

С. О. ГАВРИЛОВА-МАКСИМЧИК^{1,2}

РОЛЬ ГОРМОНАЛЬНОЙ РЕГУЛЯЦИИ В ФОРМИРОВАНИИ ВЫСОКОГО УРОВНЯ СПЕЦИАЛЬНОЙ РАБОТОСПОСОБНОСТИ У ГРЕБЦОВ-АКАДЕМИСТОВ

¹ Государственное научное учреждение «Институт физиологии Национальной академии наук Беларуси», г. Минск, Республика Беларусь

² Государственное учреждение «Республиканский научно-практический центр спорта», г. Минск, Республика Беларусь

В рамках исследования, в котором приняли участие спортсмены-мужчины высокого уровня специальной работоспособности, занимающиеся академической греблей, была проанализирована информативная значимость гормональных показателей в специально-подготовительный период годичной подготовки. В качестве исследуемых гормонов выбраны кортизол, тестостерон, прогестерон, лютеинизирующий гормон (ЛГ), дегидроэпиандростерон-сульфат (ДГЭА-С) и адренокортикотропный гормон (АКТГ). Гормональная активность АКТГ и прогестерона не показала значимых корреляций с уровнями достижения аэробного и анаэробного порогов в период учебно-тренировочного сбора. Отмечено наличие положительных корреляционных связей средней (кортизол, тестостерон) и высокой (ДГЭА-С, ЛГ) силы с исследуемыми параметрами специальной работоспособности. Установлено, что гормональный фон вносит существенный вклад в достижение высоких уровней спортивной подготовки гребцов-академистов. Результаты предполагают использование мероприятий по оптимизации или стабилизации уровня целевых гормонов для улучшения спортивных показателей и специальной физической выносливости.

Ключевые слова: специальная работоспособность, гребцы-академисты, аэробный порог, анаэробный порог, кортизол; тестостерон, прогестерон, адренокортикотропный гормон, лютеинизирующий гормон, дегидроэпиандростерон-сульфат.

Введение. Специальная работоспособность в циклических видах спорта формируется под влиянием множества факторов. К ним относят генетические характеристики, наследуемые особенности сердечно-сосудистой системы и типы мышечных волокон, общее состояние здоровья, режим питания, уровень тренировочных нагрузок, активность во время соревнований и прочие аспекты [1]. Среди эргометрических показателей, влияющих на успех в циклических спортивных дисциплинах, наибольшее значение имеют мощность на аэробном (АП) и анаэробном порогах (АнП), а также максимальная мощность, соответствующая пиковому потреблению кислорода [2]. Поскольку академическая гребля – циклический вид спорта, требующий значительного уровня развития специальной выносливости и скоростно-силовых навыков, то тренировочные нагрузки на выносливость проводят на уровне, не ниже порога анаэробного метаболизма [3]. Уровень мощности во время тестирования со ступенчато-нарастающей нагрузкой отражает АнП, при этом среднее популяционное значение лактата в крови обычно составляет – 4 ммоль/л. Индивидуальные особенности могут иметь значимые отличия от среднего показателя. Только в условиях преимущественного использования анаэробных путей метаболизма для получения энергии, становится возможным достижение пика физической выносливости и мощности [4]. В связи с этим для достижения более точного прогноза результатов соревновательной деятельности необходим учет уровня анаэробных возможностей атлетов [5]. Обнаружение прямых корреляционных связей между уровнями АнП и победой в гребле указывает на практическую значимость поиска маркеров успешной соревновательной реализации [6].

Применение гребного эргометра для тестирования гребцов-академистов не позволяет учитывать инерционное перемещение тела, особенности поддержания равновесия на воде и т.п. [7]. Функциональная активность статокINETической системы обеспечивает интеграцию двигательных, висцеральных и поведенческих реакций организма. Подтверждением служат установленные факты изменения уровня экспрессии рецепторов к значительному количеству гормонов в зависимости от функционального состояния организма [8].

