

应用划频—速度关系结合生物力学与代谢 进行自由泳训练的效果研究

王志军¹, 潘丽萍², 周正荣³, 陆青¹, 季志祥³

(1. 南京体育学院运动系 体能训练教研室, 南京 210046;

2. 南京体育学院 运动康复医院, 南京 210014; 3. 江苏省游泳队, 南京 210014)

摘要: 采用文献资料法、数理统计法和测试法, 观察10名一级以上短距离自由泳运动员在接受高频速划训练后的比赛表现, 并追踪其100米与200米自由泳成绩。结果显示, 其成绩分别提高了9%和7.1%。成绩有所提高的高频速划训练组, 在游泳时能量消耗量减少了20%, 这与划水频率—速度关系改变有关。研究认为, 采用基于划水频率—速度关系的高频快速划训练计划, 可以提高自由泳运动员的能量代谢水平, 最终能在不经过陆上训练、超长距离训练或赛前减量的情况下提高游泳成绩。

关键词: 划频—速度关系; 自由泳; 耗氧量; 乳酸; 游泳成绩

中图分类号: G804.2

文献标志码: A

文章编号: 1008-3596 (2015) 02-0067-06

竞技游泳的成绩取决于运动员采用一定的泳姿游完相应距离所需要的时间。忽略出发和转身, 用一定的时间游完既定的距离即为划速。达到并保持一定的划速完成比赛, 这种能力与生物力学和人体的代谢密不可分。生物力学因素主要涉及划频(手臂划水周期的次数/分钟)和划距(米/划水)。以往的研究表明, 划频和划速之间存在着一种特定的关系^[1]。研究人员发现, 高水平游泳运动员在高速和低速游泳时, 划水距离都比较大, 他们拥有极强的能力来缩短划水时间, 以此来获得较高的划频。国外专家 Craig 及其同伴发现优秀的运动员在比赛中的划水距离和划频往往比其理论值低^[2]。游泳项目中涉及人体代谢比较重要的是有氧和无氧的结合。游泳时人体能量消耗率是由人体阻力、净力学效率和推动效率决定的^[3], 也可以说是与摄氧量总和、无氧酵解率及高能量磷酸盐利用率相关, 这些途径的相对贡献与比赛时的划速和游距息息相关^[4]。划水频率—速度关系与能耗—速度关系是否可以在个人训练中转换或可以转换多少的观点并没有得到证实。因此, 最佳训练方法也没有得到证实。每周50 000 m到60 000 m的超长距离游泳可以说是上世纪八九十年代的传统训练方法。长距离的游泳也暗示着训练时速度不会很高, 不能产生达到竞技速度所需的一些效果。并且这种超长距离游泳训练方式有可能会给许多运动员造成慢性疲劳。使用长距离游泳训练的选手往往在赛前减少训练量来恢复体力^[5]。赛前减量的训练方式可以将游泳成绩提高3%^[6], 但是有研究表明使用该方法训练的大学生运动员成

绩每年提高不到1%^[7], 因此长距离游泳训练方法的有效性也存在很多质疑。该训练引起的慢性疲劳可能降低运动员在训练和比赛中的成绩。近来, 人们意识到大部分竞技游泳都采用高划频以及以无氧代谢为主导的方式。一份研究报告显示高速度(强度)训练可以强化运动员在竞赛中的生物力学和代谢作用^[8]。本研究的目的是分析“短游距—高划速”的训练方法在划水频率—速度关系、身体能耗、代谢能力上取得的效果, 并将高划速的训练效果与以前标准传统训练法的成果进行对比, 从而为竞技游泳的训练提供参考依据。

1 研究对象与方法

1.1 研究对象

本研究以南京体育学院一级以上水平的男子大学生游泳运动员10名(表1)为研究对象。实验前, 这些运动员的训练量是每周40 000—50 000 m。大部分情况下, 实验前的训练涉及陆上练习和负重练习。首选项目是100 m和200 m的自由泳, 其他泳姿和游距都缺乏合适的研究对象。这些游泳运动员都来自省三线或二线队员并使用长距离训练计划。因此, 这些运动员必须开始习惯新训练中的短距离和训练强度。到第二年时, 游泳运动员将确定参加并实施该计划。高速小组的划频、划速、游泳距离、休息间隔和游泳强度逐渐改变, 并通过训练消除了疲劳。四年参与过程中, 研究对象的身高、体重或脂肪含量无明显变化。

