

**ПОКАЗАТЕЛИ ГИДРОДИНАМИКИ
И СТЕПЕНЬ ИХ ВЗАИМОСВЯЗИ СО СПОРТИВНЫМ РЕЗУЛЬТАТОМ
У ПЛОВЦОВ РАЗЛИЧНЫХ КВАЛИФИКАЦИОННЫХ ГРУПП,
СПЕЦИАЛИЗИРУЮЩИХСЯ В РАЗНЫХ СПОСОБАХ ПЛАВАНИЯ**

**И.Н. СОЛОПОВ, В.Б. АВДИЕНКО,
Т.Г. ФОМИЧЕНКО, А.И. СОЛОПОВ,
ФГБУ ФНЦ ВНИИФК, г. Москва**

Аннотация

В статье представлены результаты исследования уровня основных показателей гидродинамики у пловцов обоего пола разного уровня подготовленности, специализирующихся в разных способах плавания (209 мужчин и 196 женщин). Спортсмены условно разделены на две квалификационные группы (1-я группа – спортивный результат в диапазоне от 500 до 700 очков, 2-я группа – спортивный результат выше 700 очков по таблице WA). Установлены различия показателей гидродинамики у пловцов обоего пола, обусловленные особенностями способа плавания, что определяет необходимость дифференциации этих показателей при оценке подготовленности пловцов. Разработан показатель КСМ (коэффициент соотношения «сопротивление – мощность»), который представляет собой сумму двух характеристик: $F_{r(a.d)}$ (активного гидродинамического сопротивления) и мощности при плавании P_{t_0} (тотальной внешней механической мощности). КСМ рассматривается как интегративный показатель оптимальности и эффективности соотношения уровня мощности движителей пловца и гидродинамического сопротивления при плавании. Определена степень взаимосвязи между параметрами гидродинамики и спортивной результативности. Установлено, что в большинстве случаев показатель КСМ более тесно связан со спортивным результатом, чем показатель собственно мощности и показатель гидродинамического сопротивления при плавании. Предлагается для комплексной оценки подготовленности пловцов использовать показатели активного гидродинамического сопротивления и внешней механической мощности (для дифференцированной оценки параметров гидродинамики пловцов), а для интегративной оценки соотношения этих двух противоположно действующих сил – показатель КСМ.

Ключевые слова: пловцы, гидродинамика, спортивный результат, уровень квалификации, способ плавания, интегративная оценка.

**INDICATORS OF HYDRODYNAMICS
AND THE DEGREE OF THEIR INTERRELATION WITH SPORTS RESULTS
IN SWIMMERS OF VARIOUS QUALIFICATION GROUPS,
SPECIALIZING IN DIFFERENT WAYS OF SWIMMING**

**I.N. SOLOPOV, V.B. AVDIENKO,
T.G. FOMICHENKO, A.I. SOLOPOV,
VNIIFK, Moscow city**

Abstract

The article presents the results of a study of the level of the main indicators of hydrodynamics in swimmers of both sexes of different levels of qualifications, specializing in different swimming style (209 men and 196 women). Athletes are conditionally divided into two qualification groups (the first group is a sports result in the range from 500 to 700 points, the second group is a sports result above 700 points according to the WA table). The differences of hydrodynamic parameters in swimmers of both sexes are determined due to the peculiarities of the swimming style, which determines the need to differentiate these indicators when assessing the preparedness of swimmers. The KSM indicator (coefficient of resistance-power ratio) has been developed, which is the sum of two characteristics: $F_{r(a.d)}$ (active hydrodynamic resistance) and swimming power P_{t_0} (total external mechanical power). KSM is considered as an integrative indicator of the optimality



and efficiency of the ratio of the power level of the swimmer's movers and hydrodynamic resistance during swimming. The degree of interdependence between the parameters of hydrodynamics and sports performance was determined. It has been discovered that in most cases the RPR indicator is more closely related to the sports result than to the actual power indicator and the indicator of hydrodynamic resistance during swimming. It is proposed to use indicators for a comprehensive estimation of the readiness of swimmers active hydrodynamic resistance and external mechanical power (for a differentiated assessment of the parameters of the hydrodynamics of swimmers), and for an integrative assessment of the ratio of these two oppositely acting forces, the RPR indicator (efficiency factor of the drag-power ratio).