Несмотря на то, что убедительных данных о зависимости уровня регуляции катехоламинов от интенсивности и продолжительности физических нагрузок накоплено достаточно, факты об особенностях изменения уровня стероидов, таких как кортизол, дегидроэпиандростерон-сульфат (ДГЭА-С) и тестостерон, до сих пор противоречивы, не систематизированы, и не были использованы для объективного суждения о взаимосвязи с какими-либо из этапов тренировочного процесса. Особенно это касается ДГЭА-С, количество которого в периферической крови превышает концентрацию всех остальных гормонов, поскольку он является субстратом для их биосинтеза. Интерес к потенциалу ДГЭА-С как средства для улучшения спортивных результатов и качества жизни лиц зрелого возраста в настоящее время возрос. Повышение уровня ДГЭА-С ассоциируют с улучшением концентрации внимания, когнитивных способностей и снижением напряженности эмоционального состояния, поэтому полагают потенциально положительное влияние на исход состязаний в игровых видах спорта [9–10]. Увеличение уровня кортизола и снижение уровня ДГЭА-С свидетельствуют о повышении показателя аллостатической нагрузки – индикатора общего физиологического стресса в процессе адаптации к различным воздействиям на протяжении тренировочного процесса [11].

На основании вышеизложенного предположили, что уровни кортизола и ДГЭА-С, измеренные перед соревнованиями, имеют основание стать биомаркерами, указывающими на высокую вероятность достижения успеха в спортивной деятельности.

Во время аэробной активности, когда возрастает уровень кортизола, реализуется его тормозящее влияние на продукцию тестостерона [12]. Синтез тестостерона регулируется процессами выработки лютеинизирующего гормона (ЛГ) – участника нейроэндокринной регуляции в оси гипоталамус-гипофиз-гонады. Его высвобождение стимулируется гонадотропин-рилизинг-гормоном [13]. После интенсивной физической нагрузки и во время тренировок у бегунов на длинные дистанции уровень ЛГ обычно снижается [14]. При синдроме перетренированности также наблюдают снижение выработки гормонов гипофиза (адренотропного гормона (АКТГ), гормона роста, ЛГ и фолликулостимулирующего гормона) в ответ на стрессовые стимулы [15].

Таким образом, предположили, что как у спортсменов, адаптирующихся к воздействию интенсивных физических нагрузок, так и у лиц с признаками перетренированности, ведущим признаком снижения спортивной эффективности станет изменение координирующих функций гипоталамус-гипофизарной системы. Поскольку единичные научные исследования выполнены либо в экспериментах на биомоделях [16], либо с участием спортсменов из числа добровольцев игровых видов спорта и бегунов [12, 14], то для практического использования в тренировочном процессе изучение роли гормональной регуляции в формировании высокого уровня специальной работоспособности у гребцов-академистов является актуальной задачей.

Цель исследования – изучить информативную значимость уровней ДГЭА-С, АКТГ, ЛГ, кортизола, тестостерона и прогестерона периферической крови гребцов-академистов мужского пола высокого уровня специальной работоспособности.

Материалы и методы исследования. В эксперименте участвовали 26 спортсменов-мужчин добровольцев сборной команды Республики Беларуси по академической гребле среди молодёжи, обладающих квалификациями кандидата в мастера спорта или мастера спорта. Всем участникам заранее объяснили условия проведения эксперимента, и они

оформили информированное согласие. Исследования проводили с соблюдением требуемых этических норм.

В специально-подготовительный период годичной подготовки проводили забор капиллярной крови для определения концентрации гормонов, в одно и тоже время утром непосредственно перед началом тестирования.

В ходе учебно-тренировочного сбора для определения уровня специальной работоспособности спортсменов в разных зонах энергообеспечения анализировали уровни АП и АП на тренажерах «Concept II». Применяли ступенчатый тест с увеличивающейся нагрузкой, который состоял из шести ступеней по четыре минуты с одномоментным отдыхом между этапами. На каждой последующей ступени нагрузку увеличивали на 30 Вт.

Были определены уровни следующих гормонов:

- кортизол (ДС-ИФА-Стероид-Кортизол №ЕН-151, «Диагностические системы», РФ);
- тестостерон («Тестостерон-ИФА» № K209, «ХЕМА», РФ);
- прогестерон («Прогестерон-ИФА» № K207, «ХЕМА», РФ);
- АКТГ («АКТГ человека» № ЕН1067, FineTest, Китай);
- ЛГ («ЛГ-ИФА» № K202, «ХЕМА», РФ);
- ДГЭА-С («ДГЭА-С-ИФА» № K215, «ХЕМА», РФ).

Определение уровней гормонов в периферической крови осуществляли в лаборатории биохимии ГУ «РНПЦ спорта» на микропланшетном фотометре HiPo MPP 96 (Латвия). Для сопоставления со средне-популяционными значениями использовали диапазон норм, указанных в диагностических наборах.

