

·运动人体科学·

水下海豚腿最大推进力功率与最大速度的关系 ——基于性别和身体姿势的调节效应分析

沈宇鹏^{1,2}, 温宇红³

(1.北京体育大学 游泳运动学院, 北京 100084; 2.华南师范大学 体育科学学院暨华南师范大学运动科学国家级实验教学示范中心, 广东 广州 510006; 3.北京体育大学 体育休闲与旅游学院, 北京 100084)

摘要: 对不同性别或不同身体姿势的水下海豚腿(UDK)的最大推进力功率(P_{\max})与最大速度(v_{\max})进行差异性检验; 探索性别或身体姿势因素是否会影响UDK的 P_{\max} - v_{\max} 的相关关系。49名高水平运动员(其中男29人, 年龄(20.7±3.2)岁; 身高(1.83±0.05)m, 体重(78.1±8.6)kg; 女20人, 年龄(19.6±1.7)岁, 身高(1.71±0.04)m, 体重(61.6±6.2)kg)参加测试。对实验对象进行不同身体姿势(俯卧、仰卧)的UDK的 v_{\max} 和 P_{\max} 测试。采用混合线性模型评估性别或身体姿势效应对UDK的 P_{\max} 与 v_{\max} 相关关系的影响。研究结果: 男运动员UDK的 v_{\max} 和 P_{\max} 均明显高于女运动员(v_{\max} : $P<0.01$, $ES=0.93$; P_{\max} : $P<0.01$, $ES=1.40$); 仰卧和俯卧姿势在 v_{\max} 无差异($P=0.448$, $ES=0.05$), 但仰卧姿势的 P_{\max} 大于俯卧姿势($P<0.01$, $ES=0.25$)。不同性别和不同身体姿势(俯卧、仰卧)不会影响UDK的 P_{\max} - v_{\max} 的关系。结论: UDK的 P_{\max} 和 v_{\max} 在性别或身体姿势的差异不会改变UDK的 P_{\max} 与 v_{\max} 的关系, 教练员和运动员不需要单独制定不同性别或不同身体姿势的UDK训练计划。

关键词: 运动生物力学; 水下海豚腿; 最大速度; 最大功率

中图分类号: G804.6 文献标志码: A 文章编号: 1006-7116(2021)04-0131-06

The relationship between maximal swimming power and maximal velocity in underwater dolphin kick

——Based on moderation analysis of sex and body position

SHEN Yu-peng^{1,2}, WEN Yu-hong³

(1.School of Swimming, Beijing Sports University, Beijing 100084, China; 2.National Demonstration Center for Experimental Sports Science Education, School of Physical Education, South China Normal University, Guangzhou 510006, China; 3.School of Leisure Sports and Tourism, Beijing Sports University, Beijing 100084, China)

Abstract: The purpose of this study was to examine the difference of maximum power (P_{\max}) or maximum velocity (v_{\max}) in underwater dolphin kick (UDK) between sex or body position, and investigate the relationship between P_{\max} and v_{\max} for UDK as well as exploring whether these two factors moderated the relationship between P_{\max} - v_{\max} in UDK. Forty-night elite swimmers voluntarily participated in the research (29 male swimmers, age: 20.7±3.2 year; height: 1.83±0.05 m, weight: 78.1±8.6kg; 20 female swimmers, age: 19.6±1.7year; height: 1.71±0.04 m, weight: 61.6±6.2 kg). The subjects were required to participate in testing for P_{\max} and v_{\max} in two kinds of body position including prone and supine, respectively. Using multiple linear mixed-effect models to evaluate the moderation of sex or body position on the relationship between P_{\max} and v_{\max} for UDK. The results showed that: Males' v_{\max} and P_{\max} were significantly higher than females (v_{\max} : $P<0.01$, $ES=0.93$; P_{\max} :

收稿日期: 2020-11-26

基金项目: 北京体育大学国际合作项目(2018GJ011)。

作者简介: 沈宇鹏(1980-), 男, 副教授, 博士研究生, 研究方向: 竞技运动能力的诊断与监控, 人体运动表现分析等。

E-mail: yupengshen@scnu.edu.cn 通信作者: 温宇红

$P < 0.01$, $ES = 1.40$); no significant difference found in body position ($P = 0.448$, $ES = 0.05$) between the prone and supine, but UDK's P_{max} in the supine was significantly higher than in the prone ($P < 0.01$, $ES = 0.25$). The association between P_{max} and v_{max} for UDK was not adjusted by the effect of sex or the effect of body position. The conclusion was that the difference of P_{max} and v_{max} of UDK in gender or body position may not moderate the relationship between P_{max} and v_{max} for UDK, and the coaches and the athletes do not need to make a training program for UDK based on sex or body position when these two factors was not moderated the relationship between P_{max} and v_{max} for UDK.

