负相关,表明拉桨时间和入水角对BP影响较大。拉桨节奏作为影响艇速的关键指标,与BP呈正相关(赖寒等, 2013)。拉桨节奏越快,有利于桨叶承载更大的静水压力,使船艇获得更大的推进功率(何海峰等, 2005)。已有研究发现,升力在前进方向的分力是赛艇的主要动力,较快的拉桨节奏是促成桨叶获得升力的原因(刘宇, 2010; Coker, 2010),而提高入水与出水阶段的拉桨速度,有利于桨叶获得更大的升力(Caplan et al., 2007)。入水角作为拉桨动作技术的关键指标(Nolte, 2005),直接影响桨叶的抓水效果。较大的入水角有利于更好地利用拉桨所获得的升力,因此,加大拉桨前弧速度有利于提高船艇推进效率(李铎, 2015)。张/刘组合桨叶入水打滑幅度偏大,导致入水角偏大,有效桨幅、拉桨前弧所获得的推进力及升力减小,因此优化拉桨前弧技术可能有助于提高运动表现。

## 4 结论

1)张/刘组合整体表现为左桨拉桨动作幅度和速度更大,左、右桨拉桨动作幅度和速度的不一致现象与国外优秀多人艇运动员的研究结果一致,为认识多人艇不同桨位运动员拉桨动作特点、合理安排桨位及专门训练提供了依据。

2)张/刘组合拉桨前弧的入水打滑幅度大于合理范围( $<6^\circ$ ),入水打滑幅度增大,导致有效拉桨幅度减小,进而降低BP。优化拉桨前弧技术,减小桨叶入水打滑幅度,加强桨叶入水控制能力,可能是张/刘组合提高成绩的关键。

3)张/刘组合的个体拉桨动作比较发现,领桨手张亮表现出较大的拉桨幅度,跟桨手刘治宇表现出较快的拉桨速度,有效桨幅显著低于张亮,其主要原因是桨叶入水角及出水角均偏小,刘治宇作为跟桨手应适当加大有效桨幅,加强体能训练,突破技术瓶颈,提升拉桨能力。

4)张/刘组合BP的2个主要影响因素是拉桨时间和桨叶入水角,结合拉桨前弧和后弧技术特征发现,张/刘组合入水打滑幅度偏大,导致桨叶入水角偏大,减小了有效桨幅及前弧所获得的推进力,优化拉桨前弧技术应视为重点。

### 参考文献:

陈炜,程亮亮,杨栋栋,等,2016.我国优秀赛艇女子单桨运动员实船

运动生物力学特征研究[J].体育科学,36(12):72-76.

高炳宏,王道,陈坚,等,2005.LoHi和HiHiLo训练对女子赛艇运动员运动能力影响的比较研究[J].体育科学,25(11):35-41,44.

高崇,刘静民,曹春梅,2019.中国精英女子赛艇运动员划桨技术特点分析[J].武汉体育学院学报,53(1):77-85.

何海峰,郑伟涛,马勇,等,2005.赛艇运动技术的力学原理及测试分析[J].武汉体育学院学报,39(4):74-78.

黄胜初,葛新发,2000.论赛艇动力学及提高赛艇技术的途径[J].体育科学,20(1):67-70.

赖寒,何晓,郑伟涛,2013.基于赛艇实船测试系统对我国优秀男子轻量级赛艇运动员划桨技术的研究[J].山东体育学院学报,29(5):79-82.

梁志强,吕娇娇,PAUL T,等,2021.赛艇水上动作技术生物力学指标降维及其在训练中的应用[J].医用生物力学,36(4):519-527.

李铎,2015.赛艇项目技战术特征及运动员专项力量训练的数字化研究[D].武汉:武汉体育学院.

李吉如,季仁旭,2015.广东优秀男子赛艇轻量级四人单桨划桨技术生物力学分析[J].当代体育科技,5(9):32-33.

李吉如,梁东梅,邓京捷,等,2021.赛艇WH1x运动员段静莉划桨技术动作特征分析[J].体育科研,42(4):14-20.

李吉如,刘扬,梁东梅,等,2019.优秀赛艇女子双人单桨运动员拉桨阶段技术特点及配艇技术分析[J].天津体育学院学报,34(2):92-97.

刘英杰,郜卫峰,2011.不同级别、不同水平男子赛艇运动员2000m测功仪比赛节奏策略的分析[J].中国体育科技,47(2):85-91,101.

刘宇,2010.生物力学在运动控制与协调研究中的应用[J].体育科学,30(11):62-73.

马志云,2014.河北省优秀赛艇运动员拉桨技术动作个体化分析[J].当代体育科技,4(31):195-196.

乔德海,2003.多人赛艇借力划桨技术的初探[J].少年体育训练,(6):21.

单清华,2015.瑜伽训练对赛艇运动员功能动作能力与划船技术的影响[J].山东体育科技,37(3):62-66.

徐开胜,2017.中国优秀公开级赛艇双桨运动员划桨技术诊断研究[D].上海:上海体育学院.

杨国庆,2021.中国备战参赛东京奥运会的制胜优势与经验启示:兼论2024年巴黎奥运会的备战形势与基本方略[J].体育科学,41(12):18-29.

游永豪,刘扬,王广磊,等,2015a.国家赛艇队MH2-队员划桨技术指标体系的构建[J].北京体育大学学报,38(6):126-132,138.

游永豪,宋旭,马祖长,等,2015b.我国优秀赛艇运动员划桨技术运动生物力学分析[J].中国体育科技,51(4):49-57.