Статистическую обработку и анализ данных выполнили в Statistica 10.0. Для изучения силы связей провели корреляционный анализ по Спирмену, в котором коэффициенты корреляции меньше 0,25 указывали на слабую, от 0,25 до 0,74 – на умеренную, а 0,75 и выше – на сильную связи. В данном исследовании критический уровень значимости для проверки статистических гипотез установили на уровне $p < 0,05$.

Результаты и их обсуждение. В ходе проведения исследования была проведена оценка специальной работоспособности гребцов-академистов высокой спортивной квалификации на основании анализа взаимосвязи между мощностью нагрузки (Вт) на уровне АП и АП и сопоставлена с содержанием исследуемых гормонов в сыворотке периферической крови спортсменов.

В специально-подготовительном периоде интенсивный тренировочный процесс направлен на адаптацию к последующему этапу годичного цикла тренировок – учебно-тренировочный сбор. Во время сбора проводится отбор кандидатов для участия в соревнованиях. В наших исследованиях обратили внимание только на спортсменов высокой спортивной квалификации, поскольку они имели не только опыт участия, но и побед в соревнованиях. У этих спортсменов до проведения анализа специальной работоспособности изучали уровни гормонов. За 60 минут до тестирования на велотренажере у представителей сформированной нами группы из 26 участников забирали капиллярную кровь. В таблице 1 приведены средние значения определяемых показателей, поскольку полученные данные имели нормальное распределение, то они представлены в виде $M \pm SD$.

Интервалы уровней прогестерона, ЛГ, ДГЭА-С и АКТГ не выходили за пределы референсного диапазона нормативов используемых тест-наборов (таблица 1).

Таблица 1. Уровни гормонов в периферической крови (определяемые параметры) гребцов-академистов мужского пола высокой спортивной квалификации

Определяемые показатели	M $\pm$ SD	Диапазон значений у спортсменов в исследовании	Диапазон средне-популяционных норм
Кортизол, нмоль/л	560,6 $\pm$ 115,2	387,7–796,3	138,0–690,0
Тестостерон, нмоль/л	27,4 $\pm$ 10,1	5,4–42,6	1,36–38,0
ДГЭА-С, мкмоль/л	10,9 $\pm$ 2,2	8,5–14,5	3,25–16,9
Прогестерон, нмоль/л	1,6 $\pm$ 0,2	1,2–1,8	0,3–4,0
ЛГ, МЕд/л	4,3 $\pm$ 0,9	3,1–5,8	1,5–9,0
АКТГ, пг/мл	70,9 $\pm$ 46,8	9,0–148,9	12,5–800,0

Согласно данным представленным в таблице 1, показатели концентрации кортизола и тестостерона превышали границы нормальных референсных значений среднепопуляционной нормы.

В таблице 2 отражены результаты специальной работоспособности, которые подтверждают высокий уровень подготовки спортсменов [17]. Как правило, при максимальной нагрузке на гребном эргометре значительных изменений в уровнях гормонов у высококвалифицированных спортсменов гребных видов спорта не происходит [17].

Таблица 2. Мощность работы (Вт) на уровнях аэробного (АП) и анаэробного (АнП) порогов во время тестирования на тренажерах «Concept II» в специально-подготовительном периоде

Мощность, Вт	M $\pm$ SD	Min - Max
АП, Вт	246 $\pm$ 36	180-330
АнП, Вт	300 $\pm$ 32	240-380

Однако, в работах Кочерова Н.В. (1987) при семиминутном тесте в ответ на увеличение мощности работы значения уровня кортизола и соматотропного гормона возрастали. В результате было установлено, что «соматотропная и глюкокортикоидная функции являются доминирующими звеньями в процессе адаптации гормональной системы организма к напряженной физической деятельности в академической гребле» [18].

В таблице 3 представлены результаты анализа корреляционных связей между уровнем гормонов в сыворотке крови и мощностью работы на уровнях АП и АнП.

Таблица 3. Коэффициенты корреляции Спирмена (ρ) при сравнении мощности работы на АП и АнП (Вт) с уровнем гормонов периферической крови гребцов-академистов мужского пола.

