

МАРКЕР АДАПТИВНЫХ СВОЙСТВ ГОРМОНАЛЬНО-ГЕНЕТИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ ОРГАНИЗМА ЮНЫХ СПОРТСМЕНОВ ПРИ ВЛИЯНИИ СОЧЕТАННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ГИПОКСИИ И ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ

Д.А. Сарайкин¹, saraykind@cspu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0298-6507>

В.И. Павлова¹, pavlovavi@cspu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1347-3408>

Ю.Г. Камскова¹, kamskovaug@cspu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1816-900X>

В.В. Эрлих², erlih-vadim@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4416-1925>

А.В. Ненашева², nenashevaav@susu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7579-0463>

¹Южно-Уральский государственный гуманитарно-педагогический университет, Челябинск, Россия

²Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

Аннотация. Целью данной работы является изучение у адаптированных спортсменов к гипоксии среднегорья и физической нагрузки гормонально-генетического профиля. **Организация и методы.** Были проведены комплексные исследования крови, кардиореспираторной системы, определены уровни содержания гормонов в слюне и крови спортсменов иммуноферментным методом с помощью тест-систем. Молекулярно-генетические особенности спортсменов изучались при помощи амплификации фрагментов геномной ДНК. Амплификацию проводили с помощью полимеразной цепной реакции (ПЦР) в амплификаторах iQ5 (Bio-Rad, США) и GeneAmp PCR System 9700 (Applied Biosystems, США). **Результаты исследования.** В начальной стадии краткосрочной адаптации происходит интенсивное высвобождение стресс-индуцированных гормонов: АКТГ, тестостерона, тирозина, тиреотропного гормона. В период срочной адаптации к гипоксии среднегорья зафиксировано увеличение полового гормона тестостерона в 2 раза и снижение на 19 % ($p < 0,01$) гормона щитовидной железы – тироксина. Изучались также гены: ACE I/D D/D, ACTN3 R577X (rs 1815739) R/R. Также были определены гены: AMPD1 C34T, PPARG Pro12A1a, COMT Vall58Me (rs 4680), IGF II G17200A (rs 680) G/G, IL-6 G174C (rs 1800795) G/G, ген HIF1A Pro582Ser (rs 11549465) T/T. Все перечисленные гены превышали показатели у низкоквалифицированных спортсменов по сравнению с высококвалифицированными. **Заключение.** Анализ полученных результатов показал, что адаптация к гипоксии среднегорья и физической нагрузки повышает адаптивные свойства организма спортсменов. Маркеры, детерминирующие эффективную адаптацию и успешную спортивную результативность единоборцев, зависят от наследственных признаков и выявленных резервных возможностей организма.

Ключевые слова: гипоксия, среднегорье, гормоны, генетические маркеры

Благодарности. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Челябинской области в рамках научного проекта № 20-413-740010.

Для цитирования: Маркер адаптивных свойств гормонально-генетического профиля организма юных спортсменов при влиянии сочетанного воздействия гипоксии и физической нагрузки / Д.А. Сарайкин, В.И. Павлова, Ю.Г. Камскова и др. // Человек. Спорт. Медицина. 2022. Т. 22, № 3. С. 54–61. DOI: 10.14529/hsm220307

MARKERS OF HORMONAL AND GENETIC ADAPTATION OF YOUNG ATHLETES UNDER COMBINED HYPOXIA AND PHYSICAL EXERCISE

D.A. Saraykin¹, saraykind@cspu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0298-6507>

V.I. Pavlova¹, pavlovavi@cspu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1347-3408>

Yu.G. Kamskova¹, kamskovaug@cspu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1816-900X>

V.V. Erlikh², erlih-vadim@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4416-1925>

A.V. Nenasheva², nenashevaav@susu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7579-0463>

