

ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ ГЕНЕТИЧЕСКОЙ РЕГУЛЯЦИИ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ РАБОТОСПОСОБНОСТИ И ВЫНОСЛИВОСТИ ОРГАНИЗМА СПОРТСМЕНОВ-ЕДИНОБОРЦЕВ ПРИ АДАПТАЦИИ К ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКЕ

Д.А. Сарайкин

*Южно-Уральский государственный гуманитарно-педагогический университет,
г. Челябинск, Россия*

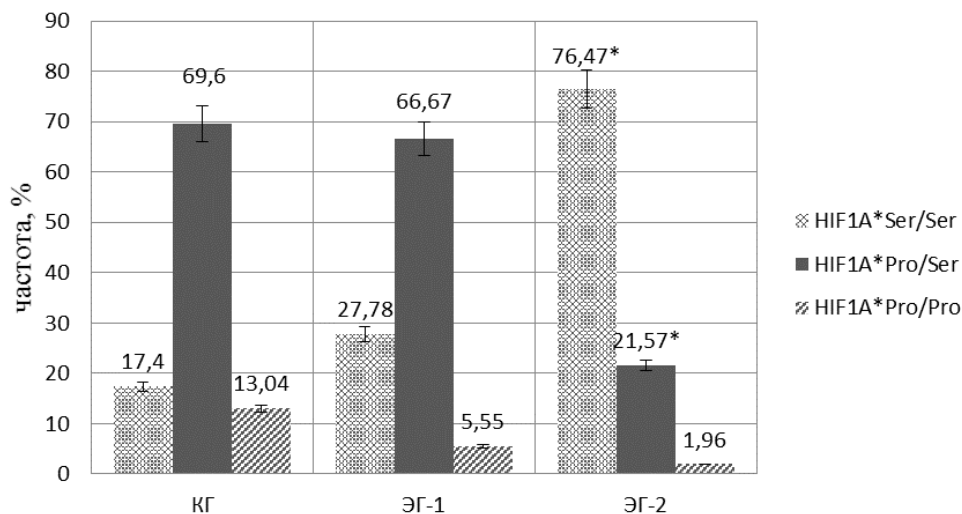
Цель. Исследовать физиологические механизмы полиморфных вариантов генов HIF1A Pro/Ser, влияющих на адаптацию спортсменов-единоборцев при физической нагрузке. **Организация и методы.** В исследовании принимали участие спортсмены-единоборцы различных квалификаций СДЮСШОР г. Челябинска в количестве: спортсмены низкой квалификации (1, 2, 3-й юношеские разряды) – 23 человека (КГ); спортсмены средней квалификации (1, 2, 3-й взрослые разряды) – 27 человек (ЭГ-1) и спортсмены высокой квалификации (КМС и МС) – 26 человек (ЭГ-2). Были исследованы полиморфные варианты генов, регулирующих работу сердечно-сосудистой системы, работоспособности и выносливости спортсменов-единоборцев (HIF1A Pro/Ser). Амплификацию фрагментов геномной ДНК, содержащей полиморфные участки, проводили с помощью полимеразной цепной реакции (ПЦР) в амплификаторах iQ5 (Bio-Rad, США) и GeneAmp PCR System 9700 (Applied Biosystems, США). Праймеры синтезировались фирмой Евроген (Россия). **Результаты исследования** показали, что при типировании полиморфизма Pro582Ser гена HIF1A выявлено три генотипа и два аллеля. Только в группе высококвалифицированных спортсменов (ЭГ-2) генотип HIF1A*Ser/Ser представлен с частотой 76,47%; частота аллеля HIF1A*Ser в данной выборке составляла 87,2%, а аллеля HIF1A*Pro – 12,75%. **Заключение.** Анализ полиморфных локусов молекулярно-генетических маркеров (HIF1A Ser/Ser, HIF1A*Ser), детерминирующих работоспособность кардиореспираторной и анаэробно-гликолитической систем у спортсменов-единоборцев при адаптации к физической нагрузке, показал прямую корреляционную взаимосвязь между высоким уровнем интегральной функциональной подготовленности спортсменов-единоборцев и частотами аллелей генов (HIF1A Ser/Ser, HIF1A*Ser). Оптимальное число аллелей по этим маркерам (для достижения успеха в единоборствах) – от 4 до 6.

