

УДК 797.21

DOI 10.5930/1994-4683-2025-125-132

Нататометр – коррекция техники плавания на основе доступной оперативной информации о внутрицикловой скорости

Крылов Андрей Иванович¹, доктор педагогических наук, профессор

Виноградов Евгений Олегович², кандидат педагогических наук

¹*Национальный государственный Университет физической культуры, спорта и здоровья имени П. Ф. Лесгафта, Санкт-Петербург*

²*ГБУ ДО «Дельфин», Санкт-Петербург*

Аннотация. В статье представлена комплексная система аппаратных и аналитических методов оценки технической подготовки пловцов на различных этапах спортивной подготовки. В системе используется собственная программа NATATOMETRY™, которая интегрирована с несколькими демонстрационными устройствами.

Цель исследования – разработка и апробация системы NATATOMETRY™ в рамках поисковых экспериментов с целью обеспечения ценовой доступности и простоты использования технических устройств, входящих в состав системы.

Методы и организация исследования. Применяли спортивно-педагогическое тестирование, интерпретацию собранных данных с использованием специализированного компьютерного программного обеспечения. В исследовании приняли участие четыре пловца – кандидаты в мастера спорта. Они выполняли заплывы, используя четыре способа плавания с различной скоростью.

Результаты исследования и выводы. Полученные результаты продемонстрировали эффективность и надежность разработанной системы. Рекомендуется проведение дальнейших исследований с привлечением большего числа спортсменов и тренеров с целью расширения использования системы и улучшения возможностей обработки данных.

Ключевые слова: плавание, биомеханика спорта, кинематические характеристики, видеозапись, акселерометры.

Natatometer – correction of swimming technique based on available operational information about intracycle speed

Krylov Andrey Ivanovich¹, doctor of pedagogical sciences, professor

Vinogradov Evgeniy Olegovich², candidate of pedagogical sciences

¹*Lesgaft National State University of Physical Education, Sport and Health, St. Petersburg*

²*SBI AE "Dolphin", St. Petersburg*

Abstract. The article presents a comprehensive system of hardware and analytical methods for assessing the technical training of swimmers at various stages of athletic preparation. The system utilizes its proprietary program NATATOMETRY™, which is integrated with several demonstration devices.

The purpose of the study is to develop and test the NATATOMETRY™ system within the framework of exploratory experiments, aiming to ensure the affordability and ease of use of the technical devices included in the system.

Research methods and organization. Sport-pedagogical testing was employed, along with the interpretation of the collected data utilizing specialized computer software. The study involved four swimmers who were candidates for master of sports. They performed swims using four different swimming styles at varying speeds.

Research results and conclusions. The obtained results demonstrated the effectiveness and reliability of the developed system. It is recommended to conduct further research involving a larger number of athletes and coaches to expand the use of the system and enhance data processing capabilities.

Keywords: swimming, sports biomechanics, kinematic characteristics, video recording, accelerometers.

ВВЕДЕНИЕ. Многочисленные авторы, проводившие исследования в области биомеханики спортивного плавания, отмечают, что сложные условия водной среды требуют использования в бассейнах специальных приборов и оборудования. Более того, получение нужных данных, их обработка и интерпретация требуют значительных затрат труда и времени [1, 2]. Моделирование плавания в лабораторных

условиях может снизить эти затраты, однако негативно влияет на возможность перенесения результатов исследований на соревновательную деятельность [3, 4]. Развитие средств видеорегистрации и машинного зрения в значительной степени расширили возможности кинематического анализа соревновательного плавания. Особенно результативно это проявилось при использовании научной аппаратуры в сочетании с возможностями телетрансляции крупнейших международных соревнований по плаванию [5].

Известно, что пловец, как и любой другой человек, сам управляет своими двигательными действиями, используя возможности своего организма на основе внешней и внутренней информации. Умение тонко дифференцировать временные, пространственные и силовые параметры, представляющие количественные характеристики, является основой точного управления движениями. Можно задать вопрос, насколько информация о движениях пловца в воде, которую предоставляют пловцу ученые или даже тренеры, по своим характеристикам соответствует его собственным представлениям о качестве двигательных действий. При этом А.А. Ухтомский (1952) отмечал, что так называемые «субъективные» показания столь же объективны, как и всякие другие, для того, кто умеет их понимать и расшифровывать, и эта субъективная информация столь же важна и необходима, как и объективные показатели [6].