¹South Ural State Humanitarian Pedagogical University, Chelyabinsk, Russia

²South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

Abstract. Aim. This paper describes hormonal and genetic profiles of trained athletes accustomed to hypoxia training and high exercise intensity. **Materials and methods.** Our study involved comprehensive physical examination of athletes, including blood measurements, cardiorespiratory examination, saliva and blood hormone measures, by means of enzyme-linked assays. The molecular and genetic features of athletes were identified through the amplification of genomic DNA fragments. Amplification was performed using polymerase chain reaction (PCR) in iQ5 amplifiers (Bio-Rad, USA) and the GeneAmp PCR System 9700 (Applied Biosystems, USA). **Results.** Short-term adaptation begins with an intensive release of stress hormones, including ACTH, testosterone, tyrosine, thyroid-stimulating hormone. Short-term adaptation to hypoxia is accompanied by increased testosterone levels and decreased thyroxine levels (19%, $p < 0.01$). The following genes were also examined: ACE I/D D/D, ACTN3 R577X (rs 1815739) R/R. The AMPD1 C34T, PPARG Rgo12A1a, COMT Vall58Me (rs 4680), IGF II G17200A (rs 680) G/G, IL-6 G174C (rs 1800795) G/G, HIF1A Pro582Ser (rs 11549465) T/T genes were detected. In trained athletes, all these genes exceeded those of low-skilled athletes. **Conclusion.** The results obtained showed that adaptation to hypoxia and physical exercise increased the adaptive properties of athletes. The markers of effective adaptation and sports performance depend on hereditary characteristics and body reserves.

Keywords: hypoxia; hypoxia training; hormones; genetic markers

Acknowledgements. The study was carried out with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research and the Chelyabinsk region within project No. 20-413-740010.

For citation: Saraykin D.A., Pavlova V.I., Kamskova Yu.G., Erlikh V.V., Nenasheva A.V. Markers of hormonal and genetic adaptation of young athletes under combined hypoxia and physical exercise. *Human. Sport. Medicine.* 2022;22(3):54–61. (In Russ.) DOI: 10.14529/hsm220307

Введение. Особый интерес для физиологов, тренеров, спортсменов в настоящее время представляет адаптация организма спортсмена к высотной гипоксии в сочетании с действием физической нагрузки. Устойчивая адаптация с увеличенной мощностью всех систем организма, а также активация всех процессов обмена веществ, возникает благодаря одновременному воздействию на организм физической нагрузки и гипоксии [1, 6–8, 12, 14].

Понимание сути возникновения адаптации определяет ряд черт, которые присущи комплексу структурных изменений, возникающих в системе, которая ответственна за адаптацию [5, 11, 19]. Физиологические возможности доминирующей системы повышаются с помощью формирования системного структурного следа. Это является следствием роста клеточных структур, лимитирующих

функцию доминирующей системы, увеличения выраженности определенных генов и избирательной вариативности соединительной ткани, а не глобального роста массы клеток доминирующей системы [5, 11, 19].

В спорте высших достижений возникла необходимость поиска путей повышения физиологических возможностей организма спортсменов, а изучение сочетанного действия высотной гипоксии с физической нагрузкой является своевременной актуальной задачей [8, 9, 15, 16].

У едиборцев высокой квалификации при выполнении физических нагрузок в связи с особенностями энергетического обмена в организме могут быть выявлены, вероятнее всего, молекулярно-генетические предпосылки, регулирующие процесс развития качеств, которые способствуют спортивной успешности,

и на их основе можно проводить отбор спортсменов, которые в будущем покажут выдающиеся спортивные результаты [7, 10, 20, 21].

Кроме того, при формировании долговременной адаптации необходимо точно знать механизм действия каждого гормона в отдельности, которые поэтапно выделяются при действии среднегорья и физической нагрузки на организм спортсмена [2, 5, 7, 10, 13, 15].

Проблема адаптации к гипоксии и физическим нагрузкам сводится к вопросу о механизмах, обеспечивающих тренировочному организму преимущества перед нетренированным [3, 7, 8, 22]. Стоит отметить, что адаптация к различным воздействиям, которые вызывают интенсивную мышечную работу, – это реакция целого организма. Данная реакция направлена на решение двух основных задач: восстановить или поддержать двигательный гомеостаз и постоянство внутренней среды организма; обеспечить мышечную деятельность [4, 20, 21].

Поэтому целью данного исследования является изучение у адаптированных спортсменов к гипоксии среднегорья и физической нагрузки гормонально-генетического профиля.