Keywords: swimmers, hydrodynamics, sports result, skill level, swimming style, integrative evaluation.

Введение

В последние несколько десятилетий особое внимание стало уделяться определению и контролю параметров гидродинамики у пловцов [1, 2, 3]. Показатели гидродинамики являются индикаторами специальной физической и технической подготовленности и отражают эффективность трансформации метаболической энергии в скорость плавания, что рассматривается как важнейший компонент специальной физической и функциональной подготовленности пловца [4, 5].

Одной из методологических основ эффективной тренировки пловцов является планомерное наращивание мощности двигателей и параллельное снижение активного гидродинамического сопротивления. Осуществление этого подхода может быть обеспечено только при сбалансированном увеличении мощности, одновременном уменьшении сопротивления во время плавания. Это вполне осуществимо на том основании, что скорость плавания может увеличиваться не при максимальных, а при оптимальных величинах усилий пловца. Достижение большей скорости плавания возможно именно при оптимальных параметрах величины прикладываемого усилия и траекторий движения, что закономерно приводит к значительному уменьшению гидродинамического сопротивления. В этой связи определение параметров гидродинамики рассматривается как важнейшая часть комплексного контроля подготовленности пловцов [5].

Цель исследования – определение характеристик основных показателей гидродинамики у пловцов обоего пола разного уровня подготовленности, специализирующихся в разных способах плавания, и степени взаимосвязи между параметрами гидродинамики и спортивной результативностью.

Методы исследования

Экспериментальные исследования были выполнены с участием спортсменов-пловцов обоего пола, специализирующихся в разных способах плавания (209 мужчин и 196 женщин), условно разделенных на две квалификационные группы. Первую группу составили спортсмены, спортивный результат которых находился в диапазоне от 500 до 700 очков по таблице WA, вторая группа – пловцы, демонстрирующие спортивный результат выше 700 очков.

Определение показателей гидродинамики при плавании осуществлялось на максимальной скорости био-

гидродинамическим методом при помощи прикладной компьютерной программы "SwimDrag". Для анализа использовались показатели активного гидродинамического сопротивления ($F_{r(a.d.)}$) и тотальной внешней механической мощности (Pt_o) [6].

Спортивный результат всех обследованных пловцов оценивался по таблице очков WA. Учитывался наилучший результат на момент обследования.

Результаты исследований

В настоящее время объектом пристального внимания специалистов и тренеров по плаванию являются прежде всего два показателя гидродинамики пловцов – Pt_o (тотальная внешняя механическая мощность) и $F_{r(a.d.)}$ (активное гидродинамическое сопротивление) [1, 7]. Оценка индивидуального гидродинамического статуса пловца осуществляется путем сопоставления и характеристики изменения этих двух параметров. Это достаточно громоздкая процедура, так как необходимо одновременно учитывать разнонаправленные изменения данных параметров, и эту динамику сложно градуировать. С целью нивелирования такой проблемы возникла необходимость разработки интегративного показателя, который учитывал бы изменения обоих этих параметров.

Ввиду изложенного, нами был разработан показатель, интегративно отражающий соотношение сопротивления и мощности при плавании (КСМ – коэффициент соотношения «сопротивление – мощность»), который представляет собой сумму двух параметров: Pt_o и $F_{r(a.d.)}$. КСМ можно рассматривать как показатель оптимальности и эффективности соотношения уровня мощности двигателей пловца и гидродинамического сопротивления при плавании.

Так как эти показатели имеют различную размерность и разную направленность влияния на скорость плавания, при помощи шкалы выбранных точек производилась их предварительная нормализация, чтобы их можно было сравнивать и равнозначно оценивать. При этом величина $F_{r(a.d.)}$ в расчетах использовалась в виде обратного значения, а величина Pt_o удваивалась ввиду первичности значения этого параметра для скорости плавания.