Гормональные маркеры	Аэробный порог, Вт	Анаэробный порог, Вт
Кортизол, нмоль/л	0,33	0,36*
Тестостерон, нмоль/л	0,45*	0,41*
ДГЭА-С, мкмоль/л	0,79*	0,81*
Прогестерон, нмоль/л	0,22	0,19
ЛГ, МЕд/л	0,69*	0,77*
АКТГ, пг/мл	-0,50	-0,54

Примечание: * – $p < 0,05$

Как следует из данных, представленных в таблице 3, достижение высокого уровня АП осуществляется под влиянием тестостерона, ЛГ и ДГЭА-С, при этом корреляционные связи с ЛГ и ДГЭА-С выше, чем с тестостероном. Кроме того, исходные уровни ЛГ и ДГЭА-С у участников исследования, продемонстрировавших высокие результаты по показателям АП, также были выше на 29,79 % и 34,33 %, соответственно ($p < 0,05$). Следует отметить, что участие тестостерона, несмотря на умеренную корреляционную связь, не может быть недооценено, поскольку в обеспечение высокого уровня аэробных возможностей вносят вклад множество факторов, включая исследуемые гормоны.

Это позволяет сделать выводы о том, что способность организма гребцов-академистов к повышению синтеза ДГЭА-С и ЛГ обеспечивает повышение уровня их аэробных возможностей.

Исследование взаимосвязи гормонального фона со значениями АП показало наличие следующих положительных корреляционных связей: кортизол и тестостерон продемонстрировали умеренную корреляционную связь, а значения ДГЭА-С и ЛГ имели сильную корреляционную связь с высоким уровнем достижения порога анаэробного обмена – предиктора успешной соревновательной реализации.

Уровни прогестерона и АКТГ не проявили значимых корреляций с уровнями АП и АП. Эти данные подчеркивают избирательность в обеспечении уровней нейроэндокринной регуляции при формировании высокой спортивной специализации гребцов-академистов.

Заключение. В доступной научной литературе отсутствуют сведения о роли гормональной регуляции в формировании высокого уровня специальной работоспособности у гребцов-академистов. Результаты исследования продемонстрировали, что если у спортсменов в специально-подготовительном периоде годичной подготовки уровни тестостерона находятся в диапазоне от 10,36 до 42,67 нмоль/л, кортизола – от 387,65 до 796,3 нмоль/л и ДГЭА-С – от 9,8 до 14,5 мкмоль/л, то они показывают более высокие результаты в тестах на определение уровня специальной работоспособности (АП, АП) во время учебно-тренировочных сборов.

Поскольку оценка гормонального профиля спортсменов проводится на регулярной основе, не требует значительных финансовых вложений и является важным инструментом в разработке индивидуализированных тренировочных программ, направленных на оптимизацию физиологических показателей и достижение максимальных спортивных результатов, выявленные корреляции позволят тренерам и спортивным врачам более точно определить ключевые точки максимальной готовности спортсменов, своевременно корректировать тренировочные планы и более эффективно управлять процессом восстановления, что в конечном итоге приведет к повышению конкурентоспособности экипажей на международной арене. Алгоритмы, разработанные на основе этих и ранее полученных данных, будут апробированы в реальных условиях спортивных состязаний международного класса.

Литература:

- [1]. Ben-Zaken S., Eliakim A., Nemet D. et al. Genetic characteristics of competitive swimmers: a review // Biol Sport. 2022. Vol. 39, № 1. P. 157–170.
- [2]. Медянцева Н.Б., Гаврилова С.О., Гилев И.Л. Сравнительный анализ различных параметров работоспособности спортсменов в лыжных гонках, биатлоне, гребле академической, велоспорте // Спортивная прикладная наука. 2023. №2 (18). С. 69–74.
- [3]. Система подготовки спортсменов в олимпийском спорте. – Платонов В. Н. – М: Советский спорт, 2005. – 817 с.
- [4]. Rebis K., Klusiewicz A., Długolecka B. et al. Estimation of Lactate Thresholds, Aerobic Capacity and Recovery Rate from Muscle Oxygen Saturation in Highly Trained Speed Skaters and Healthy Untrained Individuals // J Clin Med. 2024. Vol. 13. P. 1–15.
- [5]. Петрова В.В., Федотова И.В., Богомолова М.М. и др. Оценка физической работоспособности спортсменов при проведении специфической нагрузочной пробы на углубленном медицинском обследовании // Современные вопросы биомедицины. 2023. № 7 (3). С. 1–8.

