

ГЕНЕТИКА

Научная статья

УДК 575.22:577.29

doi: 10.17072/1994-9952-2024-1-83-91.

Влияние генов *ADRB2* и *PPARGC1A* на развитие физического качества «выносливость» у единоборцев города Перми

Анна Владимировна Сорокина^{1, 2✉}, Анастасия Сергеевна Корякова³,
Дарья Романовна Левина⁴

^{1, 3, 4}Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

²Пермская государственная фармацевтическая академия, Пермь, Россия, vostanyuta@mail.ru

³Nasty-cosmo@ya.ru

⁴lvndrmvn@gmail.com

Аннотация. Знание генетической предрасположенности к определенным видам спортивной деятельности помогает улучшить развитие важных физических качеств, а также позволяет научно обоснованно провести отбор наиболее перспективных спортсменов и корректировку их тренировочного процесса. Цель данного исследования – выявление взаимосвязи полиморфных вариантов генов *ADRB2* (*Adrenoceptor Beta 2*) и *PPARGC1A* (*Peroxisome Proliferator-Activated Receptor Gamma Coactivator 1-Alpha*), ассоциированных с выносливостью, у занимающихся джиу-джитсу и вольной борьбой спортсменов и школьников, не занимающихся спортом. Выборка для исследований включала 100 человек, распределенных на Группу I, включающую единоборцев, и группу сравнения (Группа II), которую составили школьники, не занимающиеся спортом. У испытуемых в возрасте от 10 до 16 лет проведены исследования с использованием полимеразной цепной реакции в реальном времени (ПЦР-РВ) и выявлены полиморфизмы G/A гена *PPARGC1A* (rs8192678) и A/G гена *ADRB2* (rs1042713). Проведен анализ взаимосвязи между аллельными вариантами генов у единоборцев и группы сравнения; установлены достоверные отличия между Группой I и Группой II для генотипа G/G ($F_{оп} 3.13 > 1.96$ при $p=0.05$) и генотипа G/A ($F_{оп} 2.76 > 1.96$ при $p=0.05$) гена *PPARGC1A*. Для спортсменов, занимающихся джиу-джитсу и вольной борьбой, впервые показано, что генотипы G/G и G/A гена *PPARGC1A* могут быть использованы в качестве маркерных для прогноза формирования физического качества «выносливость». Частота общего генетического балла (ОГБ), рассчитанного для физического качества «выносливость», на основании полиморфизма генов *ADRB2* и *PPARGC1A* у 100 испытуемых варьировала от 0 до 100. Данные генетического анализа необходимы в процессе подготовки единоборцев в спортивных школах, т.к. на их основе можно составлять индивидуальные программы тренировок с учетом генотипа и особенностей физической подготовки конкретного спортсмена.

Ключевые слова: полиморфизм генов *ADRB2*, *PPARGC1A*, общий генетический балл, джиу-джитсу, вольные борцы

Для цитирования: Сорокина А. В., Корякова А. С., Левина Д. Р. Влияние генов *ADRB2* и *PPARGC1A* на развитие физического качества «выносливость» у единоборцев города Перми // Вестник Пермского университета. Сер. Биология. 2024. Вып. 1. С. 83–91. <http://dx.doi.org/10.17072/1994-9952-2024-1-83-91>.

Благодарности: авторы выражают благодарность тренеру Андрею Викторовичу Вычегжанину из Международной школы джиу-джитсу «Mata Leao» г. Перми, тренеру Алексею Алексеевичу Попову из спортивно-оздоровительного клуба «Планета» на базе МАУ ДО ЦДТ «Шанс» г. Перми и учащимся МАОУ СОШ № 37 и МАОУ СОШ № 32 г. Перми, принявших участие в исследовании.

GENETICS

Original article

The influence of *ADRB2* and *PPARGC1A* genes on the development of the “endurance” physical quality among martial artists of the city of Perm