Key words: sports biomechanics; underwater dolphin kick; maximum velocity; maximum power

水下海豚腿(underwater dolphin kick, UDK)是运动员在游泳比赛中, 出发或转身后采用的重要水下推进技术。优化 UDK 可以缩短运动员出发或转身后的时间, 进而提高整体游泳成绩^[1]。

推进力是影响最大游泳速度(maximum swimming velocity, v_{max})的决定性因素之一^[2], 在其他条件不变的情况下, 推进力越大, 游泳速度也就越快。因此, 发展推进力是提高 UDK 的 v_{max} 的重要训练方法。在水中测量推进力是非常困难的, 采用牵引游泳方式测量最大推进力功率(maximum swimming power, P_{max})被认为是评估游泳推进力的理想指标^[3-5]。现有研究表明: P_{max} 是预测短距离自由泳成绩的重要因子^[6-7], 与短距离游泳成绩高度正相关^[8-9]。

在游泳比赛中, 男女运动员均需要使用 UDK 技术, 在混合泳比赛中, 运动员还需要根据游泳规则要求采用不同的身体姿势(俯卧和仰卧)的 UDK 技术游进。前人研究报告了性别和游泳姿势是影响竞技游泳姿势 P_{max} 或 v_{max} 变化的重要因素^[3, 10-11]。不同性别的运动员在 4 种竞技游泳姿势的 P_{max} 和 v_{max} 均具有显著性差异, 男运动员比女运动员有更大的 P_{max} 和更快的 v_{max} ^[3]。在游泳姿势方面, 爬泳与仰泳有相似的动作结构, 但与仰泳相比, 爬泳划水和打腿动作振幅更小^[12], 产生的 P_{max} 更小, 但 v_{max} 更快^[4]。在游泳时, 4 种竞技游泳姿势主要依靠手臂划水产生推进力在水面游进, UDK 主要依靠打腿驱动身体在水面下游进。不同性别或不同身体姿势变化对水下游泳技术的 P_{max} 或 v_{max} 的影响还不清楚。

虽然在竞技游泳姿势上 P_{max} 与 v_{max} 具有较强的相关关系, 但水中阻力和推进效率的变化会使 P_{max} 与 v_{max} 的相关关系发生动态变化。例如: 在相同的 P_{max} 输出条件下, 水中阻力更低或推进效率更高的运动员有更快的 v_{max} , 反之亦然。很大程度上水中阻力或推进效率的变化导致了 P_{max} 或 v_{max} 在性别或身体姿势条件下具有差异, 但不同性别或不同身体姿势对 P_{max} 与 v_{max} 相关关系的影响还缺乏研究评估。因此, 探索性别或身体姿势在 UDK 的 P_{max} - v_{max} 相关关系中的角色对理解水下游

泳技术的推进力、游泳速度与推进效率的关系是非常必要的。另一方面, 如果 P_{max} - v_{max} 的相关关系因性别或姿势因素的影响而发生变化的话, 那教练员和运动员就需要根据性别或身体姿势因素制定不同的 P_{max} 训练策略来促进 v_{max} 的提高。因此, 本研究设立 2 个研究目的: (1)比较不同性别或不同身体姿势条件下, UDK 的 v_{max} 或 P_{max} 是否具有差异; (2)检验性别或身体姿势因素是否会调节 UDK 的 P_{max} - v_{max} 的相关关系变化。

1 研究对象与方法

1.1 研究对象

49 名高水平游泳运动员, 其中男 29 人, 年龄(20.7 ± 3.2)岁, 身高(1.83 ± 0.05) m, 体重(78.1 ± 8.6) kg, 国际泳联积分(702 ± 113)分; 女 20 人, 年龄(19.6 ± 1.7)岁, 身高(1.71 ± 0.04) m, 体重(61.6 ± 6.2) kg, 国际泳联积分(723 ± 90)分。自愿参加测试, 身体健康, 在实验前所有实验对象均被告知实验详细流程及步骤并填写知情同意书。