Материалы и методы. Адаптация к гипоксии и физической нагрузке проводилась в среднегорье на высоте 2150–2200 м над уровнем моря (гора Терская, Приэльбрусье). В исследовании принимали участие спортсмены-разрядники (кандидаты в мастера спорта, мастера спорта) 18–24 лет, в количестве 10 тхэквондистов и 20 бегунов. Исследуемые провели на среднегорье 21 день подготовительного периода (активные тренировки), затем в течение 7 дней проходили адаптацию на равнине, после чего входили в соревновательный период.

С помощью тест-систем способом иммуноферментного анализа определялись уровни содержания гормонов в крови и слюне спортсменов-единоборцев. Измерения проводились с помощью планшетного фотометра Multiskan plus (LabSystems, производство Финляндия) при длине волны 450 нм.

Исследование проводилось на базе НИЛ «Адаптация организма спортсменов к физической нагрузке разной интенсивности в тренировочном и образовательном процессах» (ЮУрГГПУ), на базе НИИ олимпийского спорта УралГУФК в лаборатории молекулярно-генетических исследований, а также на

базе научно-исследовательского центра спортивной науки в ИСТиС (ЮУрГУ).

Молекулярно-генетические особенности единоборцев изучались при помощи амплификации фрагментов геномной ДНК, выделенной из клетки буккального эпителия ротовой полости, содержащих полиморфные участки. Амплификацию 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). ПЦР-фрагменты, содержащие однонуклеотидные полиморфизмы, обрабатывались подходящими рестриктазами в соответствии с общепринятой методикой.

Продукты рестрикции, а также ПЦР-продукты полиморфизмов, содержащие инсерции/делеции, разделяли с помощью 8%-ного полиакриламидного гель-электрофореза с последующей окраской бромистым этидием и визуализацией на трансиллюминаторе фирмы UVP (США). Сепарационные профили фотографировали с помощью цифровой фотокамеры.

Результаты исследования. Ф.З. Меерсон говорит о том, что приспособление организма к физическим нагрузкам отличается от адаптации к гипоксии. Недостаток кислорода в среде постепенно вызывает гипоксемию с нарушением гомеостаза, а не первично действует на экстрарецепторы в отличие от иных факторов, вызывающих двигательную активность [6, 17, 20].

Стоит отметить, что только после возникновения гипоксемии на аортально-каротидной зоне недостаток кислорода действует как раздражитель хеморецепторов этой зоны и центров, которые регулирует кровообращение и дыхание. Как следствие возникает гипервентиляция в легких.

Под влиянием гипоксемии включается система доставки кислорода легкими [3, 4, 6, 17]. Так, у спортсменов легочная вентиляция увеличилась соответственно на 17,50 %; ЖЕЛ – на 20 %.

При адаптации организма спортсменов к среднегорью (гипоксии) и физической нагрузке развивается в ответ на нехватку O_2 активация гипоталамо-гипофизарно-адреналовой системы.

В период срочной адаптации преобладают катаболические процессы. В среднегорье

проявлялось напряжение механизмов адаптации, которая проявлялась в сдвигах показателей концентрации гемоглобина, энзимов, активности КФК, мочевины [4, 5, 20, 21, 22].

В начальной стадии краткосрочной адаптации происходит интенсивное высвобождение стресс-индуцированных гормонов: АКТГ, тестостерона, тирозина, тиреотропного гормона [5, 6, 8].

При стресс-реакции АКТГ предшествует появлению глюкокортикоидов и катехоламинов [13, 17, 19]. АКТГ увеличивает синтез белка и РНК, стимулирует рост коры надпочечников. Содержание этого гормона увеличилось на 63 % ($p < 0,01$) на среднегорье под влиянием гипоксии и физической нагрузки.

Тирозин при срочной адаптации составлял 81 %, при долговременной адаптации – $87,15 \pm 2,23$ 1 ч мкмоль/л (81,83 %), контрольные величины при этом составляют 106,5 1 ч мкмоль/л. Уровень тирозиновой кислоты также был ниже контрольных показателей на 11 % и составляла $1,42 \pm 0,03$ мг% по сравнению с контрольными показателями $1,6 \pm 0,01$ мг%.

Необходимо отметить увеличение уровня тестостерона в моче на 122,64 % при краткосрочной адаптации, что составляло $14,65 \pm 0,58$ мкмоль/24 ч; и на 125,53 % – $87,15 \pm 2,23$ мкмоль/24 ч при долговременной адаптации; контрольные величины при этом составляли $6,58 \pm 0,03$.