Ключевые слова: адаптация, спортсмены-единоборцы, гены, аллели, работоспособность.

Актуальность. Ф.З. Меерсон (1993) отмечал, что при долговременной адаптации режим, в котором действует фактор среды, через селективную экспрессию определенных генов обеспечивает соотношение клеточных структур, которое увеличивает мощность и экономичность доминирующей в адаптации системы [3]. Актуальность данного исследования состоит в том, что оно позволяет научно обосновать технологию спортивной подготовки для более эффективного осуществления тренировочного и соревновательного процессов, корректировать спортивную подготовку с учетом генетического профиля [1, 5, 6, 7, 9].

Материалы и методы. Исследования проводились на базе кафедры безопасности жизнедеятельности и медико-биологических

дисциплин при ФГБОУ ВО «ЮУрГГПУ», а также на базе Научно-исследовательского института олимпийского спорта ФГБОУ ВО УралГУФК в лаборатории молекулярно-генетических исследований. В исследовании принимали участие спортсмены-единоборцы различных квалификаций СДЮСШОР г. Челябинска. Все испытуемые спортсмены были разделены по трем квалификационным категориям: спортсмены низкой квалификации (1, 2, 3-й юношеские разряды) – 23 человека (контрольная группа); спортсмены средней квалификации (1, 2, 3-й взрослые разряды) – 27 человек (экспериментальная группа-1) и спортсмены высокой квалификации (КМС и МС) – 26 человек (экспериментальная группа-2).



Частота генотипов полиморфного гена *HIF1A* в выборке единоборцев разных квалификаций: низкой, средней и высокой. * – $p \leq 0,001$ – статистическая значимость различий
 Frequency of the genotypes of *HIF1A* polymorphic gene in the sample of combatathletes of various levels: low, average, and high. * – $p \leq 0.001$ – statistical significance of differences

Были определены ДНК, выделяемые из клеток буккального эпителия ротовой полости. Амплификацию фрагментов геномной ДНК, содержащей полиморфные участки, проводили с помощью полимеразной цепной реакции (ПЦР) в амплификаторах iQ5 (Bio-Rad, США) и GeneAmp PCR System 9700 (Applied Biosystems, США). Праймеры синтезировались фирмой Евроген (Россия) [4].

Результаты исследования. Ген *HIF1A* (фактор, индуцируемый гипоксией 1 альфа) считается ведущим регулятором транскрипции генов человека, ответственных за адаптационные реакции организма на гипоксию. Он активируется в ключевых этапах регуляции кислородных путей, обеспечивая быстрые и адекватные ответы на гипоксический стресс, включает гены, регулирующие процесс ангиогенеза, вазомоторный контроль, энергетический метаболизм, эритропоэз и апоптоз. Фактор, индуцируемый гипоксией 1 (*HIF-1*), играет важную роль в регуляции экспрессии некоторых генов, вовлеченных в гликолиз (гены альдолазы, лактатдегидрогеназы, фосфофруктокиназы, пируваткиназы, фосфоглицераткиназы), транспорт глюкозы и ангиогенез [1, 6, 9, 10, 12].

В гене *HIF1A* (локализация: 14q21-q24), кодирующем субъединицу 1 α фактора гипоксии, обнаружен *Pro582Ser* полиморфизм. Существует 3 генотипа *HIF1A Pro/Ser* полиморфизма – «*Pro/Pro*», «*Pro/Ser*» и «*Ser/Ser*». С наличием *HIF1A*Ser* аллеля связывают уве-

личение экспрессии генов гликолиза, что приводит к сдвигу в сторону преимущественно анаэробного обеспечения мышечной деятельности. Значимость в порядке убывания для качеств анаэробной работоспособности и скоростной выносливости: «*Ser/Ser*», «*Pro/Ser*» и «*Pro/Pro*» [8, 10, 11, 12].