Одну из интегральных характеристик, которую можно использовать в качестве такой информации, впервые обосновал и получил экспериментальным путем с использованием технического устройства «Натометр» почти сто лет назад Петр Карпович [7]. Действительно, знания о том, какие кинематические изменения техники плавания ускоряют продвижение пловца, а какие замедляют, сокращая фазы торможения и продлевая пропульсивные фазы, наиболее доступны и понятны спортсменам и тренерам. Достигать этих целей можно как путём уменьшения лобового сопротивления (сохранение обтекаемого положения тела), так и за счёт увеличения продвигающих сил. Эта переменная получила название внутрициклового скорости (ВЦС) плавания. С тех пор обобщению и конкретизации этих знаний были посвящены многочисленные публикации [8]. К сожалению, применить эти знания на практике, то есть преобразовать данные исследований в спортивный результат, тренеры и пловцы пока в полной мере не смогли. Как минимум, две фундаментальные проблемы стояли и до сих пор стоят на пути практического применения этих знаний. Во-первых, трудоёмкость сбора и обработки данных приводит к значительной (на сутки и более) временной задержке между проплывом и шансом для пловца просмотреть и проанализировать данные о распределении скорости в этом проплыве. Вследствие значительной временной задержки эффективность такой обратной связи крайне низка с точки зрения совершенствования навыка. Во-вторых, проблемой является высокая стоимость и зачастую уникальность используемой лабораторной аппаратуры и методов получения и обработки данных. В результате, пловец и тренер не имеют возможности на практике оценить, как влияют на оптимальность распределения скорости различные варианты техники плавания. Накопленные учёными и исследователями знания остаются достоянием академической науки и не применяются на практике.

В ходе исследований была разработана система НАТАТОМЕТР, позволяющая в условиях повседневных тренировок пловцам и тренерам получать данные и анализировать распределение внутрицикловой скорости. НАТАТОМЕТР состоит из широко доступных и сравнительно недорогих смартфонов, видеокамер и оригинального программного обеспечения. В условиях повседневных тренировок НАТАТОМЕТР позволяет пловцу многократно опробовать различные варианты техники плавания. Немедленно по завершении проплыва НАТАТОМЕТР предъявляет пловцу видеозапись с наложенным на видео графиком скорости или (по выбору) ускорений. Просмотр этой видеозаписи в замедленном или покадровом режиме позволяет пловцу наглядно оценить, насколько удачной оказалась его попытка избежать или сократить фазы торможения и продлить или увеличить фазы ускорения. Эта оперативная и объективная обратная связь существенно облегчает и ускоряет процесс совершенствования техники плавания.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Аппаратные методы:

1. Две цифровые видеокамеры: «OLYMPUS – TG-3»; матрица 16 Мп 1/2.3 BSI-CMOS, зум 25-100 mm (4x) F2.0-4.9, 5 кадров в секунду, 1920 x 1080 разрешение видео, погружение под воду на глубину до 15 м (рис. 1).



Рисунок 1 – Видеокамера, используемая в исследовании

2. Два смартфона «SAMSUNG Galaxy S9 64GB» с установленными производителем опциями (рис. 2).

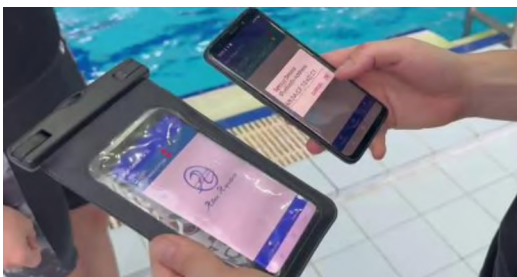


Рисунок 2 – Смартфоны, используемые в исследовании

Смартфон-сенсор собирает с частотой 200 Hz информацию о мгновенных ускорениях пловца. Тренер или ассистент при помощи смартфона-видео производит видеосъемку проплыва.