В конечном виде показатель КСМ рассчитывается по формуле:

$$КСМ = [1 - (C / 180)] + [(M / 280) \times 2],$$

где: C – величина активного гидродинамического сопротивления $F_{r(a.d.)}$;



M – величина тотальной внешней механической мощности Pt_o .

Таким образом, если активное гидродинамическое сопротивление при плавании уменьшается, растет скорость плавания, показатель КСМ увеличивается. В случае если увеличивается мощность, скорость также возрастает, увеличивается и показатель КСМ. Естественно, что в случае одновременного снижения сопротивления

и увеличения мощности, увеличивается и показатель КСМ.

В качестве ориентиров при оценке результатов гидродинамического тестирования можно использовать средние величины этих параметров, которые были получены при обследовании пловцов – мужчин и женщин в условно выделенных квалификационных группах, специализирующихся в разных способах плавания (табл. 1 и 2).

Таблица 1

**Средние значения показателей гидродинамики
у пловцов-мужчин разных квалификационных групп,
специализирующихся в различных способах плавания ($X \pm m$)**

Квалификационная группа	Показатель	Способ плавания и дистанционная специализация				
		брасс	баттерфляй	на спине	кроль на груди – спринтер	кроль на груди – средневик и стайер
500–700 очков WA	$F_{r(a.d.)}$ (Н)	(n = 8) 60,1 ± 5,5	(n = 15) 66,7 ± 4,3	(n = 29) 83,5 ± 8,0	(n = 24) 71,5 ± 6,4	(n = 23) 62,6 ± 4,5
	Pt_o (Вт)	81,5 ± 7,5	107,4 ± 7,5	131,5 ± 12,2	118,2 ± 10,7	104,4 ± 8,3
	КСМ (y.e.)	1,248 ± 0,025	1,397 ± 0,031	1,476 ± 0,044	1,447 ± 0,042	1,398 ± 0,035
Более 700 очков WA	$F_{r(a.d.)}$ (Н)	(n = 13) 85,8 ± 9,0	(n = 8) 107,9 ± 10,1	(n = 9) 114,8 ± 15,0	(n = 9) 99,7 ± 13,3	(n = 11) 81,1 ± 4,5
	Pt_o (Вт)	126,2 ± 12,4	187,4 ± 17,5	192,8 ± 25,4	185,5 ± 25,8	143,6 ± 8,6
	КСМ (y.e.)	1,425 ± 0,041	1,739 ± 0,073	1,740 ± 0,098	1,771 ± 0,112	1,575 ± 0,038

Из представленных данных видно, что все показатели гидродинамики у пловцов разных квалификационных групп и разных способов плавания в той или иной мере имеют отличия. Это вполне объяснимо и находит подтверждение в результатах иных исследований, где отмечается, что дифференциация пловцов по способам плавания обусловлена в силу того, что показатели гидродинамики, например, лобовая компонента силы активного гидродинамического сопротивления напрямую зависит именно от способа плавания [5, 8, 9, 10, 11, 12].

С целью определения информативности показателей гидродинамики для оценки специальной физической и функциональной подготовленности пловцов была установлена степень их взаимосвязи со спортивной результативностью у представителей разных квалификационных групп и специализирующихся в разных способах плавания.

Таблица 2

**Средние значения показателей гидродинамики
у пловцов-женщин разных квалификационных групп,
специализирующихся в различных способах плавания ($X \pm m$)**

Квалификационная группа	Показатель	Способ плавания и дистанционная специализация				
		брасс	баттерфляй	на спине	кроль на груди – спринтер	кроль на груди – средневик и стайер
500–700 очков WA	$F_{r(a.d.)}$ (Н)	(n = 22) 58,6 ± 5,6	(n = 12) 51,5 ± 4,9	(n = 18) 50,8 ± 2,9	(n = 25) 45,3 ± 2,2	(n = 20) 47,4 ± 2,9
	Pt_o (Вт)	70,7 ± 7,1	74,6 ± 8,5	71,9 ± 4,5	71,2 ± 3,7	69,6 ± 4,6
	КСМ (y.e.)	1,179 ± 0,020	1,247 ± 0,034	1,231 ± 0,017	1,257 ± 0,015	1,234 ± 0,017
Более 700 очков WA	$F_{r(a.d.)}$ (Н)	(n = 17) 72,6 ± 4,7	(n = 9) 54,2 ± 6,2	(n = 7) 61,4 ± 5,1	(n = 10) 57,0 ± 3,1	(n = 12) 53,6 ± 2,7
	Pt_o (Вт)	99,0 ± 7,1	83,7 ± 10,0	90,3 ± 8,3	95,5 ± 5,5	85,2 ± 4,7
	КСМ (y.e.)	1,304 ± 0,027	1,297 ± 0,037	1,304 ± 0,031	1,366 ± 0,023	1,311 ± 0,019