На рисунке представлены результаты исследования полиморфных вариантов генов *HIF1A* у испытуемых спортсменов низкой, средней и высокой квалификации.

При типировании полиморфизма *Pro582Ser* гена *HIF1A* выявлено три генотипа и два аллеля. В контрольной группе спортсменов-единоборцев низкой квалификации (КГ) генотип *HIF1A*Ser/Ser* представлен с частотой 17,4 %, а генотип *HIF1A*Pro/Ser* представлен с частотой 69,6 %, генотип *HIF1A*Pro/Pro* представлен с частотой 13,04 % (см. рисунок). Частота аллеля *HIF1A*Ser* в данной выборке составила 52,2 %, аллель *HIF1A*Pro* встречался с частотой 47,8 %.

В группе спортсменов среднего уровня квалификации (ЭГ-1) генотип *HIF1A*Ser/Ser* представлен с частотой 27,78 %, генотип *HIF1A*Pro/Ser* представлен с частотой 66,67 %, а генотип *HIF1A*Pro/Pro* представлен с частотой 5,55 % (см. рисунок). Частота аллеля *HIF1A*Ser* в данной выборке составила 61,1 %, аллель *HIF1A*Pro* встречался с частотой 38,9 %.

В группе единоборцев высокой квалификации (ЭГ-2) генотип *HIF1A*Ser/Ser* пред-

ставлен с частотой 76,47 %, генотип *HIF1A*Pro/Ser* представлен с частотой 21,57 %, а генотип *HIF1A*Pro/Pro* представлен с частотой 1,96 %. Частота аллеля *HIF1A*Ser* в данной выборке составила 87,2 %, аллель *HIF1A*Pro* встречается с частотой 12,75 %. Наблюдаемое распределение частот генотипов соответствует теоретически ожидаемому равновесному распределению Харди-Вайнберга ($\chi^2 = 34,223$, $P = 0,0001$).

При попарном сравнении частот генотипов и аллелей между группами спортсменов с разным уровнем функциональной работоспособности выявлено статистически значимое повышение частоты генотипа *HIF1A*Ser/Ser* в выборке единоборцев высокой квалификации (см. рисунок) с наивысшим уровнем интегральной функциональной работоспособности (ИФР = 58,79 %) [4] по сравнению с группой низкоквалифицированных спортсменов с самым низким уровнем (ИФР = 44,76 %) интегральной функциональной работоспособности (76,47 % в ЭГ-2 против 17,4 % в КГ, $P = 0,001$) на 59,07 %, кроме того, в группе ЭГ-2 отмечалось статистически значимое повышение частоты генотипа *HIF1A*Ser/Ser* (76,47 % в ЭГ-2 против 27,78 % в ЭГ-1, $P = 0,001$) на 48,69 % по сравнению с группой единоборцев среднего уровня с (ИФР = 52,01 %) функциональной работоспособности.

При попарном сравнении единоборцев разных квалификаций выявлено статистически значимое снижение частоты гетерозиготного генотипа *HIF1A Pro/Ser* у испытуемых с высоким уровнем интегральной функциональной работоспособности по сравнению с испытуемыми с низким уровнем интегральной функциональной работоспособности (21,57 % в ЭГ-2 против 69,6 % в КГ, $P = 0,001$) на 48,12 %, кроме того, в ЭГ-2 отмечалось статистически значимое повышение частоты гетерозиготного генотипа *HIF1A*Pro/Ser* по сравнению с группой единоборцев среднего уровня функциональной работоспособности (21,57 % в ЭГ-2 против 66,67 % в ЭГ-1, $P = 0,001$) на 45,10 %. Частота генотипа *HIF1A*Pro/Pro* достоверно не изменилась во всех трех группах испытуемых единоборцев (см. рисунок).

Заключение. Долговременная адаптация спортсменов разных видов спорта, развивающих выносливость, приводит к мобилизации энергообеспечения и использования природ-

ных предпосылок и резервных возможностей организма [1–3].