- [6]. Starczewski M., Zmijewski P., Klusiewicz A. Validity of Performance Assessment Methods in Elite Paracanoeists. *J Hum Kinet.* 2022. Vol. 81. P. 269–276.
- [7]. Rudolph S., Badura A., Lutz S. et al. Cognitive-Affective Functions of the Cerebellum // *J Neurosci.* 2023. Vol. 43, № 45. P. 7554–7564.
- [8]. Li Z.H., Li B., Zhang X.Y. et al. Neuropeptides and Their Roles in the Cerebellum // *Int J Mol Sci.* 2024. Vol. 25, № 4. P. 1–19.
- [9]. Lennartsson A-K., Arvidson E., Börjesson M. et al. DHEA-S production capacity in relation to perceived prolonged stress // *Stress.* 2022. Vol. 25, № 1. P. 105–112.
- [10]. Brown D.J., Arnold R., Standage M. et al. The prediction of thriving in elite sport: A prospective examination of the role of psychological need satisfaction, challenge appraisal, and salivary biomarkers // *J Sci Med Sport.* 2021. Vol. 24, № 4. P. 373–379.
- [11]. McCrory C., McLoughlin S., Layte R. et al. Towards a consensus definition of allostatic load: a multi-cohort, multi-system, multi-biomarker individual participant data (IPD) meta-analysis // *Psychoneuroendocrinology.* 2023. Vol. 153. P. 1–40.
- [12]. Curzi D., Amatori S., Silvestri F. et al. Professional football training and recovery: A longitudinal study on the effects of weekly conditioning session and workload variables // *PLoS One.* 2024. Vol. 19, № 9. P. 1–14.
- [13]. Elzenaty R.N., Therina du Toit., Fluck C.E. Basics of androgen synthesis and action // *Best Pract Res Clin Endocrinol Metab.* 2022. Vol. 36, № 4. P. 1–22.
- [14]. Cupka M., Sedliak M. Hungry runners – low energy availability in male endurance athletes and its impact on performance and testosterone: mini-review // *Eur J Transl Myol.* 2023. Vol. 33, № 2. P. 1–9.
- [15]. Takahashi K., Shima T., Soya M. et al. Exercise-induced adrenocorticotrophic hormone response is cooperatively regulated by hypothalamic arginine vasopressin and corticotrophin-releasing hormone // *Neuroendocrinology.* 2022. Vol. 112, № 9. P. 894–903.
- [16]. Mityukova T.A., Basalai A.A., Poluliakh O.Y., Kuznetsova T.E. Effects of high-calorie diet-induced visceral obesity on reproductive hormones and muscle tissues in male and female Wistar rats // *Global Translational Medicine.* 2024. Vol. 3, iss. 1. Art. 2321. P. 1–9.
- [17]. Wang X., Zhao L. Adaptive responses of cardiorespiratory system and hormonal parameters to individualized high-intensity interval training using anaerobic power reserve in well-trained rowers // *Front Physiol.* 2023. Vol. 14. P. 1–11.
- [18]. Кочеров H.B. Значение оценки индивидуальных особенностей реакций гормональной системы в отборе / *Воен.- мед. академ. им. С.М. Кирова.* – Л., 1987. – 24 с.

S.O. GAVRILOVA-MAKSIMCHIK^{1,2}

THE ROLE OF HORMONAL REGULATION IN THE FORMATION OF A HIGH LEVEL OF SPECIAL PERFORMANCE IN ACADEMIC ROWERS

¹ State Scientific Institution “Institute of Physiology of the National Academy of Sciences of Belarus”, Minsk, Republic of Belarus

² State Institution “Republican Scientific and Practical Sports Center”, Minsk, Republic of Belarus

Summary

The informative significance of hormonal parameters in the special preparation period of one-year training was analyzed in a study involving male athletes of high level of special performance engaged in rowing. Cortisol, testosterone, progesterone, luteinizing hormone (LH), dehydroepiandrosterone-sulfate (DHEA-C) and adrenocorticotrophic hormone (ACTH) were selected as the hormones under study. The hormonal activities of ACTH and progesterone showed no significant correlations with the levels of achievement of aerobic and anaerobic thresholds during the training camp. The presence of positive correlations of medium (cortisol, testosterone) and high (DHEA-C, LH) strength with the studied parameters of special performance was noted. It was found that the hormonal background makes a significant contribution to the achievement of high levels of athletic training of rowing academics. The results suggest the use of measures to optimize or stabilize the level of target hormones to improve sports performance and special physical endurance.

Keywords: special performance, rowers, aerobic threshold, anaerobic threshold, cortisol, testosterone, progesterone, adrenocorticotrophic hormone, luteinizing hormone, dehydroepiandrosterone sulfate.