Коэффициенты корреляции между анализируемыми показателями гидродинамики и спортивным результатом у спортсменов и спортсменок разных квалификационных групп, специализирующихся в разных способах плавания, представлены в табл. 3 и 4.

Сравнительный анализ корреляционной взаимосвязи показателей мощности (Pt_o) и КСМ с уровнем спортивной результативности показал, что в большинстве случаев показатель эффективности соотношения мощности пловца и его гидродинамического сопротивления при плавании более тесно связан со спортивным результатом, чем показатель собственно мощности и по-

казатель гидродинамического сопротивления при плавании.

Приведенные данные свидетельствуют, что три показателя гидродинамики – активное гидродинамическое сопротивление, величина внешней механической работы и коэффициент соотношения сопротивления и мощности – имеют весьма существенные и достоверные взаимосвязи со спортивным результатом. Следует отметить, что из всех показателей гидродинамики, существенно взаимосвязанных со спортивным результатом, наибольшие значения коэффициентов корреляции в большинстве групп имеет показатель КСМ.

Таблица 3

Коэффициенты корреляции показателей гидродинамики с уровнем (величиной) спортивного результата у пловцов-мужчин разных квалификационных групп, специализирующихся в различных способах плавания

Квалификационная группа	Показатель	Способ плавания и дистанционная специализация				
		брасс	баттерфляй	на спине	кроль на груди – спринтер	кроль на груди – средневик и стайер
500–700 очков WA	$F_r(a.d.)$ (Н)	(n = 8) 0,737*	(n = 15) 0,633*	(n = 29) 0,610**	(n = 24) 0,609**	(n = 23) 0,849**
	Pt_o (Вт)	0,799*	0,714**	0,674**	0,694**	0,872**
	КСМ (y.e.)	0,816*	0,760**	0,728**	0,749**	0,883**
Более 700 очков WA	$F_r(a.d.)$ (Н)	(n = 13) 0,769**	(n = 8) 0,342	(n = 9) 0,652	(n = 9) 0,526	(n = 11) 0,606*
	Pt_o (Вт)	0,832**	0,509	0,686*	0,622	0,685*
	КСМ (y.e.)	0,867**	0,607	0,712*	0,676*	0,715*

Примечание для табл. 3 и 4: достоверность взаимосвязи: * – при $P < 0,05$; ** – при $P < 0,01$.

Таблица 4

Коэффициенты корреляции показателей гидродинамики с уровнем (величиной) спортивного результата у пловцов-женщин разных квалификационных групп, специализирующихся в различных способах плавания

Квалификационная группа	Показатель	Способ плавания и дистанционная специализация				
		брасс	баттерфляй	на спине	кроль на груди – спринтер	кроль на груди – средневик и стайер
500–700 очков WA	$F_r(a.d.)$ (Н)	(n = 22) 0,643**	(n = 12) 0,626*	(n = 18) 0,500*	(n = 25) 0,677**	(n = 20) 0,613**
	Pt_o (Вт)	0,676**	0,684*	0,569*	0,694**	0,639**
	КСМ (y.e.)	0,692**	0,718**	0,609**	0,692**	0,656**
Более 700 очков WA	$F_r(a.d.)$ (Н)	(n = 17) 0,605*	(n = 9) 0,464	(n = 7) 0,813*	(n = 10) 0,437	(n = 12) 0,689*
	Pt_o (Вт)	0,649**	0,482	0,831*	0,613	0,729**
	КСМ (y.e.)	0,651**	0,794	0,834*	0,721*	0,742**

Таким образом, для комплексной оценки гидродинамического статуса пловцов целесообразно использовать все три рассматриваемых показателя. При этом для формирования представления о состоянии отдельных

показателей гидродинамики (дифференцированная оценка) необходимо отдельно оценивать уровень активного гидродинамического сопротивления и внешней механической мощности. Для интегративной оценки



гидродинамического статуса пловца необходимо оценить показатель КСМ, отражающий соотношение активного гидродинамического сопротивления при плавании и внешней механической мощности движителей пловца.