Непосредственно по завершении проплыва данные со смартфона-сенсора передаются посредством Bluetooth на смартфон-видео либо планшет-видео и изображаются в виде графика ускорения/скорости, наложенного непосредственно на видео, для демонстрации пловцу сразу после окончания проплыва.

3. На пояс, который крепится на пояснице пловца, размещаются подводные светодиодные маркеры для повышения точности локализации пловца на подводных видео, получаемых с помощью видеокамер для NATATOMETRY1. На том же поясе крепится смартфон-сенсор в водонепроницаемом чехле, регистрирующий данные для NATATOMETRY2 (рис. 3).

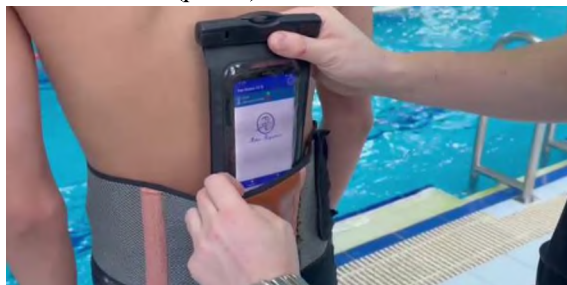


Рисунок 3 – Пояс со световыми маркерами для видеосъемки и смарт-сенсор в водонепроницаемом чехле

Несмотря на то, что смартфоны «SAMSUNG Galaxy S9 64GB», согласно изготовителю, водонепроницаемы до глубины 1 м (IP68), для условий высокой скорости плавания и воздействия потоков воды смартфон-сенсор необходимо помещать в чехол, который обеспечивает влагозащиту до глубины 10 м. Такие чехлы доступны в открытой продаже для этого типа смартфонов.

Вычислительные и аналитические методы:

1. Программное обеспечение видеорегистрации и условия ее реализации были ранее представлены в исследованиях динамических и кинематических характеристик плавательного цикла NATATOMETR1 [9, 10, 11].

Использование этой программы позволяет получать информацию о взаимодействии кинематических и динамических характеристик плавательного цикла по 12 параметрам. На скриншоте видеозаписи пловца, плывущего баттерфляем (рис.4), белая кривая линия фиксирует мгновенную скорость пловца в плавательном цикле баттерфляем. Вертикальная зелёная линия в середине кадра указывает на точку на графике скорости плавания (белая линия) в данный момент плавательного цикла.

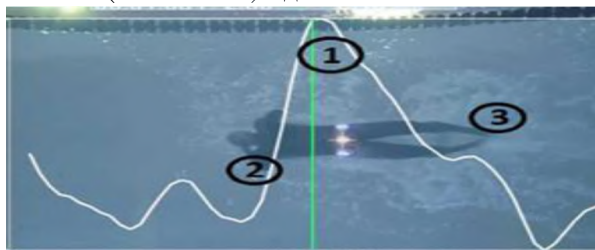


Рисунок 4 – Скриншот кадра проплыва дельфином, когда мгновенная скорость меняет свою направленность (ускорение переходит в замедление)

В качестве примера: в данном проплыве были определены следующие показатели: средняя скорость плавания в цикле – 1.672 м/с; максимальная скорость плавания в цикле – 1.996 м/с; минимальная скорость – 1.460 м/с; «шаг» – 2,19 м; время цикла – 1,27 с; коэффициент добротности $(V_{\max 2}/(V_{\max 2}-V_{\min 2}))$ [12] – 2.150; абсолютная сумма всех ускорений в цикле $|a|$ – 1.396.

С использованием этой методики [13] был разработан внутрицикловой Индекс динамической эффективности техники плавания (ИДЭ) или Index of Dynamic Efficiency (IDE), который определяет уровень взаимодействия двух горизонтальных сил, как правило, не равных по мгновенным значениям и противоположно направленных – продвигающей силы и силы гидродинамического сопротивления в цикле плавательных движений относительно Индекса гребка (SI) (уравнение 1):

$$IDE = \frac{SL}{|a^2|} \times 1000$$

где SI - индекс гребка; $(SI = SL \times V$, где SL - расстояние, преодолеваемое пловцом за один цикл, V - средняя скорость плавания в цикле); $|a|$ - сумма абсолютных значений мгновенных ускорений в течение одного цикла плавания.