Анализ полиморфных локусов молекулярно-генетических маркеров (*HIF1A Ser/Ser*, *HIF1A*Ser*), детерминирующих работоспособность кардиореспираторной и анаэробно-гликолитической систем у спортсменов-единоборцев при адаптации к физической нагрузке, показал прямую корреляционную взаимосвязь между высоким уровнем интегральной функциональной подготовленности спортсменов-единоборцев и частотами аллелей генов (*HIF1A Ser/Ser*, *HIF1A*Ser*). Оптимальное число аллелей по этим маркерам (для достижения успеха в единоборствах) – от 4 до 6.

Практическая значимость состоит в том, что данные аллели исследуемых генов могут быть использованы и как маркеры объективной оценки предрасположенности спортсменов-единоборцев к эффективному осуществлению тренировочной и соревновательной деятельности [4, 8].

Работа выполнена при финансовой поддержке ФГБОУ ВО «Шадринский государственный педагогический университет» по договору на выполнение НИР от 26.04.2018 г. № 143Н по теме «Влияние генной регуляции для повышения работоспособности организма спортсменов-единоборцев в динамике формирования адаптации к сочетанному действию гипоксии и физической нагрузки».

Литература

1. Взаимосвязи между генетическими маркерами и физической подготовленностью спортсменов силовых видов спорта / А.П. Исаев, В.В. Эрлих, И.В. Темникова, В.В. Епишев // *Материалы Междунар. науч.-метод. конф. «Научно-методическое обеспечение и сопровождение системы физического воспитания и спортивной подготовки в контексте внедрения комплекса ГТО»*, 2015. – С. 41–45.
2. Исследование физиологических показателей тхэквондистов при сенсорном конфликте / Д.А. Сарайкин, Е.Л. Бачеринов, Ю.Г. Камскова, В.И. Павлова // *Теория и практика физ. культуры*. – 2017. – № 12. – С. 62–64.
3. Меерсон, Ф.З. Адаптационная медицина: концепция долговременной адаптации: моногр. / Ф.З. Меерсон. – М.: Дело, 1993. – 138 с.
4. Молекулярно-генетическая детерми-

нация функциональной работоспособности единоборцев разных квалификаций / М.С. Терзи, Е.В. Леконцев, Д.А. Сарайкин и др. // Теория и практика физ. культуры. – М., 2016. – № 7. – С. 21–24.

5. Rogozkin, V.A. Расшифровка генома человека и спорт / В.А. Rogozkin // Теория и практика физ. культуры. – 2001. – № 6. – С. 60–63.

6. Сергиенко, Л.П. Основы спортивной генетики / Л.П. Сергиенко. – Киев: Вища школа, 2004. – 631 с.

7. Феропонтов, М.А. Исследование полиморфных вариантов генов, влияющих на спортивную успешность в скоростно-силовых видах спорта / М.А. Феропонтов, Е.В. Леконцев // Материалы XXII региональной научно-методической конференции с международным участием «Оптимизация учебно-воспитательного процесса в образовательных учреждениях физической культуры», 2012. – С. 212–214.

8. Эпигенетические модификации при выполнении физических нагрузок / Н.Д. Гольберг, И.В. Астратенкова, И.И. Ахметов,

В.А. Rogozkin // Теория и практика физ. культуры. – 2018. – № 2. – С. 51–53.

9. Effects of short- and long-term adaptation to the middle-altitude hypoxia on the condition of athletes practicing cyclic and acyclic sports / A.P. Isaev, V.V. Erlikh, A.S. Bakhareva et al. // *Minerva Ortopedica e Traumatologica*. – 2018. – Vol. 69. – Suppl. 1. – № 3. – P. 31–42.

10. Genetic Prerequisites of Sports Success of Sportsmen Going in for Combat Sports / D.A. Saraykin // *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*. – 2017. – Vol. 9 (9). – P. 1569–1572.