Таким образом, при краткосрочной адаптации к гипоксии развивается активация гипофизарно-адреналовой системы. Вследствие этого гормон тестостерон увеличивается в 2 раза, тиреоидный гормон щитовидной железы – тироксин снижается на 19 % ($p < 0,01$), тирозиновой кислоты снижается – на 11 % ($p < 0,05$).

Экономизация функций, которая сопровождается формированием устойчивой адаптации к гипоксии у спортсменов, выражается в следующем: снижается скорость оксигенации и время кровотока, а также легочная вентиляция, дыхательный коэффициент уменьшается на 12 % ($p < 0,05$), а индекс тканевой экстракции повышается на 33 % ($p < 0,05$).

Из всего выше сказанного можно сделать вывод о том, что благодаря адаптации организма к гипоксии среднегорья повышается выносливость, увеличиваются функциональные резервы организма, что влечет за собой улучшение спортивных результатов.

Анализируя особенности генетических маркеров полиморфных локусов спортивных качеств испытуемых тхэквондистов низкой и высокой квалификации, становится понятно, что раннее выявление индивидов с генетической предрасположенностью к преимущественному развитию скоростно-силовых качеств является для олимпийского вида спорта тхэквондо одним из наиболее важных этапов спортивного отбора, так как именно максимальное развитие качеств скорости и силы необходимо единоборцам для достижения наивысших спортивных результатов [8–11].

В связи с тем, что тхэквондо является ациклическим скоростно-силовым видом спортивного единоборства, можно сделать вывод, что полиморфизмы генов, которые определяют скоростно-силовые качества спортсменов, а также ген ангиотензин превращающего фермента (АСЕ) являются основными генетическими маркерами, связь которых с высокими результатами в разных видах спорта доказана в исследованиях последних лет [12, 14, 15].

Так, ген АСЕ I/D D/D, ассоциированный с силовыми качествами и работоспособностью на коротких дистанциях, у тхэквондистов высокой квалификации проявлен на $64,29 \pm 3,64$ балла, что составляет на 46,9 % больше, чем у испытуемых низкой квалификации, у которых этот ген проявлен на $43,75 \pm 2,31$ балла.

Ген ACTN3 R577X (rs 1815739) R/R, который отвечает за максимальное содержание α -актинин-3 в быстрых мышечных волокнах и предрасположенность к силовым качествам на высокой скорости, имеет преимущество в генерировании силовых сокращений на высокой скорости. Отмечается, что в группе тхэквондистов высокой квалификации данный ген проявлен на $53,57 \pm 2,33$ балла (это достоверно выше контрольной группы на 42,9 % ($p < 0,01$)) и может быть использован для спортивного отбора одаренных единоборцев; в группе тхэквондистов низкой квалификации этот ген проявлен на $37,5 \pm 1,28$ балла.

Ген, обуславливающий максимальный уровень активности мышечной изоформы аденозинмонофосфат дезаминазы и предрасположенность к скоростно-силовым качествам имеет название – AMPD1 C34T (rs 17602729) C/C. В группе тхэквондистов низкой квалификации этот ген проявлен на $59,38 \pm 2,17$ балла, тогда как в группе тхэквондистов высокой квалификации он проявлен на $82,14 \pm 4,11$ бал-

ла, с достоверностью ($p < 0,01$). Что достоверно по сравнению с контрольной группой на 38 % и может являться предпосылкой спортивного отбора одаренных спортсменов.

Ген PPARG Pro12A1a (rs 1801282) Ala/Ala связан с повышенной чувствительностью к инсулину, что приводит к усиленному анаболическому воздействию на мышечную ткань и важно для спортсменов силовых видов спорта. У носителей данного генотипа мышцы наиболее эффективно используют глюкозу и быстрее наращивают массу. В группе тхэквондистов низкой квалификации этот ген проявлен на $9,38 \pm 0,93$ балла, тогда как в группе тхэквондистов высокой квалификации он проявлен на $17,86 \pm 0,86$ балла, что превышает контрольные величины на 90,4 % ($p < 0,01$) и может являться предпосылкой спортивного отбора одаренных единоборцев.