Использование абсолютной суммы значений ускорений связано с тем, что величины замедлений в цикле плавания зачастую в большей мере характеризуют эффективность техники, чем ускоряющие или продвигающие фазы гребка.

Применение ИДЭ в анализе техники плавания совместно с системой NATATOMETRY1 позволяет расширить возможности существующих методик в плане: возможности проведения исследований эффективности техники всех способов плавания; проведения исследований на любых плавательных скоростях и в зонах мощности; оценивать эффективность техники плавания в полной координации, различных вариантов сочетаний работы рук, ног и дыхания.

2. Аналитические методы исследования с использованием NATATOMETRY1.

На примере представленного скриншота (рис. 4) можно установить, что изменение направленности ускорений с положительного на отрицательный в точке (1) свидетельствует о том, что баланс сил от продвигающих начал смещается в сторону тормозящих, несмотря на то что пловец выполнил только первую часть гребка (2). По всей видимости, это связано с нарушением координационного взаимодействия работы руками и ногами. На скриншоте видно (3), что удар ногами значительно запаздывает, тем самым увеличивая активное сопротивление.

3. Программное обеспечение NATATOMETRY2 использует стандартные возможности современных смартфонов («SAMSUNG Galaxy S9 64GB»). Акселерометр и гироскоп смартфона-сенсора измеряют мгновенные ускорения и изменение ориентации сенсора в трёх плоскостях. Данные магнитометра смартфона-сенсора позволяют проецировать ускорения сенсора на направление движения пловца. С этой целью программа смартфона-сенсора учитывает азимут дорожек конкретного бассейна (угол, образуемый направлением движения и направлением на север). Угол отклонения смартфона-сенсора в горизонтальной плоскости нивелируется благодаря тому, что программа учитывает также и угол наклона сенсора по отношению к

направлению к центру земли. В результате измеряемые сенсором ускорения не зависят от изменения угла атаки, крена и колебаний тела пловца, а показывают ускорения строго вперёд от точки тела, к которой прикреплён смартфон-сенсор. Специальный пояс позволяет укрепить смартфон-сенсор близко к центру масс тела пловца.

4. Если методика NATATOMETRY1 предназначена в основном для изучения техники плавания, выявления ошибок и определения путей их исправления, то NATATOMETRY2 дополняет эти опции возможностью коррекции этих ошибок непосредственно во время тренировки. По завершении проплыва пловец и тренер имеют возможность просмотреть видео проплыва с наложенным на него графиком мгновенных ускорений и/или скорости (рис. 5). Такое видео предъявляется пловцу непосредственно после окончания проплыва для покадрового или замедленного просмотра.

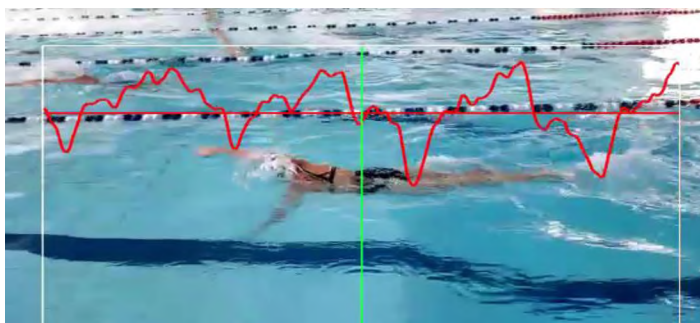


Рисунок 5 – NATATOMETRY2 – пример кадра из записи на смартфон-видео с наложением графика внутрицикловых ускорений нескольких плавательных циклов