11. Pescatello, L.S. Highlights from the Functional Single Nucleotide Polymorphisms Associated with Human Muscle Size and Strength or FAMuSS Study / L.S. Pescatello, J.M. Devaney, M.J. Hubal, et al. // *Biomed Res. Int.* – 2013. – P. 43–57. DOI: 10.1155/2013/643575

12. Prior, S.J. Sequence variation in hypoxia-inducible factor 1 alpha (HIF1A): association with maximal oxygen consumption / S.J. Prior, J.M. Hagberg, D.A. Phares et al. // *Physiol. Genomics*. – 2003. – Vol. 15. – P. 20–26. DOI: 10.1152/physiolgenomics.00061.2003

Сарайкин Дмитрий Андреевич, кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности и медико-биологических дисциплин, Южно-Уральский государственный гуманитарно-педагогический университет. 454080, г. Челябинск, проспект Ленина, 69. E-mail: saraykind@cspu.ru, ORCID: 0000-0003-0298-6507.

Поступила в редакцию 5 декабря 2018 г.

DOI: 10.14529/hsm18s04

PHYSIOLOGICAL MECHANISMS OF THE GENETIC REGULATION OF FUNCTIONAL PERFORMANCE AND ENDURANCE IN COMBAT ATHLETES DURING ADAPTATION TO PHYSICAL LOAD

D.A. Saraykin, saraykind@cspu.ru, ORCID: 0000-0003-0298-6507

South Ural State Humanitarian-Pedagogical University, Chelyabinsk, Russian Federation

Aim. The article deals with studying physiological mechanisms of the polymorphic variants of genes HIF1A Pro/Ser, influencing adaptation in combat athletes during physical load. **Materials and methods.** We studied combat athletes of various ranks from a sports school in Chelyabinsk: athletes of 1st, 2nd, and 3rd ranks (youth ranking) – 23 persons (control group); athletes of 1st, 2nd, and 3rd ranks (adult ranking) – 27 persons (experimental group 1); professional athletes (Candidate for Master of Sport and Master of Sport) – 26 persons (experimental group 2). We studied polymorphic variants of genes, regulating the cardiovascular system, performance, and endurance in combat athletes (HIF1A Pro/Ser). We performed the amplification of the fragments

of genomic DNA, containing polymorphic parts, by polymerase chain reaction (PCR) in iQ5 Bio-Rad (the USA) and GeneAmp PCR System 9700 (Applied Biosystems, the USA) amplifiers. Primers were synthesized by Evrogen company (Russia). **Results.** During the typing of Pro582Ser polymorphism of HIF1A gene, we revealed three genotypes and two alleles. Only in the experimental group 2, HIF1A *Ser/Ser genotype has a frequency of 76.47%; for the same sample, the frequency of HIF1*Ser allele is 87.2% and of HIF1A*Pro allele is 12.75%. **Conclusion.** We performed the analysis of the polymorphic loci of molecular genetic markers (HIF1A Ser/Ser, HIF1A*Ser). This allowed us to determine the cardiorespiratory and aerobic glycolytic system performance in wrestlers during their adaptation to physical load. Our analysis revealed that there is a direct correlation between the high level of integral functional preparedness in combat athletes and athletes' gene alleles (HIF1A Ser/Ser, HIF1A*Ser). To achieve success in combat sports, the optimal number of these alleles is from 4 to 6.

Keywords: adaptation, combat athletes, genes, alleles, efficiency.

The study was performed with the financial support of the Shadrinsk State Pedagogical University in compliance with contract No. 143H dd. 26.04.2018.