收稿日期: 2014-12-18

基金项目: 南京体育学院院级项目(YJ201306)

作者简介: 王志军(1970—), 男, 江苏南通人, 副教授, 硕士, 研究方向为体育教学与训练。

表1 研究对象基本情况 (N=10)

变量	年龄/y	身高/cm	体重/kg	体脂率/%	专业运动年限/y	100 m 成绩/s	200 m 成绩/s
高速训练前	18.57±1.12	180.86±4.78	72.32±5.54	8.1±2.1	8.25±1.87	53.67±0.70	116.17±2.72
高速训练后	22.57±1.12	181.34±4.82	73.56±6.17	8.4±3.3	12.25±1.87	51.36±1.42	111.46±1.89

1.2 研究方法

1.2.1 文献资料法

查阅中国期刊全文数据库、EBSCOhost 数据库（外文期刊）、国家图书馆以及相关官方网站，共检索了多篇有关“游泳训练”“游泳供能特征”等方面的中外文献。此外，翻阅了运动生理学、运动训练学、运动生物力学、体育统计学及体育科学研究方法等书籍，为本研究奠定理论基础。

1.2.2 数理统计法

统计学处理应用 SPSS17.0 软件包计算所有变量的平均方差和标准方差数据。将高速小组里两组游泳运动员的数据结合起来分析。将高速小组的数据作为由重复测量的方差分析（ANOVA-RM）得来的每年测量参数的函数。为简化图标，只显示高速小组的平均方差数据。游泳运动员之间的差别不会影响方差分析（ANOVAP），因为每个研究对象本身都充当自己的对照组。

1.2.3 测试法

生物力学参数测试：研究对象完成了一系列的游泳热身，他们蹬离泳池的侧壁，以恒定的划频和划速游到另一侧（泳池宽度为 25 m）。以最小的划频起步，并且试图达到最大的划距。在之后的运动中，保持最大划水距离，增加划频直到运动员感觉已经达到最大速度为止。在这之后，鼓励运动员增加划频并且不要关注每划距离。以较高划频反复游，直到划速不再增加为止，然后确定该划速为最大值。每次游泳时，测定在既定的划水次数内游出的时间和距离（约 10 m）。根据这些数据，计算划频、每划距离以及平均划速。根据每一个划频以及对应的最大划速绘制曲线以供训练使用。

代谢参数测试：对每个运动员进行两种系列的代谢试验。第一种试验在游泳测试水槽中进行。运动员跟随着一个监测平台，这个平台由水流量表（水速）控制其速度。运动员前三分钟以 0.9 m/s 的速度游，之后每隔两分钟增加 0.1 m/s，直到不能再增加为止。每一次游泳持续 8—16 min。运动员穿戴鼻夹和套口。在每次划速维持的第二分钟，使用监测平台上的道格拉斯气袋收集运动员的换气，然后用干气量计测量气体体积，用医用气体分析仪（帕金埃尔默 1100）测量氧气和二氧化碳的比例。用标准方程计算氧气消耗量和二氧化碳产生量^[9]。所有仪器设备在实验前都要经过校准。所得数据反映了有氧速度下能量的消耗。绘制摄氧量与划速关系图，然后测定最大摄氧量和能耗（摄氧量/划速）。

为了测定高速游泳时的能耗、无氧功率和无氧容量，第二种试验在标准 25 m 的比赛泳池进行。总能量需求率是无氧功率和有氧代谢率的差额。当游泳时的能耗率高于有氧功率最大值时，运动员就会减速或者停下来。为了测定这些参数，运动员将根据比赛次数分为四组进行比赛，这样有利于竞争。运动员先完成一个 100 m 的竞赛，一小时后再进行一