1.2 研究方法

对运动员进行 UDK 的 v_{max} 和 P_{max} 测试。所有测试均在运动员常规训练期开始后的 2 周内进行, 期间运动员的训练量和训练强度均相同。测试开始前 1 周, 要求运动员熟悉设施器材及场地环境, 并进行相关练习。每名运动员需要参加 4 次测试, 每次测试随机指定运动员采用俯卧或仰卧姿势的 UDK 进行 v_{max} 或 P_{max} 测试。每次测试至少间隔 24 h, 以避免运动员出现疲劳。

1)最大速度(v_{max})测试。

测试时, 运动员被要求在听到出发信号后, 迅速蹬离池壁, 潜至水下约 1 m 处做 15 m 全力水下海豚腿, 15 m 池底标志线提示运动员游进距离。在 5 和 15 m 池面设置标记, 邀请两名有丰富经验的教练员使用人工秒表记取运动员头到达 5 和 15 m 处的时间, 以避免出发和滑行对速度测试的影响。要求每名运动员进行 2 次俯卧或仰卧姿势的 UDK 测试, 取测试最好成绩用来计算最大速度。

2)最大推进力功率(P_{max})测试。

参考 Dominguez 方法^[11]使用改良版水中牵引设备(Total Performance, 美国)进行多组 15 m 水下海豚腿渐增半牵引(semi-tethered swimming, STS)负重测试以计算 P_{\max} 。仰卧或俯卧姿势的 UDK 测试要求同 v_{\max} 测试。测试前进行标准热身活动。每组测试间歇时间为 5 min。测试时,运动员最初负重重量为 5 kg,每次增加 5 kg 直至测试停止。每次测试时,将运动员自水中牵引设备所承担的额外负重重量乘于完成该组测试的游泳速度用于计算功率(P)。将多组测试所得到的功率值绘制成功率-负重重量的抛物线曲线,抛物线峰值(Y 轴)即为 P_{\max} 。测试次数由自制 Excel 表格绘制抛物线曲线模型决定。

3) 计时成绩信度和水中牵引设备的效度检验。

采用 ICC 系数评估人工计时的信度,在 v_{\max} 和 P_{\max} 测试中,2 名教练员计时成绩的平均 ICC=0.98,表明计时成绩具有高度一致性。在本研究中,采用数字测力计(山度,中国,误差率 0.1%,敏感度 0.01N)对牵引负重重量进行测量和校对。分别采集 6 个点的负重重量(5、10、15、20、30 和 40 kg)。负重重量与测力计显示重量(M)进行线性回归拟合结果表明,测力计显示重量与负重重量为线性关系($y=2.278x+2.254$, $R^2=0.996$, $P<0.01$),具有较好的效度。在研究中,推进力功率由水中牵引负重重量 \times 游泳速度的乘积所决定,而牵引设备具有所测量的负重重量具有良好效度与计时成绩(用于计算游泳速度)具有良好信度表明:游泳速度与推进力功率的计算结果具有用于研究可以接受的信度与效度水平。

4) 统计分析。

使用独立样本 T -test 和配对 T -test 分别对不同性别和不同身体姿势的 v_{\max} 和 P_{\max} 进行组间和组内差异检验。考虑到运动员测试 2 种身体姿势的 UDK 具有重复数据特征,且为非独立数据,受 UDK 技术具有随机效应(运动员个体差异性)和固定效应(性别和身体位置)的影响,传统线性模型(Linear Model, LM)无法处理混合效应(Mixed effects)分析^[13]。因此,采用混合线性模型(Linear Mixed-Effect Model, LMM)来建立回归模型,将 v_{\max} 设为因变量,将 P_{\max} 设为自变量并作对数转换,以满足线性回归分析需要。参考温忠麟等^[14]对调节变量评估方法建立多个分层回归模型来检验性别和身体姿势是否对 UDK 的 v_{\max} 与 P_{\max} 关系具有调节效应。将性别和身体姿势变量逐步纳入 4 个模型进行回归分析如下:(1)建立仅具有 P_{\max} 效应的朴素模型(M1);(2)将性别效应纳入 M1 建立基于性别效应的模型(M2);(3)将身体姿势效应纳入 M1 建立基于身体姿势效应的模型(M3);(4)建立基于性别 \times 身体姿势交互效应的模型