Выводы

1. Результаты экспериментального исследования дают основания для использования основных показателей гидродинамики для «качественной» оценки специальной физической и функциональной подготовленности пловцов.

2. Для дифференцированной оценки основных компонентов гидродинамического статуса пловцов целесообразно использовать показатели активного гидродинамического сопротивления и внешней механической мощности. Для интегративной оценки гидродинамического статуса пловцов целесообразно использовать показатель КСМ.

3. Различия в уровне показателей гидродинамики у пловцов обоего пола, обусловленные особенностями способа плавания, определяют необходимость дифференциации этих показателей при оценке подготовленности пловцов.

*Результаты получены в рамках государственного задания
на выполнение научно-исследовательской работы
ФГБУ ФНЦ ВНИИФК*

Литература

1. Авдиенко, В.Б., Солопов, И.Н. Искусство тренировки пловца. Книга тренера. – М.: Издательство ИТРК, 2019. – 320 с.
2. Hydrodynamic characteristics of competitive swimmers of different genders and performance levels / S. Kolmogorov, O. Romyantseva, B. Gordon, J. Cappaert // *Journal of Applied Biomechanics*. – 1997. – Vol. 13. – Pp. 88–97.
3. Платонов, В.Н. Спортивное плавание: Путь к успеху: Кн. 2. – М.: Советский спорт, 2012. – 544 с.
4. Колмогоров, С.В., Чиков, А.Е. Трансформация метаболической энергии в механическую мощность в условиях наземных и водных локомоций человека // *Вестник Поморского университета*. – 2003. – № 2 (4). – С. 18–25.
5. Колмогоров, С.В., Волкер, Д., Манжуло, И.А. Эффективность трансформации метаболической и механической энергии элитными пловцами в различных зонах энергетического обеспечения // *Вестник Поморского университета. Серия «Естественные и точные науки»*. – 2008. – № 1. – С. 18–23.
6. International survey of training load monitoring practices in competitive swimming: How, what and why not? / B. Lorna, M. Lyons, K. McCreesh et al. // *Physical Therapy in Sport*. – Vol. 53, January 2022, pp. 51–59.
7. Взаимосвязь функциональной и технической подготовленности элитных пловцов в заключительном большом тренировочном цикле / С.В. Колмогоров, Г.Г. Турецкий, А.Ф. Красиков и др. // *Теория и практика физической культуры*. – 1994. – № 1–2. – С. 32–39.
8. Active drag related to velocity in male and female swimmers / H.M. Toussaint, G.de Groot, H.C.M. Savelberg, K. Vervoorn, A.P. Hollander // *J. Biomechanics*. – 1988. – Vol. 21. – Pp. 435–438.
9. Takagi, H.A., Shimizu, Y., Kodan, N. Hydrodynamic Study of Active Drag in Swimming // *JSME International Journal Series B*. – 1998. – Vol. 42. – No. 2. – Pp. 171–177.
10. Technology for decreasing active drag at maximal swimming velocity / S. Kolmogorov, S. Lyapin, O. Romyantseva, J.P. Vilas-Boas // *Application of Biomechanical Study in Swimming, Proceedings of XVIII International Symposium on Biomechanics in Sports – Applied Program / Editors: R. Sanders and Y. Hong. – The Chinese University Press, Hong Kong, China, 2000, pp. 39–47.*
11. Mechanical and Propulsive Efficiency of Swimmers in Different Zones of Energy Supply / S.V. Kolmogorov, A.R. Vorontsov, O.A. Romyantseva, A.B. Kochergin // *Biomechanics and Medicine in Swimming XI. Proceedings of the XIth International Symposium for Biomechanics and Medicine in Swimming, Oslo, 16th–19th June 2010 / Per-Ludvic Kjendlie, Robert Keig Stallman and Jan Cabri (Eds). – Published by Norwegian School of Sport Science, Oslo, 2010. – Pp. 110–112.*
12. Колмогоров, С.В., Воронцов, А.Р., Румянцева, О.А. Взаимосвязь функциональной, силовой и технической подготовленности элитных пловцов на дистанции 200 метров в большом тренировочном цикле // *Человек. Спорт. Медицина*. – 2022. – Т. 22. – № 3. – С. 102–111.