Anna V. Sorokina^{1, 2✉}, Anastasia S. Koryakova³, Daria R. Levina⁴

^{1, 3, 4}Perm State University, Perm, Russia

²Perm State Pharmaceutical Academy, Perm, Russia, vostanyuta@mail.ru

³Nasty-cosmo@ya.ru

⁴lvndrmvn@gmail.com

Abstract. Knowledge of genetic predisposition to certain types of sport activities will help improve the development of important physical qualities, and will also allow of scientifically based selection of the most promising athletes and adjustment of their training process. The purpose of this study is to identify the relationship between polymorphic variants of the *ADRB2* (*Adrenoceptor Beta 2*) and *PPARGC1A* (*Peroxisome Proliferator-Activated Receptor Gamma Coactivator 1-Alpha*) genes associated with endurance in athletes involved in jiu-jitsu and freestyle wrestling and schoolchildren not involved in sports. The sample for the investigation included 100 people, divided into Group I, which included martial artists, and a comparison group (Group II), which consisted of schoolchildren who did not participate sports. Studies were conducted using real-time polymerase chain reaction (RT-PCR) in subjects aged 10 to 16 years, and polymorphisms G/A of the *PPARGC1A* gene (rs8192678) and A/G of the *ADRB2* gene (rs1042713) were identified. An analysis of the relationship between allelic variants of genes in martial artists and the comparison group was carried out. Significant differences were established between Group I and Group II for genotype G/G ($F_{op} 3.13 > 1.96$ at $p=0.05$) and genotype G/A ($F_{op} 2.76 > 1.96$ at $p=0.05$) of the *PPARGC1A* gene. For athletes involved in jiu-jitsu and freestyle wrestling, it has been shown that genotypes G/G and G/A of the *PPARGC1A* gene can be used as markers to predict the formation of the physical quality endurance. The frequency of the total genetic score (TGS) calculated for the physical quality endurance based on the polymorphism of the *ADRB2* and *PPARGC1A* genes in 100 subjects, varied from 0 to 100. Genetic analysis data is necessary in the process of training martial artists in sports schools: based on this data, it is possible to create individual training programs taking into account the genotype and physical fitness characteristics of a particular athlete.

Keywords: gene polymorphism *ADRB2*, *PPARGC1A*, total genetic score, jiu-jitsu, freestyle wrestlers

For citation: Sorokina A. V., Koryakova A. S., Levina D. R. [The influence of *ADRB2* and *PPARGC1A* genes on the development of the “endurance” physical quality among martial artists in the city of Perm]. *Bulletin of Perm University. Biology*. Iss. 1 (2024): pp. 83-91. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.17072/1994-9952-2023-4-83-91>.

Acknowledgments: the authors express their gratitude to coach Andrey Viktorovich Vychegzhanin from the International Jiu-Jitsu School “Mata Leao” in the city of Perm, coach Alexey Alekseevich Popov from the sports and health club “Planet” in the city of Perm and students of MAEI “Secondary School No. 37” and MAEI “Secondary School No. 32” of the city Perm.

Введение

Для эффективной корректировки тренировочного процесса необходимо подробное изучение полиморфизмов генов. Генотипирование позволяет делать прогнозы успешности спортсменов и составлять индивидуальные программы тренировок с учетом генетических особенностей [Рогозкин, Назаров, Казаков, 2000; Глотов, 2006; Аксенов, 2019]. Исследования генетической обусловленности ациклических движений начались сравнительно недавно [Вострикова, Боронникова, Закиров, 2020]. Такой тип движений представляет собой работу переменной интенсивности [Гурович, Иванова, 1977]. Неотъемлемыми элементами вольной борьбы являются захваты, перевороты, подсечки и активное использование ног [Сихымбаев, Утебеков, Мусаев, 2022]. Основой такого спортивного единоборства, как джиу-джитсу, являются удары руками и ногами, броски, борьба в партере, а также болевые и удушающие приемы [Коваль, 2009]. Таким образом, ведущими физическими качествами для единоборцев являются скоростно-силовые качества и выносливость.

Установлено, что более 220 генетических маркеров ассоциированы со спортивной деятельностью [Ahmetov, Hall, Semenova, 2022]. Подробное изучение полиморфизмов генов позволит существенно повысить эффективность раннего выявления предрасположенности к различным видам спорта. Аллельные варианты некоторых генов ассоциированы с проявлением физического качества «выносливость», которое имеет важное значение как в вольной борьбе, так и в джиу-джитсу. К генам, ассоциированным с физическим качеством «выносливость», относятся аллельные варианты генов *PPARGC1A*, *ADRB2* и другие [Зайцева, Аксенов, 2021; Выборная, Сорокина, Пескова, 2021].

Ген *ADRB2* (*Adrenoceptor Beta 2*) кодирует адренорецептор β_2 , обеспечивающий повышение или понижение активности иннервируемой ткани или органа, который связывается с катехоламинами и обеспечивает релаксацию гладкой мускулатуры, обладает липолитическим действием, а также увеличивает частоту и силу сердечных сокращений [Kachkovska et al., 2021]. Полиморфный локус rs1042713 гена *ADRB2* (аллель A) ассоциируется с проявлением выносливости у спортсменов [Sarpeshkar, Bentley, 2010; Сорокина, Денисова, Кешаянц, 2021]. Носительство аллели Gly (аллель G) является неблагоприятным фактором для спортивных результатов и коррелирует со значительным увеличением индекса массы тела, по сравнению с аллелью Arg [Иманбекова и др., 2013].