(M4)。根据回归模型中,性别、身体姿势等回归参数显著性水平和 R^2 变化情况来评估性别或身体姿势效应对 UDK 的 P_{\max} - v_{\max} 关系的影响。以条件决定系数(Conditional r-squared, Rc^2)与边际决定系数(Marginal r-squared, Rm^2)的差值来评估随机效应对模型的影响。所有数据用平均数 \pm 标准差来描述,显著性水平设为 $P<0.05$ 。数据的统计与绘图均使用在 R studio 3.5 的 lmer4、performance、ggplot 函数包来完成。

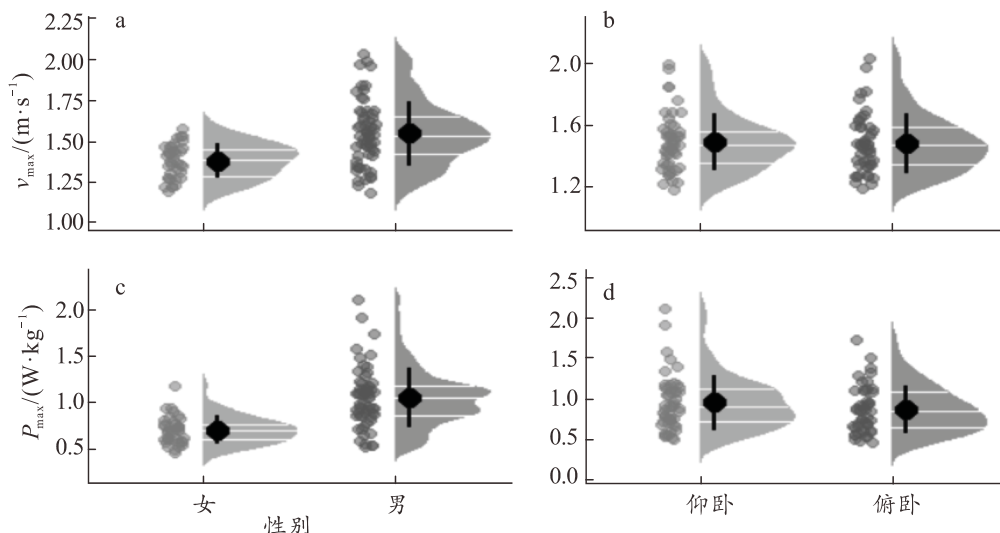
2 结果与分析

UDK 的 v_{\max} 和 P_{\max} 在不同性别和不同身体姿势条件下数据的分布情况见图 1。独立样本 T -test 结果显示(图 1a 和 1c):男运动员 UDK 的 v_{\max} (1.55 ± 0.20) $m \cdot s^{-1}$ 明显高于女运动员(1.38 ± 0.10) $m \cdot s^{-1}$,比女运动员平均快 11%($0.16 m \cdot s^{-1}$),差异具有统计学意义($P<0.01$, $ES=0.93$)。女运动员的 P_{\max} (0.70 ± 0.15) $W \cdot kg^{-1}$ 明显低于男运动员(1.05 ± 0.32) $W \cdot kg^{-1}$,比男运动员平均低 33%($0.35 W \cdot kg^{-1}$),差异具有统计学意义($P<0.01$, $ES=1.40$)。配对 T -test 结果表明(图 1b 和 1d):采用仰卧姿势(0.95 ± 0.34) $W \cdot kg^{-1}$ 的 UDK 比俯卧姿势(0.87 ± 0.29) $W \cdot kg^{-1}$ 有更高的 P_{\max} 输出,二者差异具有统计学意义($P<0.01$, $ES=0.25$),但仰卧姿势(1.49 ± 0.18) $m \cdot s^{-1}$ 与俯卧姿势(1.48 ± 0.19) $m \cdot s^{-1}$ UDK 的 v_{\max} 的差异无统计学意义($P=0.448$, $ES=0.05$)。