个 200 m 的。两天后，运动员先完成一个 50 m 的竞赛，一小时后再进行一个 400 m 的。每次游完之后运动员立即向测试员报告并披上浴巾等待，在游泳之后 7—9 min 内从肘前静脉采集血样，血样经过离心后通过酶解技术测定乳酸。鉴于之前的研究，高能量磷酸盐的能量贡献可以忽略不计，血液中的乳酸累积率可以通过游泳时间和乳酸浓度计算出来。假设这个值是血液中乳酸含量峰值，并且乳酸在人体内经过统一稀释，根据 diPrampetro^[10] 的游泳数据，乳酸盐累积率可以转换成氧当量（3 mlO₂/mm/kg）。将高划速游泳时乳酸盐的氧当量增加到最大摄氧量，并且绘制摄氧量与有氧游泳划速之间的曲线图。该计算方法可以反映出所有划速对应的能耗率（ET），包括竞技时的划速。在经过 50 m、100 m、200 m 和 400 m 的游泳测试之后，可以假设乳酸浓度峰值的最大值为无氧容量最大值。

运动成绩：根据每年的冠军赛或达标赛测定的成绩进行评估。比赛中电子计时器记录的时间成绩反映了所有竞赛距离的成绩数据。

1.2.4 训练方法

本研究中采用的高频速划训练计划，是根据每个游泳运动员在每年赛季前、中期的生物力学数据和代谢数据建立起来的。高速小组的游泳运动员不需要进行陆上训练和体能训练。高速训练以划频—速度的关系为基础，在四年里每个赛季初和赛季中决定划频和划速，据计算，所有划频的划速每年都会增长 10%（“改变曲线图”）。在高速小组的四个训练阶段中，要求每个运动员以特定划速和给定划频进行训练，也就是按照“曲线图”游泳。在高速小组的所有训练课程中，由教练用游泳秒表核查每个运动员的游泳划速和划频，然后在休息间隔对每个运动员的情况进行口头反馈。每次训练前要进行 20—30 min 的热身运动。在热身期间，划速由最初的 1.3 m/s 逐渐提高至该训练阶段规定的划速。每次训练后有 20—30 min 的缓和和放松运动，在此段时间内划速逐渐降低。

高速训练的总原则是将每个游泳运动员的观察训练的曲线图变成成为一个新的理论曲线图，并且教会运动员通过提高每划距离来实现理想的新划速。根据观察到的划速和划频给出口头反馈，以提高游泳运动员的划水效率，从而初步实现该计划。第一阶段或生物力学阶段通过低速达成后，游泳运动员可以集中练习新的生物力学划水模式。如果游泳运动员能通过两个连续训练实现理想的划频及划速，那么就可以适时增加划频和划速，但应让运动员保持每划距离（按照“曲线图”游）。由于该训练阶段需通过增加强度将每划距离最大化，因此，运动员的肌肉组织也得到加强。该训练阶段大约持续两到三周。平均划速最初为 1.32 m/s，经过两到三周后提高到 1.56 m/s。

当游泳运动员可以通过设定的划频达到理想划速时，便

可转至第二训练阶段。如果运动员没能够在两周之内完成该改变,可将其新曲线图调整为在第一阶段达到的每划最大距离。总体来说,生物力学模式的建立涉及到更多划水动作的划臂和伸肩,通过加强入水和前期拉水,并将过肩后的推水动作减到最少。鼓励运动员“浮于水上”并减少腿部打水动作。

当运动员可以在最大有氧代谢情况下完成其曲线图时,就可以开始进行训练计划的第二阶段(有氧代谢阶段)。第二阶段训练计划是提高最大有氧功率和乳酸阈。训练包括让运动员按照曲线图以其仅能维持十分钟的速度(最大摄氧量的115%至129%)游。然后,运动员以其最大摄氧量的60%继续游十分钟以优化乳酸阈。在一小时的训练中依此重复三次,并将该训练模式持续六至七周,研究对象的代谢能力有所提高,平均划速会由1.61 m/s提升至1.81 m/s。