Ген COMT Val58Met (rs 4680) Val/Val обуславливает повышенную агрессивность, менее выраженную тревожность и пониженную чувствительность к боли, что может способствовать физической агрессивности и более высокому уровню экстраверсии. Носители данного генотипа имеют преимущество при обработке неприятных эмоциональных стимулов. Данный генотип связан с более высокой плотностью минералов костной ткани. В группе тхэквондистов низкой квалификации данный ген проявлен на $40,63 \pm 1,57$ балла, тогда как в группе тхэквондистов высокой квалификации он проявлен на $57,14 \pm 3,18$ балла, что достоверно ($p < 0,01$) превышает контрольные величины на 40,6 % и может являться предпосылкой спортивного отбора одаренных единоборцев.

Ген IGF II G17200A (rs 680) G/G ассоциирован с проявлением наибольшей силы рук и ног. У носителя этого гена наблюдается наименьшая потеря силы после упражнений, более быстрое восстановление силы мышц после интенсивных физических упражнений, больший показатель мышечной массы тела. В группе тхэквондистов низкой квалификации данный ген проявлен на $50 \pm 2,66$ балла, тогда как в группе тхэквондистов высокой квалификации он проявлен на $75 \pm 4,92$ балла, что достоверно выше контрольных величин на 50 % ($p < 0,01$) и может являться предпосылкой спортивного отбора одаренных единоборцев.

Ген IL-6 G174C (rs 1800795) G/G обу-

славливает высокий уровень развития скоростно-силовых качеств. В контрольной группе тхэквондистов низкой квалификации данный ген проявлен на $28,13 \pm 1,78$ балла, тогда как в экспериментальной группе тхэквондистов высокой квалификации он проявлен на $46,43 \pm 3,49$ балла, это достоверно ($p < 0,01$) выше контрольной группы на 65,1 %, что может являться предпосылкой спортивного отбора одаренных единоборцев.

Ген HIF1A Pro582Ser (rs 11549465) T/T ассоциирован с повышенной устойчивостью клеток к гипоксии. В группах спортсменов, занимающихся видами спорта с преимущественным проявлением скорости и силы, частота 582Ser аллеля значимо повышается. В контрольной группе тхэквондистов низкой квалификации данный ген проявлен на $6,25 \pm 0,71$ балла, тогда как в экспериментальной группе тхэквондистов высокой квалификации он проявлен на $14,29 \pm 2,12$ балла, что достоверно ($p < 0,01$) выше контрольной группы на 128 % и может являться предпосылкой спортивного отбора одаренных единоборцев.

Общий генетический бал скоростно-силовых качеств с ростом спортивного мастерства спортсменов-тхэквондистов достоверно увеличивается в ЭГ по сравнению с КГ на $49,3 \%$ с $34,38 \pm 1,68$ до $51,34 \pm 3,08$ балла, что свидетельствует об отборе единоборцев с аллелями генов, которые ассоциированы с максимальным проявлением скоростно-силовых качеств с ростом спортивного мастерства спортсменов-тхэквондистов.

Заключение. Для оптимальной подготовки высококвалифицированных спортсменов и увеличения надежности системы индивидуального отбора в качестве основного базисного способа формирования сборных команд (в том числе олимпийской сборной) можно использовать анализ генетической предрасположенности. Целесообразность и перспективы использования данного анализа позволяет увидеть динамику проявления молекулярно-генетических маркеров спортивной успешности единоборцев. Высокий уровень проявления данных полиморфных локусов характерен для группы единоборцев высокого спортивного мастерства, что можно эффективно использовать для ранней диагностики предрасположенности к профессиональным занятиям единоборствами.