References

1. Avdienko, V.B. and Solopov, I.N. (2019), *The art of training a swimmer. Coach's book*, Moscow, Izdatel'stvo ITRK, 320 p.
2. Kolmogorov, S., Romyantseva, O., Gordon, B. and Cappaert, J. (1997), Hydrodynamic characteristics of competitive swimmers of different genders and performance levels, *Journal of Applied Biomechanics*, vol. 13, pp. 88–97.
3. Platonov, V.N. (2012), *Sports swimming: The path to success: Book. 2*, Moscow, Sovetskiy sport, 544 p.
4. Kolmogorov, S.V. and Chikov, A.E. (2003), Transformation of metabolic energy into mechanical power in the conditions of land and water human locomotion, *Vestnik Pomorskogo universiteta*, no. 2 (4), pp. 18–25.
5. Kolmogorov, S.V., Volker, D. and Manzhulo, I.A. (2008), The efficiency of metabolic and mechanical transformation of energy by elite swimmers in various energy supply zones, *Vestnik Pomorskogo universiteta. Seriya Estestvennye i tochnye nauki*, no. 1, pp.18–23.



6. Lorna, B., Lyons, M., Mccreesh, K., et al. (2022), International survey of training load monitoring practices in competitive swimming: How, what and why not? *Physical Therapy in Sport*, vol. 53, January, pp. 51–59.
7. Kolmogorov, S.V., Tureckiy, G.G., Krasikov, A.F. et al. (1994), The correlation between functional and technical preparedness of elite swimmers in the final big training cycle, *Teoriya i praktika fizicheskoy kul'tury*, no. 1–2, pp. 32–39.
8. Toussaint, H.M., de Groot, G., Savelberg, H.C.M., Vervoorn, K. and Hollander, A.P. (1988), Active drag related to velocity in male and female swimmers, *J. Biomechanics*, vol. 21, pp. 435–438.
9. Takagi, H.A., Shimizu, Y. and Kodan, N. (1999), Hydrodynamic Study of Active Drag in Swimming, *JSME International Journal Series B*, vol. 42, no. 2, pp. 171–177.
10. Kolmogorov, S., Lyapin, S., Rummyantseva, O. and Vilas-Boas, J.P. (2000), Technology for decreasing active drag at maximal swimming velocity, in: *Application of Biomechanical Study in Swimming, Proceedings of XVIII International Symposium on Biomechanics in Sports – Applied Program*. Editors: R. Sanders and Y. Hong, The Chinese University Press, Hong Kong, China, pp. 39–47.
11. Kolmogorov, S.V., Vorontsov, A.R. Rummyantseva, O.A. and Kochergin A.B. (2010), Mechanical and Propulsive Efficiency of Swimmers in Different Zones of Energy Supply, In: *Biomechanics and Medicine in Swimming XI. Proceedings of the XIth International Symposium for Biomechanics and Medicine in Swimming, Oslo, 16th–19th June 2010, Per-Ludvic Kjendlie, Robert Keig Stallman and Jan Cabri (Eds.)*, Published by Norwegian School of Sport Science, Oslo, pp. 110–112.
12. Kolmogorov, S.V., Vorontsov, A.R. and Rummyantseva, O.A. (2022), The relationship of functional, strength and technical fitness in elite swimmers in the 200-meter events during the training macrocycle, *Chelovek. Sport. Medicina*, vol. 22, no. 3, pp. 102–111.