Ген *PPARGC1A* (*Peroxisome Proliferator-Activated Receptor Gamma Coactivator 1-Alpha* или *PGC1A*) кодирует белок – коактиватор 1-альфа-рецептора, активируемого пролифераторами пероксисом, гамма. Он участвует в дифференцировке клеток, в метаболизме мышечных тканей и в обмене жиров и углево-

дов. У гена *PPARGC1A* отмечен полиморфный локус Gly482Ser (rs8192678). Аллельные варианты полиморфизма Gly482Ser у единоборцев ассоциированы с проявлением выносливости и скоростно-силовых качеств, при этом аллель силы/скорости – Ser (A), а аллель Gly (G) ассоциирован с выносливостью [Ахметов, 2009].

Ранее нами было проведено исследование взаимосвязи полиморфизмов генов *ADRB2*, *NOS3* и *PPARGC1A*, ассоциированных с выносливостью, у единоборцев с разной спортивной квалификацией [Сорокина, Боронникова, 2023]. Сравнение спортсменов с людьми того же возраста, не занимающимися спортом, может дать более показательные результаты и значимые различия.

Цель работы – выявление взаимосвязи полиморфных вариантов генов *ADRB2* и *PPARGC1A*, ассоциированных с выносливостью, у занимающихся джиу-джитсу, вольной борьбой спортсменов и школьников, не занимающихся спортом.

Материал и методы исследования

Выборка для исследований включала 100 испытуемых, из них 22 спортсмена, занимающихся джиу-джитсу в Международной школе джиу-джитсу «Mata Leao» города Перми, 28 спортсменов, занимающихся вольной борьбой в спортивно-оздоровительном клубе «Планета» на базе МАУ ДО ЦДТ «Шанс» города Перми и 50 школьников из МАОУ СОШ № 37 и МАОУ СОШ № 32 г. Перми. Возраст испытуемых варьировал от 10 до 16 лет. Были сформированы две группы: Группа I включала 50 единоборцев со 2 юношеским разрядом; среди которых 45 единоборцев мужского пола и 5 женского пола. Группа II являлась группой сравнения и включала 10 учеников МАОУ СОШ № 32 и 40 учеников МАОУ СОШ № 37, из которых 40 человек мужского пола и 10 женского пола, которые не занимаются спортом. Единоборства являются преимущественно мужскими видами спорта, а потому в выборках преобладают лица мужского пола.

Забор биологического материала (буккального эпителия) для генетического анализа проводили с помощью соскоба эпителиальных клеток ротовой полости. От каждого испытуемого было получено добровольное согласие на забор биологического материала.

ДНК выделяли методом тотального осаждения и лизиса SDS (Sodium Dodecyl Sulfate, додецил сульфат натрия) с помощью коммерческого набора реагентов «EX-511 ДНК-Экстрап-2» (Синтол, Россия) в соответствии с инструкцией. Концентрацию проб ДНК определяли с помощью спектрофотометра SpectrofotometrTM NanoDrop 2000 «Thermo scientific» (USA). В ПЦР в реальном времени (ПЦР-РВ) при использовании подхода распознавания аллелей (Allelic Discrimination) выявлялись аллели генов *PPARGC1A* и *ADRB2*, а также аллельные варианты генов или генотипы, ассоциированные с выносливостью. Реактивы для выявления полиморфных локусов Gly482Ser гена *PPARGC1A* (rs8192678) и Arg16Gly гена *ADRB2* (rs1042713) синтезированы в ООО «Синтол» (г. Москва, Россия). Реактивы для амплификации ДНК смешивали в нужном объеме непосредственно перед проведением исследований. К реакционной смеси добавляли 5 мкл пробы ДНК индивидуально каждого единоборца. В качестве контроля использовали: а) отрицательный контроль (ОКО); б) положительный контрольный образец (ПКО) для гена *PPARGC1A* – ПКО 1 G/G, ПКО 2 G/A, ПКО 3 A/A; для гена *ADRB2* – ПКО 1 A/A, ПКО 2 A/G, ПКО 3 G/G. Определение аллелей и генотипов проводилось при помощи программы Bio-Rad (USA) на амплификаторе CFX96 (CFX96 Touch Real-Time PCR Detection System, USA). ПЦР-РВ для амплификации полиморфных локусов проводили по программе, описанной в инструкции к наборам реагентов. По каналу флуоресценции FAM (синий, длина волны возбуждения/детекции 470/515 нм) качественно определялось наличие в пробе аллеля G гена *PPARGC1A* и аллеля A гена *ADRB2*. По каналу флуоресценции HEX (зеленый, длина волны возбуждения/детекции 530/560 нм) можно обнаружить аллель A гена *PPARGC1A* и аллель G гена *ADRB2*. Каждая проба была проанализирована индивидуально. Эксперимент повторялся дважды. ПЦР-РВ проведена при условиях, предусмотренных в инструкции производителя набора реагентов ООО «Синтол». Интерпретация результатов ПЦР-РВ была проведена в программе Bio-Rad CFX Manager по инструкции компании ООО «Синтол».