Список литературы

1. Влахович, Н. Этические аспекты генетического анализа и генетических исследований в спорте: официальный отчет Австралийского института спорта. – 2015. – 13 с.
2. Гены-маркеры предрасположенности к скоростно-силовым видам спорта / В.А. Рогозкин, И.В. Астратенкова, А.М. Дружеская, О.Н. Федоровская // Теория и практика физ. культуры. – 2005. – № 1. – С. 2–4.
3. Дигурова, И.И. Изменения показателей микроциркуляции и кислородтранспортной функции крови при стрессовых воздействиях / И.И. Дигурова, А.Г. Гуцин // Материалы XXIII съезда Физиологического общества им. И.П. Павлова с международным участием. – 2017. – С. 1347–1348.
4. Исаев, А.П. Анализ главных компонент интегративной деятельности организма бегунов на средние дистанции / А.П. Исаев, В.В. Эрлих, В.И. Заляпин // Теория и практика физ. культуры. – 2015. – № 8. – С. 27–29.
5. Исаев, А.П. Спорт и среднегорье. Моделирование адаптивных состояний спортсменов: моногр. / А.П. Исаев, В.В. Эрлих. – Челябинск: Издат. центр ЮУрГУ, 2013. – 425 с.
6. Меерсон, Ф.З. Адаптация к высотной гипоксии / Ф.З. Меерсон // Физиология адаптационных процессов. – М.: Наука, 1986. – 635 с.
7. Молекулярно-генетическая детерминация функциональной работоспособности единоборцев разных квалификаций / М.С. Терзи, Е.В. Леконцев, Д.А. Сарайкин и др. // Теория и практика физ. культуры. – 2016. – № 7. – С. 21–24. EID: 2-s2.0-84984607911
8. Регуляция интегративной деятельности организма спортсменов в условиях адаптации к нормобарической гипоксии и гиперкапнии / Д.О. Малеев, Е.Г. Виноградов, А.П. Исаев, А.В. Шевцов // Ученые записки ун-та им. П.Ф. Лесгафта. – 2021. – № 1 (191). – С. 211–216.
9. Рогозкин, В.А. Перспективы использования ДНК-технологий в спорте / В.А. Рогозкин, И.И. Ахметов, И.В. Астратенкова // Теория и практика физ. культуры. – 2006. – № 7. – С. 45–47.
10. Сергиенко, Л.П. Основы спортивной генетики / Л.П. Сергиенко. – Киев: Вища школа, 2004. – 631 с.
11. Сиваков, В.И. Квантовый энергетический метод в диагностике и прогнозировании успешных выступлений квалифицированных спортсменов / В.И. Сиваков, С.А. Айткулов, И.Ф. Черкасов // Теория и практика физ. культуры. – 2017. – № 6. – С. 78–80.
12. Суслов, Ф.П. Спортивная тренировка в условиях среднегорья / Ф.П. Суслов. – М.: 1999. – 202 с.
13. Dautzeunberg, F.M. Molecular biology of the CRH receptors-in the mood / F.M. Dautzeunberg, G.J. Klipatrick, R.L. Hauger // Peptides. – 2001. – Vol. 22. – P. 753–760. DOI:10.1016/S0196-9781(01)00388-6
14. 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. – No. 3. – P. 31–42. DOI: 10.23736/S0394-3410.18.03873-0 EID: 2-s2.0-85061581748
15. Genomic predictors the maximal O₂ uptake response to stand-undies exercise training programs / C. Bouchard, M.A. Sarzynski, T.K. Rice et al. // Appl. Physiol. – 2011. – Vol. 110 (5). – P. 1160–1170. DOI: 10.1152/jappphysiol.00973.2010
16. Levin, B.D. Intermittent hypoxia training: fact and fancy / B.D. Levin // High Alt. Med. Bid. – 2002. – Vol. 3. – P. 177–183. DOI: 10.1089/15270290260131911
17. Martin, M. Sport education and multiple intelligences: A path to student success / M. Martin, M. Morris // Strategies: A Journal for Physical and Sport Educators. – 2013. – No. 26 (4). – P. 31–34. DOI: 10.1080/08924562.2013.799931
18. Pescatello, L.S. Highlights from the Functional Single Nucleotide Polymorphisms Associated with Human Muscle Size and Strength or FAMuSS Study / L.S. Pescatello // Biomed Res. Int. – 2013. – P. 43–57. DOI: 10.1155/2013/643575
19. Psychophysiological Determinants of Successful Training and Competitive Activity of Martial Artists / V.I. Pavlova, D.A. Saraykin, Yu.G. Kamskova et al. // Journal of Pharmaceutical Sciences and Research. – 2017. – Vol. 9 (10). – P. 1792–1796. EID: 2-s2.0-85034075817
20. Pupis, M. Hypoxia as a component of sport training / M. Pupis, P. Korcok. – Banska Bystrica: KTVS FHV UMB, 2007. – 98 p.