References

1. Isaev A.P., Ehrlich V.V., Temnikova I.V., Epishev V.V. [Interrelations Between Genetic Markers and Physical Fitness of Athletes of Strength Sports]. *Mater. Mezhdunar. nauch.-metod. konf.: Nauchno-metodicheskoe obespechenie i soprovozhdenie sistemy fizicheskogo vospitaniya i sportivnoj podgotovki v kontekste vnedreniya kompleksa GTO* [Materials of the International Scientific and Methodical Conference: Scientific and Methodical Ensuring and Maintenance of a System of Physical Training and Sports Preparation in the Context of Introduction of the GTO Complex], 2015, pp. 41–45. (in Russ.)
2. Saraykin D.A., Bacherikov E.L., Kamskova Yu.G., Pavlova V.I. [Study of Physiological Indices of Taekwondokas in Case of Sensory Conflict]. *Teoriya i praktika fizicheskoy kul'tury* [Theory and Practice of Physical Culture], 2017, no. 12, pp. 62–64. (in Russ.)
3. Meerson F.Z. *Adaptacionnaya medicina: koncepciya dolgovremennoj adaptacii* [Adaptation Medicine. Concept of Long-Term Adaptation]. Moscow, Deal Publ., 1993. 138 p.
4. Terzi M.S., Lekontsev E.V., Saraykin D.A., Pavlov V.I., Kamskova Yu.G. [Molecular Genetic Determination of Functional Performance of Combatants of Different Skill Levels]. *Teoriya i praktika fizicheskoy kul'tury* [Theory and Practice of Physical Culture], 2016, no. 7, pp. 21–24. (in Russ.)
5. Rogozkin V.A. [Interpretation of Human Genome and Sport]. *Teoriya i praktika fizicheskoy kul'tury* [Theory and Practice of Physical Culture], 2001, no. 6, pp. 60–63. (in Russ.)
6. Sergienko L.P. *Osnovy sportivnoj genetiki* [Fundamentals of Sports Genetics]. Kiev, High School Publ., 2004. 631 p.
7. Feropontov M.A., Lekontsev E.V. [Research of Polymorphic Options of the Genes Affecting Sports Success in High-Speed Strength Sports]. *Materialy XXII regional'naya nauchno-metodicheskaya konferenciya s mezhdunarodnym uchastiem "Optimizaciya uchebno-vospitatel'nogo processa v obrazovatel'nyh uchrezhdeniyah fizicheskoy kul'tury"* [Materials XXII a Regional Scientific and Methodical Conference with the International Participation. Optimization of Teaching and Educational Process in Educational Institutions of Physical Culture], 2012, pp. 212–214. (in Russ.)
8. Golberg N.D., Astratenkova I.V., Akhmetov I.I., Rogozkin V.A. [Epigenetic Modifications During Exercise]. *Teoriya i praktika fizicheskoy kul'tury* [Theory and Practice of Physical Culture], 2018, no. 2, pp. 51–53. (in Russ.)
9. Isaev A.P., Erlich V.V., Bakhareva A.S., Saraykin D.A., Pavlova V.I., Maleev D.O. Effects of Short- and Long-Term Adaptation to the Middle-Altitude Hypoxia on the Condition of Athletes Practicing Cyclic and Acyclic Sports. *Minerva Ortopedica e Traumatologica*, 2018, vol. 69, suppl. 1, no. 3, pp. 31–42.
10. Saraykin D.A. Genetic Prerequisites of Sports Success of Sportsmen Going in for Combat Sports. *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 2017, vol. 9 (9), pp. 1569–1572.

11. Pescatello L.S., Devaney J.M., Hubal M.J., Thompson P.D., Hoffman E.P. Highlights from the Functional Single Nucleotide Polymorphisms Associated with Human Muscle Size and Strength or FAMuSS Study. *Biomed Res. Int.*, 2013, pp. 43–57. DOI: 10.1155/2013/643575

12. Prior S.J., Hagberg J.M., Phares D.A., Brown M.D., Fairfull L., Fen-ell R.E., Roth S.M. Sequence Variation in Hypoxia-Inducible Factor 1 Alpha (HIF1A): Association with Maximal Oxygen Consumption. *Physiol. Genomics*, 2003, vol. 15, pp. 20–26. DOI: 10.1152/physiolgenomics.00061.2003.

Received 5 December 2018

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Сарайкин, Д.А. Физиологические механизмы генетической регуляции функциональной работоспособности и выносливости организма спортсменов-единоборцев при адаптации к физической нагрузке / Д.А. Сарайкин // Человек. Спорт. Медицина. – 2018. – Т. 18, № S. – С. 27–32. DOI: 10.14529/hsm18s04

FOR CITATION

Saraykin D.A. Physiological Mechanisms of the Genetic Regulation of Functional Performance and Endurance in Combat Athletes During Adaptation to Physical Load. *Human. Sport. Medicine*, 2018, vol. 18, no. S, pp. 27–32. (in Russ.) DOI: 10.14529/hsm18s04