第三阶段(无氧代谢阶段)的训练计划是提高划频以实现最大划速,保持或提高最大摄氧量,并增加无氧代谢体系的训练。此阶段持续15至16周,运动员可以逐渐提高划频和划速,但仍按照其曲线图游。当运动员可以在连续两次训练中全程都达到规定划频及划速时,可以增加其划频。此阶段开始时,每游25 m休息15 s,依此重复16次为一序列,然后休息一分半钟,坚持训练一小时。在运动员可以在连续两次训练中按照曲线图游满1个小时后,休息间隔减少到10 s。在25 m游泳训练重复一小时后,可将游泳距离增加到50 m,并将休息间隔设定为30 s,依此重复16次为一序列。如果运动员达到此水准,便将休息间隔逐渐减少至20 s。尽管游泳距离较短,但休息间隔也比较短。如此一来,有氧代谢和无氧代谢体系在这1小时的练习中均被调动起来。由于训练中划频和划速逐渐增加,运动员不会感到疲劳。然而,如果运动员在给定训练内没有保持其划频和划速,其划频和划速要被降低到先前的水平,直到恢复为止。运动员在第三阶段所能达到的最大划频和划速,便是他们在竞赛中游泳的划频和划速。

训练计划的第四阶段是在最终比赛前的3周。这一阶段包括游半小时的25 m游泳,之后休息10 s,并逐渐增加划频和划速。此计划不包括赛前减量(传统意义上的)。游泳运动员保持训练,一直到比赛的前三天才停止。

所有四个阶段的训练循环进行,两天高速训练和两天恢复性训练交替进行。高速训练日遵循上述计划进行。两天的恢复性训练包括短时间(少于15 s)游泳和两到三分的休息间隔。同时,恢复性训练还包括低速短距离游泳热身训练。恢复性训练日着重强调游泳技术以及出发和转身技术。两天高速训练将压力最大化,而两天恢复性训练给予运动员完全的恢复,因此,运动员在每个高速训练日得到了高质量训练却不会带来惯性疲劳。两天高速训练和两天恢复性训练的安排计划在训练日减少了肌肉疲劳,并在休息日确保了糖原储存的完全恢复。

2 实验结果

图1绘制出了第一年测试前(最初)以及第一、二、三、四年赛季末的划水频率—速度关系。其中,划速为划频

的函数。数据源于所有自由泳运动员的平均值。第二、三、四年的数据明显大于第一年的数值(重复测量的方差分析ANOVA-RM, $p < 0.05$)。

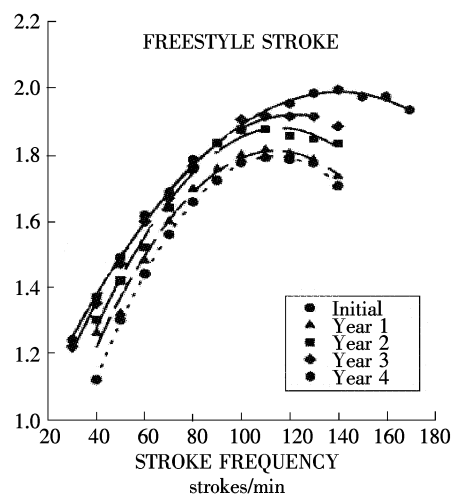


图1 运动员划水频率—速度关系的数据图

在生物力学参数方面,定性地看来,训练并未影响划水频率—速度关系图形。所有划频划速比第一年有明显提高,增长为26%。该增长是由于提升了每划最长距离(16%)和最高划频(8%)。经检测,在被测划频范围内的划速变量系数范围为12%至21%。划水频率—速度关系在特定一年内的变化为赛季前、中期占约50%,赛季中、后期占约50%。