21. Saraykin, D.A. *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. EID: 2-s2.0-85030542358

22. Williams, A.G. *Similarity of polygenic profiles limits the potential for elite human physical performance* / A.G. Williams, J.P. Folland // *J Physiol*. – 2008. – Vol. 586 (1). – P. 113–121. DOI: 10.1113/jphysiol.2007.141887

References

1. Vlahovich N. *Eticheskie aspekty geneticheskogo analiza i geneticheskikh issledovaniy v sporte: oficial'nyy otchet Avstraliyskogo instituta sporta* [Ethical Aspects of Genetic Analysis and Genetic Research in Sport. Official Report of the Australian Institute of Sport]. 2015. 13 p.

2. Rogozkin V.A., Astratenkova I.V., Druzhevskaya A.M., Fedorovskaya O.N. [Genes-Markers of Predisposition to Speed and Power Sports]. *Teoriya i praktika fizicheskoy kul'tury* [Theory and Practice of Physical Culture], 2005, no. 1, pp. 2–4. (in Russ.)

3. Digurova I.I., Gushchin A.G. [Changes of Microcirculation Indices and the Oxygen Transport Function of Blood Under Stress]. *Materialy XXIII s"ezda Fiziologicheskogo obshchestva im. I.P. Pavlova s mezhdunarodnym uchastiem* [Materials of the XXIII Congress of the I.P. Pavlov Physiological Society with International Participation], 2017, pp. 1347–1348. (in Russ.)

4. Isaev A.P., Erlikh V.V., Zalyapin V.I. [Analysis of Principal Components of Integrative Activity of Body of Middle Distance Runners]. *Teoriya i praktika fizicheskoy kul'tury* [Theory and Practice of Physical Culture], 2015, no. 8, pp. 27–29. (in Russ.)

5. Isaev A.P., Erlikh V.V. *Sport i srednegor'e. Modelirovanie adaptivnykh sostoyaniy sportsmenov: monografiya* [Sports and the Middle Mountains. Modeling of Adaptive States of Athletes]. Chelyabinsk, South Ural St. Univ. Publ., 2013. 425 p.

6. Meerson F.Z. *Adaptatsiya k vysotnoy gipoksii. Fiziologiya adaptatsionnykh protsessov* [Adaptation to High-Altitude Hypoxia. Physiology of Adaptation Processes]. Moscow, Science Publ., 1986. 635 p.

7. Terzi M.S., Lekontsev E.V., Saraykin D.A. et al. [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.)

8. Maleev D.O., Vinogradov E.G., Isaev A.P., Shevtsov A.V. [Integrative Activity of the Body During Adaptation to Normobaric Hypoxia and Hypercapnia]. *Uchenye zapiski universiteta imeni P.F. Lesgafta* [Scientific notes of the P.F. Lesgaft University], 2021, no. 1 (191), pp. 211–216. (in Russ.)

9. Rogozkin V.A., Akhmetov I.I., Astratenkova I.V. [Prospects of Using DNA Technologies in Sports]. *Teoriya i praktika fizicheskoy kul'tury* [Theory and Practice of Physical Culture], 2006, no. 7, pp. 211–216. (in Russ.)

10. Sergienko L.P. *Osnovy sportivnoy genetiki* [Fundamentals of Sports Genetics]. Kiev, Vishcha School Publ., 2004. 631 p.

11. Sivakov V.I., Aitkulov S.A., Cherkasov I.F. [Quantum Energy Method for Diagnostics and Competitive Success Forecasts in Elite Sports]. *Teoriya i praktika fizicheskoy kul'tury* [Theory and Practice of Physical Culture], 2017, no. 6, pp. 78–80. (in Russ.)

12. Suslov F.P. *Sportivnaya trenirovka v usloviyah srednegor'ya* [Sports Training in the Conditions of the Middle Mountains]. Moscow, 1999. 202 p.