在控制 P_{\max} 变量后(M1),依次将性别效应(M2)、姿势效应(M3)和性别 \times 姿势效应(M4)纳入回归模型后表明(见表 1):性别效应($b=0.04$, $P>0.05$)、姿势效应($b=0.02$, $P>0.05$)和性别 \times 姿势交互效应($b=0.01$, $P>0.05$)的回归系数均对 v_{\max} 没有预测作用。仅包含 P_{\max} 效应的朴素模型(M1)可以解释因变量(v_{\max})变化的 80%,在分别纳入性别效应(M2),姿势效应(M2)和性别 \times 姿势交互效应(M4)后,M2(83%)、M3(80%)和 M4(81%)的解释效力并没有显著性的增加。这表明性别效应、身体姿势效应或二者的交互效应均不会影响 UDK 的 P_{\max} 与 v_{\max} 的相关关系。研究进一步通过简单斜率分析和图形分析来检验在不同性别和不同身体姿势条件下, P_{\max} 对 v_{\max} 的预测效应。结果发现:在不同性别或身体姿势条件下, P_{\max} 对 v_{\max} 均产生显著性的正向影响(男: $b=0.31$, $P<0.01$; 女: $b=0.25$, $P<0.01$; 仰卧: $b=0.28$, $P<0.01$; 俯卧: $b=0.30$, $P<0.01$)。虽然回归模型的斜率略有不同,但回归模型的解释效力较为一致(男: $R^2=0.56$; 女: $R^2=0.51$; 仰卧: $R^2=0.62$; 俯卧: $R^2=0.65$)。图形化分析也表明(见图 2):在不考虑其他因素的情况下,UDK 的 P_{\max} 与 v_{\max} 表现出较强的正相关关系(图 2a)。而不同性别(图 2b)、不同身体姿势(图 2c)或性别 \times 姿势

交互(图 2d)条件下,UDK 的 P_{\max} 与 v_{\max} 的相关关系及回归线均未发生明显变化。这表明:性别和身体姿势因素不会影响 UDK 的 P_{\max} 与 v_{\max} 的关系。考虑到性别或身体姿势效应对 UDK 的 P_{\max} - v_{\max} 关系的变化不具备调

节作用,遵循模型精简原则,认为不包含性别或身体姿势效应的朴素模型(M1)可较好地描述 UDK 的 P_{\max} - v_{\max} 的高度正相关关系($\ln v_{\max}=0.42+0.23\ln P_{\max}$, $R=0.90$, $P<0.01$),即 P_{\max} 越大, v_{\max} 越快。



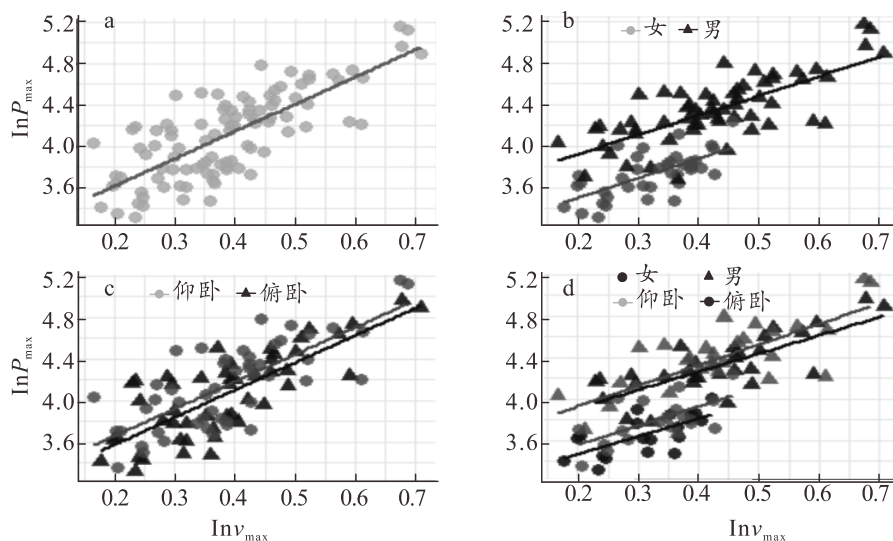
(黑色实心点和线分别代表均值与误差标准范围,散点及实心面积为数据的密度分布情况;
a: 不同性别的 v_{\max} ; b: 不同身体姿势的 v_{\max} ; c: 不同性别的 P_{\max} ; d: 不同身体姿势的 P_{\max})