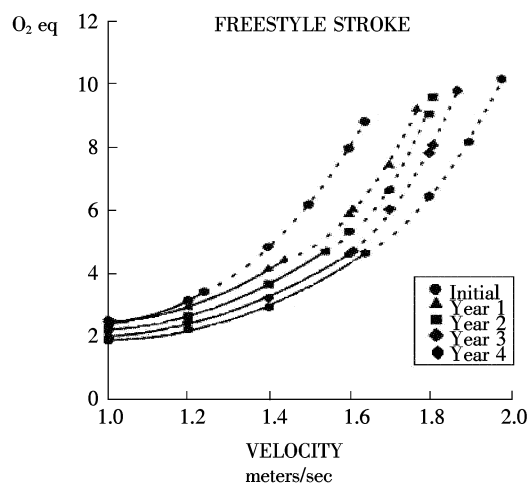


图2 运动员有氧代谢和无氧代谢的相关数据图

图2的数轴为氧当量,将其绘制为游泳划速的函数。数据是第一年测试前(最初)和第一、二、三、四年赛季末测试的平均值。实线为直接测量值,其最高点代表最大摄氧量。虚线由乳酸含量推测而来。第一、二、三、四年赛季末所有划速下的能量消耗值明显比最初的测试值小(重复测量的方差分析ANOVA-RM, $p < 0.05$)。第一、二、三、四年赛季末的最大摄氧量、最大划速值和最大能量输出值均明显比最初的测试值大(重复测量的方差分析ANOVA-RM, p

<0.05)。

从代谢参数来看,图2的数据显示,游泳的能量消耗(摄氧量/划速,表示为氧当量)在有氧和竞争速度的范围内明显减少。定性地看,曲线形状相似。1.2 m/s的能量消耗率的变化占30%,1.6 m/s的占56%。后者反映了第一年内观察到的最高划速。

图2也显示了有氧条件下(31%)可维持的最快速度和四年内增长的最快速度(27%)。四年训练中的最高有氧代谢增长范围为第一年由 3.28 ± 0.12 L/min升至 3.93 ± 0.21 L/min;第二年由 3.93 ± 0.21 L/min升至 4.32 ± 0.542 L/min;第三年由 4.32 ± 0.542 L/min升至 4.64 ± 0.57 L/min;第四年由 4.64 ± 0.57 L/min升至 4.86 ± 0.63 L/min。这些增长代表了从第一年到第四年 VO_2 (摄氧量)分别增长了20%、9%、8%和5%,总增长达48%。

第一年测试前(最初)以及第一、二、三、四年赛季末游泳结束后乳酸浓度的最高值分别为 8.71 ± 0.59 mM; 11.06 ± 0.83 mM; 11.29 ± 0.71 mM; 11.97 ± 1.29 mM以及 11.59 ± 0.88 mM。在第一年里,乳酸的峰值显著增加27%。然而在第二年、第三年以及第四年该值并未发生明显变化。这些乳酸峰值分别代表着无氧容量为1.93升/氧当量、2.48升/氧当量、2.54升/氧当量、2.69升/氧当量以及2.61升/氧当量,导致在四年的训练期间无氧容量总共增长了35%,(有氧+无氧)总能力的最高值从8.95升/氧当量增长到9.36升/氧当量,然后再增到9.77升/氧当量、10.0升/氧当量以及10.36升/氧当量。这意味着在游泳时总能力方面增长了16%。

从成绩来看,100 m到200 m比赛包括短距离以及中距离比赛。在第一年至第四年期间,100 m比赛成绩提升的比例分别为2%、3%、2%和2%,总增长比例为9%;而在第一年至第四年期间,200 m比赛成绩提升的比例分别为1.9%、2.1%、1.8%和1.3%,总增长比例为7.1%。根据之前的报道,传统长距离训练计划中游泳运动员的100 m及200 m比赛的成绩提高比例为1%—3%或者更少^[11],而该计划中,运动员成绩的提高比例为9%和7.1%。

在这些具有竞争性的比赛中,高频速划训练组的教练对每个游泳运动员的划速以及速度进行测定,以确保所有的游泳运动员按照自己的曲线游泳,继而确保所有游泳运动员都可以取得最优成绩。