13. Dautzeunberg F.M., Klipatrick G.J., Hauger R.L. Molecular Biology of the CRH Receptors-in the Mood. *Peptides*, 2001, vol. 22, pp. 753–760. DOI: 10.1016/S0196-9781(01)00388-6

14. Isaev A.P., Erlikh V.V., Bakhareva A.S. et al. 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. DOI: 10.23736/S0394-3410.18.03873-0 EID: 2-s2.0-85061581748

15. Bouchard C., Sarzynski M.A., Rice T.K. et al. Genomic Predictors the Maximal O₂ Uptake Response to Stand-Undies Exercise Training Programs. *Appl. Physiology*, 2011, vol. 110 (5), pp. 1160–1170. DOI: 10.1152/jappphysiol.00973.2010

16. Levin B.D. Intermittent Hypoxia Training: Fact and Fancy. *High Alt. Medical Bid.*, 2002, vol. 3, pp. 177–183. DOI: 10.1089/15270290260131911

17. Martin M., Morris M. Sport Education and Multiple Intelligences: A Path to Student Success. *Strategies: A Journal for Physical and Sport Educators*, 2013, no. 26 (4), pp. 31–34. DOI: 10.1080/08924562.2013.799931

18. Pescatello L.S. Highlights from the Functional Single Nucleotide Polymorphisms Associated with Human Muscle Size and Strength or FAMuSS Study. *Biomed Reserch Int.*, 2013, pp. 43–57. DOI: 10.1155/2013/643575

19. Pavlova V.I., Saraykin D.A., Kamskova Yu.G. et al. Psychophysiological Determinants of Successful Training and Competitive Activity of Martial Artists. *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 2017, vol. 9 (10), pp. 1792–1796. EID: 2-s2.0-85034075817

20. Pupis M., Korcok P. *Hypoxia as a Component of Sport Training*. Banska Bystrica: KTVS FHV UMB, 2007. 98 p.

21. 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. EID: 2-s2.0-85030542358

22. Williams A.G., Folland J.P. Similarity of Polygenic Profiles Limits the Potential for Elite Human Physical Performance. *Journal Physiology*, 2008, vol. 586 (1), pp. 113–121. DOI: 10.1113/jphysiol.2007.141887

Информация об авторах

Сарайкин Дмитрий Андреевич, кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности и медико-биологических дисциплин, Южно-Уральский государственный гуманитарно-педагогический университет. Россия, 454080, Челябинск, проспект Ленина, д. 69.

Павлова Вера Ивановна, доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник управления научных исследований, Южно-Уральский государственный гуманитарно-педагогический университет. Россия, 454080, Челябинск, проспект Ленина, д. 69.

Камскова Юлиана Германовна, доктор медицинских наук, профессор, профессор кафедры безопасности жизнедеятельности и медико-биологических дисциплин, Южно-Уральский государственный гуманитарно-педагогический университет. Россия, 454080, Челябинск, проспект Ленина, д. 69.

Эрлих Вадим Викторович, доктор биологических наук, доцент, директор Института спорта, туризма и сервиса, Южно-Уральский государственный университет. Россия, 454080, Челябинск, проспект Ленина, д. 76.

Ненашева Анна Валерьевна, доктор биологических наук, доцент, зав. кафедрой теории и методики физической культуры и спорта, Института спорта, туризма и сервиса, Южно-Уральский государственный университет. Россия, 454080, Челябинск, проспект Ленина, д. 76.

Information about the authors

Dmitriy A. Saraykin, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Life Safety and Medical and Biological Disciplines, South Ural State Humanitarian Pedagogical University, Chelyabinsk, Russia.

Vera I. Pavlova, Doctor of Biological Sciences, Professor, Principal Researcher, Department of Scientific Research, South Ural State Humanitarian Pedagogical University, Chelyabinsk, Russia.

Yuliana Gh. Kamskova, Doctor of Medical Sciences, Professor, Professor of the Department of Life Safety and Medical and Biological Disciplines, South Ural State Humanitarian Pedagogical University, Chelyabinsk, Russia.

Vadim V. Erlikh, Dotor of Biological Sciences, Associate Professor, Head of the Institute of Sport, Tourism and Service, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia.

Anna V. Nenasheva, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Theory and Methods of Physical Education and Sport, Institute of Sport, Tourism and Service, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia.

Статья поступила в редакцию 10.04.2022

The article was submitted 10.04.2022