图 1 不同性别和不同身体姿势条件下 UDK 的 P_{\max} 和 v_{\max} 的云雨图

表 1 分层回归模型结果

| 模型 | 截距 | | | $P_{\max}/(W \cdot kg^{-1})$ | | | +性别效应 | | | +姿势效应 | | | +性别×姿势效应 | | | |
|----|--------------------|------|----------|------------------------------|------|----------|--------------|------|----------|---------------|------|----------|-------------|------|----------|--|
| | <i>b</i> | SE | <i>t</i> | <i>b</i> | SE | <i>t</i> | <i>b</i> | SE | <i>t</i> | <i>b</i> | SE | <i>t</i> | <i>b</i> | SE | <i>t</i> | |
| M1 | 0.42 ¹⁾ | 0.01 | 40.30 | 0.23 ¹⁾ | 0.03 | 8.75 | | | | | | | | | | |
| M2 | 0.39 ¹⁾ | 0.02 | 18.78 | 0.18 ¹⁾ | 0.03 | 5.82 | 0.04 | 0.02 | 1.68 | | | | | | | |
| M3 | 0.42 ¹⁾ | 0.01 | 37.60 | 0.25 ¹⁾ | 0.03 | 9.22 | | | | 0.02 | 0.01 | 1.60 | | | | |
| M4 | 0.40 ¹⁾ | 0.02 | 19.27 | 0.21 ¹⁾ | 0.03 | 6.51 | 0.03 | 0.03 | 1.06 | 0.01 | 0.02 | 0.63 | 0.01 | 0.02 | 0.27 | |
| 模型 | Rc^2 | | | Rm^2 | | | ΔR^2 | | | ΔRm^2 | | | Rc^2-Rm^2 | | | |
| M1 | 0.80 | | | 0.50 | | | | | | | | | 0.30 | | | |
| M2 | 0.83 | | | 0.45 | | | -0.03 | | | 0.05 | | | 0.38 | | | |
| M3 | 0.80 | | | 0.53 | | | 0.00 | | | -0.03 | | | 0.27 | | | |
| M4 | 0.81 | | | 0.50 | | | -0.01 | | | 0.00 | | | 0.31 | | | |

1) $P<0.01$



(a: 总体 P_{\max} - v_{\max} 关系; b: 不同性别的 P_{\max} - v_{\max} 关系; c: 不同身体姿势的 P_{\max} - v_{\max} 关系; d: 性别×姿势交互条件下的 P_{\max} - v_{\max} 关系)

图 2 不同条件下 UDK 的 P_{\max} - v_{\max} 系图

3 讨论

本研究主要目的是检验运动员性别或身体姿势效应是否会影响UDK的 P_{\max} 与 v_{\max} 的相关关系。结果发现:虽然男女在UDK的 P_{\max} 和 v_{\max} 方面均具有差异, P_{\max} 在仰卧或俯卧身体姿势条件下具有差异,但不同性别或不同身体姿势不会影响UDK的 P_{\max} 与 v_{\max} 的相关关系。

不同性别运动员在UDK的 v_{\max} 和 P_{\max} 均具有差异。男运动员比女运动员有更快的速度(11%)和更高的功率输出(33%)。这与前人对自由泳姿势的研究结果相似。Sharp等^[15]研究报告了高水平大学生男运动员在25 m自由泳速度上比女运动员快12%,陆上自由泳上肢功率峰值高43%。Barbosa等^[6]测试发现年龄组男子运动员100 m自由泳速度比女运动员快10%,自由泳功率输出高30%。很显然,男女在身体形态^[16]、肌肉重量^[17]、肌纤维横截面积^[18]的差异是导致UDK的 v_{\max} 和 P_{\max} 差异的重要原因。

值得注意的一个结果是:男女运动员在UDK的 v_{\max} 和 P_{\max} 具有差异,但性别差异并不会影响UDK的 P_{\max} 与 v_{\max} 的相关关系。虽然男女在肌肉力量和功率输出方面的差异,使教练员和运动员常依据性别制定不同的游泳训练策略,但这种训练策略并不适用于发展UDK的 P_{\max} 能力。这一点,可以用水中阻力与游泳速度之间的关系来解释研究结果。研究表明:水中阻力与游泳速度的立方成正比,即流速越快,阻力越大^[9]。因此,更快的UDK速度需要更大的推进力来克服随着流速的提高而增大的水中阻力。男运动员有更快的UDK速度,但需要输出更大的 P_{\max} 来克服随之增大的水中阻力。与之相应的是女运动员UDK速度相对较慢,也仅需要较小的 P_{\max} 来推动身体向前游进。Barbosa等^[6]的研究也支持了本研究结果:在控制了100 m游泳速度后,男女年龄组运动员在推进效率和阻力系数上无显著性差异。