При визуальной оценке профиля ускорений (записи кривой мгновенных ускорений, наложенных на видеозапись) спортсмен и тренер могут сразу же после окончания проплыва сравнить эти данные с предыдущими проплывами и на основе этих данных определять, появились ли желаемые изменения в технике плавания, и наметить дальнейшие пути коррекции. Простота использования NATATOMETRY2 позволяет повторять цикл (проплыв - анализ данных - уточнение задачи) многократно в течение одной тренировки.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ. По результатам исследований были определены требования для разработки и совершенствования аппаратных методик с целью коррекции техники плавания:

1. Относительно невысокая стоимость.
2. Использование доступных в продаже современных цифровых гаджетов.
3. Универсальные условия для работы с этими методиками (характеристики чаши бассейна, освещенность, наличие других занимающихся и т.д.).
4. Простота в использовании тренерами для получения данных и их цифровой и аналитической обработки.
5. Использование измеряемых характеристик, максимально приближенных к субъективной оценке пловцов и их ощущениям эффективности своей техники плавания.
6. Приближение получения данных к режиму реального времени, что обеспечивает максимально благоприятные условия коррекции техники.

Точность измерений, достигаемая при использовании методики NATATOMETRY™, превосходит достаточный уровень для практического использования с точки зрения улучшения индивидуальных показателей техники плавания и совершенствования спортивного мастерства даже на современном уровне развития применяемых широко доступных технических устройств.

По мере естественного прогресса точности сенсоров и разрешения видеокамер в устройствах общего назначения точность методики NATATOMETRY™, достаточная для практических целей уже сегодня, будет повышаться.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Таким образом, в ходе работы была реализована задача продемонстрировать новые способы применения комплексного метода коррекции техники плавания на основе видеорегистрации и применения акселерометров для оценки внутрицикловых ускорений и анализа динамики колебаний этого показателя. В дальнейшем авторы намерены расширить результаты предыдущих исследований, используя последние разработки в области измерительных технологий.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Callaway A. J., Cobb J. E., Jones I. A comparison of video and accelerometer based approaches applied to performance monitoring in swimming. DOI 10.1260/1747-9541.4.1.139 // *International Journal of Sports Science and Coaching*. 2009. № 4 (1). P. 139–153.
2. Schechner Y. Y., Karpel N. Clear underwater vision. DOI 10.1109/CVPR.2004.1315078 // *Proceedings of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. 2004. Vol. 1. P. 1536–1543.
3. Comparison of subjective and objective methods of determination of stroke phases to analyse arm coordination in front-crawl / Seifert L., Schnitzler C., Aujouannet Y., Carter M., Rouard A., Chollet D. // *Portuguese Journal of Sport Sciences*. 2006. Vol. 6. P. 92–94.
4. Ohgi Y. Microcomputer-based acceleration sensor device for sports biomechanics-stroke evaluation by using swimmer's wrist acceleration. DOI 10.1109/ICSENS.2002.1037188 // *Proceedings of the 1st IEEE conference on Sensors*. 2002. Vol. 1. P. 699–704.
5. Bächlin M., Förster K., Tröster G. SwimMaster: a wearable assistant for swimmer. DOI 10.1145/1620545.1620578 // *Proceedings of the 11th ACM international conference on Ubiquitous computing*. 2009. P. 215–224.
6. Солопов И. Н. Специфические восприятия при спортивной : монография. Волгоград : Волгоградская гос. акад. физ. культуры, 2007. 184 с. EDN: WAUPWZ.
7. Karpovich P. V. Swimming Speed Analyzed. DOI 10.1038/scientificamerican0330-224 // *Scientific American*. 1930. Vol. 142, N 3, March. P. 224–225.
8. Maglischo Ernest W. A Primer for Swimming Coaches // *Biomechanical Foundations*. 2014. Vol. 2.
9. Крылов А. И., Бутов А. А., Вент Дж. Нататометр – прибор для коррекции стиля плавания на основе определения внутрициклового скорости. DOI 10.5930/issn.1994-4683.2014.07.113.p109-113 // *Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта*. 2014. № 7 (113). С. 109–112. EDN: SJMGZT.
10. Крылов А. И., Бутов А. А., Виноградов Е. А. Внутрицикловая скорость плавания кролем на груди. DOI 10.5930/issn.1994-4683.2016.02.132.p106-110 // *Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта*. 2016. № 2 (132). С. 106–110. EDN: VPNLKT.
11. Крылов А. И., Бутов А. А., Виноградов Е. А. Видеорегистрация, внутрицикловая скорость плавания, метрологический анализ метода NATATOMETRY™ // *Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта*. 2018. № 2 (156). С. 118–122. EDN: YRUSBS.
12. Методика срочного контроля и коррекции техники плавания в соревновательных и тренировочных упражнениях / А. М. Кравцов [и др.]. Москва : ТБТ Дивизион, 2010. 88 с.
13. Виноградов Е. О. Методика коррекции техники плавания кролистов высокой квалификации на основе связанной оценки биомеханических характеристик плавательного цикла : автореф. дис. ... канд. пед. наук : 13.00.04. Санкт-Петербург, 2019. 24 с. EDN: NDNNGM.