在游泳成绩的提升方面,对于100 m和200 m以外的其他距离的自由泳,或者只有2名至4名游泳运动员参加的其他泳姿,其成绩与高频速划训练组和长距离组在100 m和200 m自由泳中的成绩相似。在过去的四年间,50 m、400 m以及1 500 m自由泳的提升比例分别为4.59%、4.42%和4.89%。在这四年期间,对仰泳、蛙泳以及蝶泳的所有距离游泳而言,提升比例则分别为5.8%、4.6%和6.3%。

3 讨论

该研究表明,游泳运动员通过本研究所描述的高频速划训练计划,充分提升了他们的游泳动作技巧和代谢能力,100 m和200 m自由泳的提升比例分别为9%和7.1%,该

提升比例显著高于传统长距离训练中所观察到的1%—3%的提升水平。

该计划的独特之处在于游泳运动员采用划频—划速曲线的训练计划。首先,他们进行低速训练,以提高划距。第二,他们进行最高速度的训练,以便可以保持每划的最大距离(最大需氧量、无氧容量、划臂动作以及肌肉强度)。第三,他们进行渐进式划速以及划水速率提升训练,直到达到最大值(保持需氧量、划水频率、无氧容量、最大划频和划速)。此研究中,游泳运动员并未参加体能训练。在过去的二十年间,有人推荐使用超长距离训练以增加游泳运动员的有氧运动基础^[12]。然而,大约十年前,也有人提议训练需着重提升动作效率^[13]。该类训练包括低划频训练,这一训练在达到较长的划距后,逐渐提高划速并缩短休息间隔(按曲线游泳)。之前也曾有人建议最佳的游泳训练手段应该提升动作效率和代谢水平^[3]。虽然游泳运动员遵守所规定的训练距离、休息间隔甚至是划频,但不能准确判断划速或练习强度^[12]。

3.1 生物力学相关参数分析

之前曾有这样的研究^[14]:与实力较弱的游泳运动员相比,优秀游泳运动员的划频—划速曲线上移且偏右,即划距更长,划频和划速更高,这与游泳能量逐渐消耗有关^[15]。优秀的游泳成绩与较高的划速、较长的划距以及在整个比赛中保持这些能力有密切关系^[16]。对于大多数优秀的游泳运动员来讲,在一次特定的划水中,划频—划速曲线的形状都是类似的^[11]。因此,成绩的提升需将该曲线上移且偏右。本研究中的数据表明,将划频—划速曲线每年移动10%,或者四年间移动40%,理论上是可以实现的。进行长距离训练的游泳运动员可能在划频—划速曲线上没有较大的变化。后续的假设需通过对现今大量进行超长距离训练的游泳运动员的测试来进行验证。

3.2 相关代谢参数分析

最大需氧量:该计划在最大需氧量115%—125%的情况下采用3次10分钟游泳。在这些游泳训练中,乳酸以1—1.5 mM/分的速率增长,10分钟后,乳酸盐量达到最大值。每个回合之间允许10分钟的慢游(60%最大摄氧量)。通过这个过程,可以清除血液中的乳酸盐^[10]。在游泳过程中,水平较低的游泳运动员的最大需氧量相当低(3.0—3.5升/分钟)^[17]。在第一年,本研究以及其他研究^[8]中水平较高的运动员的最大摄氧量(3.5—4.0升/分钟)与之前研究报道的水平较低的游泳运动员相似。据报道,进行超长距离训练,一个赛季可提升最大摄氧量4%—11%^[17]。然而在本研究中,最大摄氧量在第一年提升了20%,且总共提升了40%。其他研究表明,将每天的训练距离从4 000 m增加到8 000 m时并不会对游泳成绩或者代谢能力产生重大影响^[18],且超长距离训练5个月也未显著增加最大摄氧量^[19]。10天内增加训练距离(8 000米/天)并不会提高游泳成绩、有氧容量或者是肌肉柠檬酸合成酶水平。但是,其肌原糖含量会比训练距离为4 000米/天时低^[20]。也许,低强度游泳训练并不能为增加最大摄氧量提供足够的动力。本计划和前研究^[8]中的高强度训练可用于提高最大摄氧量。以下研究成