研究中发现改变身体姿势对UDK的 v_{\max} 没有影响,不同身体姿势的UDK在 v_{\max} 没有差异,这与Robinson等^[20]研究结果相一致。仰卧姿势的 P_{\max} 比俯卧姿势平均高9%($0.08\text{W}\cdot\text{kg}^{-1}$),具有显著性差异。这与仰卧姿势的UDK比俯卧姿势有更大的下肢关节(髋关节、膝关节)垂直振幅有关^[2]:更大的动作振幅能增大打腿时的推进力面积,进而产生更大的推进力^[20]。虽然还没有研究报道过UDK的 P_{\max} 在不同身体姿势上的差异,但前人研究表明:运动员在仰泳中所产生的推进力大于自由泳^[3,11],这在很大程度上支持了本研究的结果。

前人研究表明:膝关节运动是影响UDK的速度变

化和产生推进力的运动关节^[21]。在采用俯卧和仰卧姿势时,身体姿势变化并没有引起身体动作结构的变化,特别是膝关节动作均以屈伸动作完成打腿动作。不同身体姿势并没有导致动作结构出现差异,仰卧或俯卧的UDK均能获得相似的游泳速度。这可能是解释UDK的 P_{\max} - v_{\max} 关系不受身体姿势因素限制的主要原因。仰卧和俯卧姿势在 v_{\max} 没有显著性差异,这说明无论采用仰卧还是俯卧姿势进行UDK的训练均可以提高UDK的成绩。而仰卧姿势比俯卧姿势能产生更大的 P_{\max} ,这暗示着在UDK的 P_{\max} 训练中,采用仰卧姿势比俯卧姿势可能获得更大的推进力收益。

在采用M1模型描述UDK的 P_{\max} 与 v_{\max} 关系时, P_{\max} 可以解释 v_{\max} 变化的80%,但当排除随机效应后,模型的解释效力下降30%($Rc^2-Rm^2: 0.80-0.50=0.30$)。这说明,运动员UDK技术的个体差异性对 P_{\max} 与 v_{\max} 之间的关系变化有重要影响作用。Connaboy等^[21]发现:运动员采用不同的打腿频率和幅度的组合方式均能获得相似的UDK游进速度。计算机模拟分析发现:较大的打腿幅度在提高推进力的同时也会增大阻力。而较小幅度的打腿会产生较低的推进力和较低的阻力。但不同打腿频率和打腿幅度(快频率低幅度 vs 低频率高幅度)均可以获得理想流速的UDK打腿技术^[22]。很显然,阻力和推进力决定了游泳速度的变化。增大推进力或减小阻力均可以提高游泳速度^[9]。因此,提高UDK的速度可能存在多种打腿频率和打腿幅度的组合方式。不同的打腿组合方式必然使UDK的技术具有个体差异性并影响UDK的 P_{\max} - v_{\max} 的关系变化。研究结果提示UDK的 P_{\max} - v_{\max} 相关关系很大程度上受运动员技术的个体差异性影响,不受性别和身体姿势因素的影响。教练员和运动员在发展 P_{\max} 来提高UDK的 v_{\max} 时,应着重考虑不同打腿幅度和打腿频率所带来的技术个体差异性来制定不同的UDK训练策略。

与成年高水平运动员相比较,提高UDK速度对青少年游泳运动员提高成绩同样重要。但本研究对象为成年高水平游泳运动员,考虑到青少年运动员在身体形态、肌肉力量、技术等方面与成年运动员具有差异^[23],研究结论对青少年游泳运动员的外推效力在一定程度上受到限制。另一方面,虽然最新的游泳规则限制了侧向UDK技术的使用,但还有部分运动员在仰泳或自由泳比赛中采用侧向UDK打腿技术。因此,在今后研究中应纳入侧向姿势来讨论不同身体姿势UDK技术条件下 P_{\max} - v_{\max} 关系的变化情况。

参考文献:

[1] FISCHER S, KIBELE A. The biomechanical structure

- of swim start performance[J]. *Sports Biomechanics*, 2016, 15(4): 397-408.
- [2] CONNABOY C, COLEMAN S, SANDERS R H. Hydrodynamics of undulatory underwater swimming: A review[J]. *Sports Biomechanics*, 2009, 8(4): 360-380.
- [3] KOLMOGOROV S V, RUMYANTSEVA O A, GORDON B J, et al. Hydrodynamic characteristics of competitive swimmers of different genders and performance levels[J]. *Journal of Applied Biomechanics*, 1997, 13(1): 88-97.
- [4] KOLMOGOROV S, DUPLISHCHEVA O. Active drag, useful mechanical power output and hydrodynamic force coefficient in different swimming strokes at maximal velocity[J]. *Journal of Biomechanics*, 1992, 25(3): 311-318.
- [5] DOMINGUEZ-CASTELLS R, IZQUIERDO M, ARELLANO R. An updated protocol to assess arm swimming power in front crawl[J]. *International Journal of Sports Medicine*, 2013, 34(4): 324-329.
- [6] BARBOSA T M, MORAIS J E, MARQUES M C, et al. The power output and sprinting performance of young swimmers[J]. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 2015, 29(2): 440-450.
- [7] GATTA G, CORTESI M, ZAMPARO P. The relationship between power generated by thrust and power to overcome drag in elite short distance swimmers[J]. *Plos One*, 2016, 11(9): 9-16.
- [8] WHITE J C. Development and validity assessment of the max power model for the detection, separation, and quantification of differences in resistive and propulsive forces in swimming[D]. Indiana University at Bloomington, 2006.
- [9] COSTILL D, RAYFIELD F, KIRWAN J, et al. A computer Based system for the measurement of force and power during front crawl swimming[J]. *J Swim Res*, 1986, 2(1): 16-19.
- [10] ZAMPARO P, CORTESI M, GATTA G. The energy cost of swimming and its determinants[J]. *European Journal of Applied Physiology*, 2020, 120(1): 41-66.
- [11] MOROUÇO P, KESKINEN K L, VILAS-BOAS J P, et al. Relationship between tethered forces and the four swimming techniques performance[J]. *Journal of Applied Biomechanics*, 2011, 27(2): 161-169.
- [12] GONJO T, MCCABE C, SOUSA A, et al. Differences in kinematics and energy cost between front crawl and backstroke below the anaerobic threshold[J]. *European Journal of Applied Physiology*, 2018, 118(6): 1107-1118.
- [13] MCCULLOCH C E, NEUHAUS J M. Generalized linear mixed models[J]. *Encyclopedia of Biostatistics*, 2005, 4.
- [14] 温忠麟, 侯杰泰, 张雷. 调节效应与中介效应的比较和应用[J]. *心理学报*, 2005(2): 268-274.
- [15] SHARP R L, TROUP J P, COSTILL D L. Relationship between power and sprint freestyle swimming[J]. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 1982, 14(1): 53-56.
- [16] KJENDLIE P L, STALLMAN R. World book of swimming from science to performance: Morphology and swimming performance[M]. New York: Nova, 2011.
- [17] DAVIES B, GREENWOOD E J, JONES S. Gender difference in the relationship of performance in the handgrip and standing long jump tests to lean limb volume in young adults[J]. *Eur J Appl Physiol O*, 1988, 58(3): 315-320.
- [18] BISHOP P, CURETON K, CONERLY M, et al. Sex difference in muscle cross - sectional area of athletes and non - athletes[J]. *Journal of Sports Sciences*, 1989, 7(1): 31-39.
- [19] MAGLISCHO E W. Swimming fastest[M]. Champaign, IL: Human Kinetics, 2003.
- [20] ROBINSON P, ADAMS T L, ROSE K, et al. Kinematic comparison of underwater dolphin and flutter kicking performed in a prone and supine body position, F, 2018[C]. *International Journal of Exercise Science: Conference Proceedings 2018*.
- [21] CONNABOY C, NAEMI R, BROWN S, et al. The key kinematic determinants of undulatory underwater swimming at maximal velocity[J]. *Journal of Sports Sciences*, 2016, 34(11): 1036-43.
- [22] LYTTLE A, KEYS M. The use of computational fluids dynamics to optimise underwater kicking performance; proceedings of the ISBS-Conference Proceedings Archive, F, 2004[C]. *International Symposium on Biomechanics in Sports 2004*
- [23] STAN A E. The relevance of obtaining performance at the age of 6-7 years at the expense to maximize the potential at junior swimming[M]. *Studies and Current Trends in Science of Education. Editura Lumen, Asociatia Lumen*. 2018: 459-470.