Анализ полученных данных проводился с использованием программы STATISTICA 6.0 с определением нормальности распределения. Оценка генетической предрасположенности по качеству «выносливость» на основании полученного генного профиля единоборцев проводилась с помощью метода расчета «общего генетического балла» или ОГБ [Williams, Folland, 2008]. Общий генетический балл генного профиля, связанного с физическим качеством «выносливость», рассчитывали по формуле: $ОГБ_{выносливость} = (100/4) * (ГБ_{ADRB2} + ГБ_{PPARGC1A})$. Использовали индивидуальные профили следующих полиморфизмов с присвоением их вариантов баллов (0, 1, 2): а) *ADRB2* Arg16Gly полиморфизм: A/A = 2, A/G = 1, G/G = 0; б) *PPARGC1A* Gly482Ser полиморфизм: G/G = 2, G/A = 1, A/A = 0.

Для хранения и обработки результатов исследований была создана матрица данных в виде электронных таблиц MS Excel 2010. Сравнение несвязанных выборок (ОГБ испытуемых между группой I – еди-

ноборцев – и Группой II – группой сравнения) осуществлялось при помощи критерия Фишера, F-критерий Фишера стандартный, равен 1.96 (при $p = 0.05$).

Результаты и их обсуждение

В ПЦР в реальном времени при использовании подхода распознавания аллелей (Allelic Discrimination) рост по каналу FAM указывает на присутствие аллеля G гена *PPARGC1A* и аллеля A гена *ADRB2* в пробе ДНК испытуемого (рис. 1). Рост по каналу HEX обозначает наличие аллеля A гена *PPARGC1A* и аллеля G гена *ADRB2* в пробе ДНК. Соответственно, присутствие обоих аллелей в пробе свидетельствует о наличии генотипа G/A гена *PPARGC1A* и генотипа A/G гена *ADRB2*. Результаты подлежат учету только в случае, когда положительный контрольный образец имеет положительные результаты по каналам FAM и HEX, а отрицательный контрольный образец имеет отрицательные результаты по каналам FAM и HEX. Положительный контрольный образец необходим для определения специфичности набора реагентов к аллелям A и G гена *ADRB2* и аллелям G и A гена *PPARGC1A*. Отрицательный контрольный образец необходим для подтверждения отсутствия в реакционной смеси контаминации и ингибирования.