REFERENCES

1. Callaway A. J., Cobb J. E., Jones I. (2009), "A comparison of video and accelerometer-based approaches applied to performance monitoring in swimming", *International Journal of Sports Science and Coaching*, 4 (1), pp. 139–153, DOI 10.1260/1747-9541.4.1.139.
2. Schechner Y. Y., Karpel N. (2004), "Clear underwater vision", *Proceedings of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, Vol. 1, pp. 1536–1543, DOI 10.1109/CVPR.2004.1315078.

3. Seifert L., Schnitzler C., Aujouannet Y., Carter M., Rouard A., Chollet D. (2006), "Comparison of subjective and objective methods of determination of stroke phases to analyse arm coordination in front-crawl", *Portuguese Journal of Sport Sciences*, Vol. 6, pp. 92–94.
4. Ohgi Y. (2002), "Microcomputer-based acceleration sensor device for sports biomechanics-stroke evaluation by using swimmer's wrist acceleration", *Proceedings of the 1st IEEE conference on Sensors*, Vol. 1, pp. 699–704, DOI 10.1109/ICSENS.2002.1037188.
5. Bächlin M., Förster K., Tröster G. (2009), "SwimMaster: a wearable assistant for swimmer", *Proceedings of the 11th ACM international conference on Ubiquitous computing*, pp. 215–224, DOI 10.1145/1620545.1620578.
6. Solopov I. N. (2007), "Specific perceptions in sports activities", Monograph, Volgograd, VGAFK, 184 p.
7. Karpovich P. V. (1930), "Swimming Speed Analyzed", *Scientific American*, Vol. 142, No 3, March, pp. 224–225, DOI 10.1038/scientificamerican0330-224.
8. Maglischo Ernest W. (2014), "A Primer for Swimming Coaches", *Biomechanical Foundations*, Vol. 2.
9. Krylov A. I., Butov A. A., Vinogradov E. A. (2018), "Video registration, intra-cycle swimming speed, metrological analysis of the NATATOMETRY™ method", *Uchenye zapiski universiteta imeni P.F. Lesgafta*, No 2 (156), pp. 118–122.
10. Krylov A. I., Boutov A. A., Vinogradov E. A. (2016), "Quality and instantaneous intracycle swimming velocity", *Uchenye zapiski universiteta imeni P.F. Lesgafta*, No. 2, pp. 106–110.
11. Krylov A. I., Boutov A. A., Wendt G. (2014), "Nanatatometr. Real-time velocity data for swimming stroke correction", *Uchenye zapiski universiteta imeni P.F. Lesgafta*, No. 7, pp. 109–112.
12. Kravtsov A. M. [et al.] (2010), "Methods of urgent control and correction of swimming technique in competitive and training exercises", Moscow, TVT Division, 88 p.
13. Vinogradov E. O. (2018), "Methods of correction of swimming technique of highly qualified crawlers based on the related assessment of biomechanical characteristics of the swimming cycle", abstract of dissertation ... Candidate of Pedagogical Sciences, 13.00.04, St. Petersburg, 24 p.

Информация об авторах:

Крылов А.И., профессор кафедры теории и методики плавания, SPIN-код 4750-5030.

Виноградов Е.О., преподаватель, SPIN-код 1212-0062.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 25.04.2025.

Принята к публикации 19.06.2025