果得到了这些数据的证实:游泳成绩的提高与游泳平均速度(强度)密切相关,而与训练距离或者划频无关。

游泳成绩与血液中的乳酸含量也存在一定的关系^[21]。本研究中的数据表明,在过去的四年期间通过高速度训练,无氧贡献(功率)与游泳成绩的比率增加了16%。且在这四年间,乳酸盐峰值的最大值增加了35%。之前的研究表明,通过中等强度的训练,8周高划速训练可将乳酸盐增加20%。

对于50 m至100 m的高速间歇游泳,与休息间隔为10 s的游泳相比,休息间隔为30 s的训练所产生的乳酸盐量更低。本研究中的高频速划训练采用25 m的游泳间距,最初休息时间为30 s,后来降至10 s,从而将游泳划速和耗氧量最大化,同时延缓了肌肉或者血液酸中毒所引起的对运动的限制。此外,无氧功率增加的幅度高于无氧容量(按照乳酸浓度进行评估),这意味着通过组织可以增加乳酸盐的缓冲。

3.3 身体特征分析

跟其他研究报道类似^[22],该研究中游泳运动员都拥有类似的体型及构成,且这些参数在这四年训练期间未发生显著变化。因此,此处所观察到的运动水平的提高并非是由体质的增加或者游泳技术熟练引起的。

4 结论

本研究讨论了在无体能训练及传统赛前减量的情况下,参加高划速和短距离计划的游泳运动员的竞技游泳成绩。在游泳运动员训练中,一个主要因素是利用划频和划速之间的关系逐步增加游泳训练强度。在高频速划训练计划中,游泳成绩的提升主要表现为划频—划速以及能量—速度的提升。在所有的划频下,每划距离不断增加,使得在所有的划速下,游泳能耗都有所降低。此外,最大有氧功率、无氧功率和氧容量都显著增加,以便达到并保持高速。

据合理推断,低强度训练计划未能提供足够的压力或者适当的动力以实现最佳适应。传统训练有可能会降低糖原减少以及慢性疲劳,同时会降低训练以及竞技水平。观测结果也证明了这一点:在训练期间,长距离训练会降低短距离游泳成绩,或者阻止各项能力的提升。长距离训练需要进行赛前减量以恢复游泳成绩,但成绩的提升仍明显低于本研究中高速划水训练计划中所得到的结果。本研究的训练计划设置了训练期间的固定休息间隔,且每天最大强度训练限制为一个小时。

本研究的结果说明此高速训练计划是有一定效果的。而且,那些过分注重陆上体能训练以及长距离或者超长距离训练的方法有待重新评估。虽然该研究无法验证游泳训练的其他方面,但是该新颖、非传统的训练可能同样适应于优秀游泳运动员以及更多普通的运动员。

参考文献:

[1] Chollet D, Pelayo P, Delaplace C, et al. Stroking characteristic variations in the 100-M freestyle for male swimmers of different skill[J]. *Perceptual Motor Skills*, 1997, 85(1):167-177.

[2] 仲宇. 不同水平女子运动员50m自由泳途中游速度和划频、划幅变化的研究[J]. *西安体育学院学报*, 2006, 23(3):95-96.

[3] Toussaint H M, Hollander A P. Energetics of competitive swimming. Implications for training programs[J]. *Sports Med*, 1994, 18(6):384-405.

[4] Capelli C, Pendergast D R, Termin B. Energetics of swimming at maximal speeds in humans[J]. *Europ J Appl Physiol Occ Physiol*, 1998, 78(5):385-393.

[5] 卜建华. 赛前减量训练的应用研究进展[J]. *武汉体育学院学报*, 2013, 47(9):73-77.

[6] Hooper S L, Mackinnon L T, Howard A. Physiological and psychometric variables for monitoring recovery during tapering for major competition[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 1999, 31(8):1205-1210.

[7] Mujika I, Busso T, Lacoste L, et al. Modeled responses to training taper in competitive swimming[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 1996, 28(2):251-258.

[8] Kame V D, Pendergast D R, Termin B. Physiological responses to high intensity training in competitive university swimmers[J]. *J Swim Res*, 1990, 6(4):5-8.