游永豪,宋旭,王广磊,等,2015c.赛艇LW2x竞速结构研究:以2014年世锦赛和世界杯为例[J].吉林体育学院学报,31(4):55-59.

曾凡星,丁轶建,彭希记,2005.优秀男子赛艇运动员的训练效果分析[J].北京体育大学学报,28(3):344-347.

BACA A, KORNFEIND P, HELLER M, 2006. Comparison of foot-stretcher force profiles between on-water and ergometer rowing[C]. ISBS Symposium 2006. Salzburg, Austria: International Society of Biomechanics in Sports (ISBS).

BROWN M R, DELAU S, DESGORCES F D, 2010. Effort regulation in rowing races depends on performance level and exercise mode[J]. J Sci Med Sport, 13(6): 613-617.

BUCKERIDGE E M, HISLOP S, BULL A, et al., 2012. Kinematic

asymmetries of the lower limbs during ergometer rowing[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 44(11):2147-2153.

BUCKERIDGE E M, BULL A M J, MCGREGOR A H, 2014. Foot force production and asymmetries in elite rowers[J]. *Sports Biomech*, 13(1): 47-61.

BUCKERIDGE E M, BULL A M J, MCGREGOR A H, 2015. Biomechanical determinants of elite rowing technique and performance[J]. *Scand J Med Sci Sports*, 25(2): e176-e183.

BURNETT A, DOYLE M, ELLIOTT B, 2004. Continuous registration of the hand-curve in rowing: Differences between scull and sweep rowers[C]. ISBS Conference 2004. Ottawa, Canada: International Society of Biomechanics in Sports(ISBS).

CAPLAN N, GARDNER T N, 2007. A fluid dynamic investigation of the Big Blade and Macon oar blade designs in rowing propulsion[J]. *J Sport Sci*, 25(6): 643-650.

COKER J, 2010. Using a boat instrumentation system to measure and improve elite on-water sculling performance[D]. Auckland, New Zealand: Auckland University of Technology.

COLLOUD F, BAHUAUD P, DORIOT N, et al., 2001. Is force symmetry influenced by using a fixed versus a free-floating rowing ergometer mechanism? [C]. In XXVIe Congrès de la Société de Biomécanique, 109:65.

CUJIPERS L S, PASSOS P J M, MURGIA A, et al., 2017. Rocking the boat: Does perfect rowing crew synchronization reduce detrimental boat movements? [J]. *Scand J Med Sci Sports*, 27(12): 1697-1704.

DE BROUWER A J, DE POEL H J, HOFMIJSTER M J J, 2013. Don't rock the boat: How antiphase crew coordination affects rowing[J]. *PLoS One*, doi: 10.1371/journal.pone.0054996.

FOHANNO V, NORDEZ A, SMITH R, et al., 2015. Asymmetry in elite rowers: effect of ergometer design and stroke rate[J]. *Sports Biomech*, 14(3): 310-322.

HASE K, ANDREWS B J, ZAVATSKY A B, et al., 2002. Biomechanics of rowing[J]. *JSME Int J Ser C*, 45(4): 1082-1092.

HILL H, 2002. Dynamics of coordination within elite rowing crews: Evidence from force pattern analysis [J]. *J Sport Sci*, 20(2): 101-117.

HILL H, FAHRIG S, 2009. The impact of fluctuations in boat velocity during the rowing cycle on race time[J]. *Scand J Med Sci Sports*, 19(4):585-594.

HOFMIJSTER M J, LANDMAN E H J, SMITH R M, et al., 2007. Effect of stroke rate on the distribution of net mechanical power in rowing[J]. *J Sport Sci*, 25(4):403-411.

HOLT A C, AUGHEY R J, BALL K, et al., 2020. Technical Determinants of on-water rowing performance[J]. *Front Sports Act Living*, doi: 10.3389/fspor.2020.589013.

JURIMAE J, MAESTU J, JURIMAE T, 2002. The relationship between different physiological variables of rowers and rowing performance as determined by a maximal rowing ergometer test [J]. *J Hum Mov Stud*, 42(5):367-382.

MCBRIDE M, SANDERSON D, ELLIOTT B, 2001. Seat specific technique in pair oared rowing[C]. ISBS Conference 2001. San Francisco, USA: International Society of Biomechanics in Sports(ISBS).

MURPHY A J, 2009. Elite rowing: Technique and performance[D]. London, UK: Imperial College London.

NOLTE V, 2005. Rowing Faster[M]. Champaign, IL: Human Kinetics: 16-27.

ROTH W, 1991. Physiological-biomechanical aspects of the load development and force implementation in rowing[J]. *FISA Coach*, 2(4):1-9.

SMITH R M, LOSCHNER C, 2002. Biomechanics feedback for rowing[J]. *J Sports Sci*, 20(10): 783-791.

SOPER C, HUME P A, 2004. Towards an ideal rowing technique for performance: The contributions from biomechanics[J]. *Sports Med*, 34(12): 825-848.

WARMENHOVEN J, SMITH R, DRAPER C, et al., 2018. Force coordination strategies in on-water single sculling: Are asymmetries related to better rowing performance? [J]. *Scand J Med Sci Sports*, 28(4): 1379-1388.

ZATSIORSKY V M, YAKUNIN N, 1991. Mechanics and biomechanics of rowing: A review[J]. *J Appl Biomech*, 7(3):229-281.

(收稿日期:2022-06-05; 修订日期:2023-03-31; 编辑:尹航)