[9] 邱俊, 赵德峰, 王金昊. 水槽中3种间接代谢测试方法对自由泳能量消耗测试的准确性研究[J]. *中国体育科技*, 2014, 50(2):26-27.

[10] Di Prampero P E, Pendergast D, Wilson D, et al. Blood lactic acid concentrations in high velocity swimming [M]//Eriksson B, Furberg B. *Swimming Medicine IV*. Baltimore: Univ Park Press, 1978.

[11] Mujika I, Padilla S, Geyssant A, et al. Hematological responses to training and taper in competitive swimmers: relationships with performance[J]. *Arch Physiol Biochem*, 1998, 105(4):379-385.

[13] Stewart A M, Hopkins W G. Swimmers' compliance with training prescription[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 1997, 29(10):1389-1392.

[12] 韦内灵, 殷玲玲. 第27届奥运会优秀女子短距离自由泳运动员的技、战术分析[J]. *中国体育科技*, 2002, 38(2):46-47.

[14] 沈艳梅. 浙江省优秀游泳运动员有氧耐力测试与应用[J]. *山东体育科技*, 2014, 36(3):63-64.

[15] Wakayoshi K, D'Acquisto L J, Cappaert J M, et al. Relationship between oxygen consumption, stroke rate, and swimming velocity in competitive swimming[J]. *Int J Sports Med*, 1995, 16(1):19-23.

[16] Craig A B Jr, Pendergast D R. Relationship of stroke rate, distance per stroke and velocity in competitive swimming[J]. *Med Sci Sports*, 1979, 11(3):278-283.

[17] Costill D L, Kowaleski J, Porter D, et al. Energy expenditure during front crawl swimming: predicted suc-

- cess in middle-distance events[J]. *Intl J Sports Med*, 1985, 6(5):266-270.
- [18] Kirwan J P, Costill D L, Flynn M G, et al. Physiological responses to successive days of intensified training in competitive swimmers[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 1988, 20(3):255-259.
- [19] Neuffer P D, Costill D L, Fielding R A, et al. Effect of reduced training on muscular strength and endurance in competitive swimmers [J]. *Med Sci Sports Exerc*, 1987, 19(5):486-490.
- [20] Costill D L, Flynn M G, Kirwan J P, et al. Effects of repeated days of intensified training on muscle glycogen and swimming performance[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 1988, 20(3):249-254.
- [21] 阮恩茜. 高水平大学生游泳运动员赛前训练代谢能力监测的分析[J]. *沈阳体育学院学报*, 2005, 24(5):55-58.
- [22] Mujika I, Chatard J C, Busso T, et al. Effects of training on performance in competitive swimming[J]. *Can J Appl Physiol*, 1995, 20(4):395-406.

Research on the Effect of Stroke Frequency-Speed Relationship Combined with Biomechanics and Metabolism on Freestyle Swimming Training

WANG Zhi-jun¹, PAN Li-ping², ZHOU Zheng-rong³, LU-qing¹, JI Zhi-xiang³

(1. Teaching and Research Center of Physical Training, Department of Sports Training, Nanjing Institute of Physical Education, Nanjing 210046, China; 2. Hospital of Physical Exercise Rehabilitation, Nanjing Institute of Physical Education, Nanjing 210014, China; 3. Jiangsu Provincial Swimming Team, Nanjing 210014, China)

Abstract: Using literature review, mathematical statistics and test method, this study observes the competition performance after training of high frequency and fast stroke of ten short-distance swimming athletes above first grade sportsman, and keeps track of their competition performances in 100-meter and 200-meters freestyle swimming. The results shows that their performances have increased by 9% and 7.1% respectively. In the group of high frequency and fast stroke which has got a better performance, energy consumption has reduced by 20%, and this is linked with the changes in the relationship of stroke frequency and speed. This study suggests that the training plan of high frequency and fast stroke based on stroke frequency-speed relationship can improve the energy metabolic level of free swimming athletes, eventually improve the swimming performance without training on land, long distance training and training reduction before competition.

Key words: stroke frequency-speed relationship; freestyle swimming; oxygen consumption; lactic acid; swimming performance