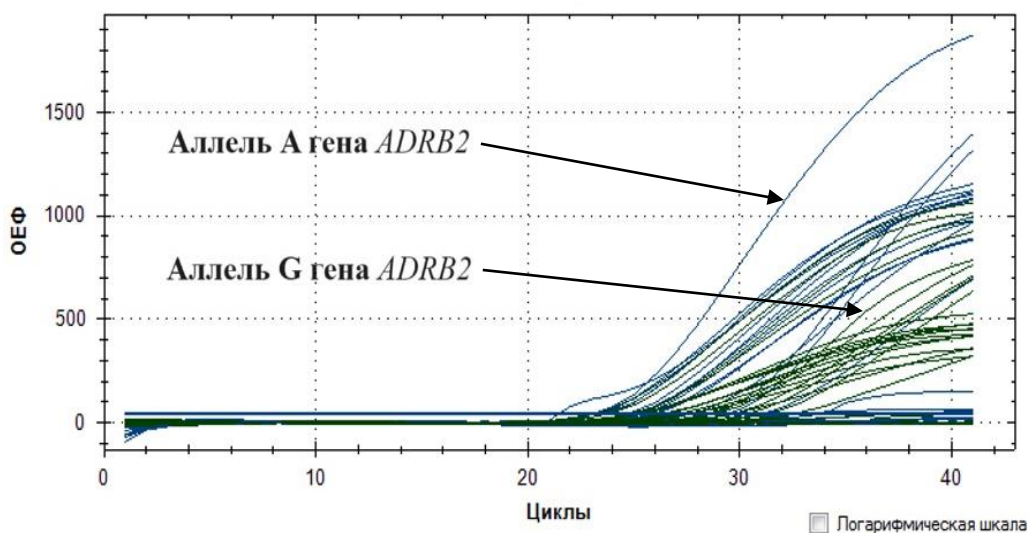


Рис. 1. Кинетические кривые флуоресценции, полученные для проб ДНК из буккального эпителия единоборцев при анализе гена *ADRB2*.

Цвета, соответствующие каналам детекции флуоресценции: FAM (аллель A гена *ADRB2*) – синий, HEX (аллель G гена *ADRB2*) – зеленый; ОЕФ – относительные единицы флуоресценции, циклы – циклы амплификации

[Fluorescence kinetic curves obtained for DNA samples from the buccal epithelium of martial artists when analyzing the *ADRB2* gene.

Colors corresponding to fluorescence detection channels: FAM (A allele of the *ADRB2* gene) – blue, HEX (G allele of the *ADRB2* gene) – green; RFU – relative fluorescence units, cycles – amplification cycles]

По результатам ПЦР в реальном времени было выявлено, что частота встречаемости аллелей A и G гена *ADRB2* составила 0.40 и 0.60 соответственно (табл. 1). По данным распределения частот полиморфных позиций Arg16Gly гена *ADRB2* выявлено, что генотип A/A, являющийся наиболее благоприятным для развития физического качества «выносливость», обнаружен у 15 из 100 испытуемых, что составляет частоту 0.15. Самый неблагоприятный генотип для развития физического качества «выносливость» G/G, ассоциируемый с увеличением индекса массы тела, был обнаружен у 34 человек, что соответствует частоте 0.34. Генотип A/G встречается у половины испытуемых с частотой 0.51 и также является предиктором повышенного риска гипертензии у лиц с ожирением [Баранов, 2009].

Анализ распределения генотипов в группе спортсменов (Группа I) и группе сравнения (Группа II) показал следующие результаты. При определении полиморфизма Arg16Gly гена *ADRB2* у испытуемых установлено, что частота аллелей в Группе I составила 0.37 (аллель A) и 0.63 (аллель G), а в Группе II – 0.44 и 0.56 соответственно. Анализ частот аллелей в обеих группах показал незначимые различия по частоте аллелей A и G ($F_{\text{оп}} 0.69 < 1.96$ при $p = 0.05$). Генотип A/A в исследуемой выборке у спортсменов в Группе I определен с частотой 0.14, а у испытуемых из Группы II – с частотой 0.16. Сравнение показало недостоверные различия между группами испытуемых по генотипу A/A ($F_{\text{оп}} 0.27 < 1.96$ при $p = 0.05$). Анализ частот гетерозиготного генотипа A/G с частотой 0.46 в Группе I и с частотой 0.56 в Группе II также не выявил значимых отличий между группами ($F_{\text{оп}} 0.96 < 1.96$ при $p = 0.05$). Самый неблагоприятный гено-

тип G/G, связанный с увеличением индекса массы тела, в Группе I был выявлен с частотой 0.40, а в Группе II – с частотой 0.28, данные не имеют достоверных отличий по критерию Фишера ($F_{оп} 1.22 < 1.96$ при $p=0.05$).

Таблица 1

Частоты аллелей и генотипов генов *ADRB2* и *PPARGC1A* у единоборцев школы «Mata Leao» г. Перми и спортивно-оздоровительного клуба «Планета» г. Перми и школьников MAOY «СОШ № 37» и MAOY «СОШ № 32» г. Перми (n = 100)

[Frequencies of alleles and genotypes of the *ADRB2* and *PPARGC1A* genes in martial artists of the «Mata Leao» school in Perm and the «Planet» club in Perm and schoolchildren of "Secondary School No. 37" and "Secondary School No. 32" (n=100)]

Аллели / Генотипы	Частоты аллелей / генотипов в группах (число испытуемых)		Частоты аллелей / генотипов на общую выборку в 100 человек	$F_{оп} > F_{ст}$
	Группа I	Группа II		
Ген <i>ADRB2</i>				
A (Arg)	0.37	0.44	0.40	0.69 < 1.96
G (Gly)	0.63	0.56	0.60	0.69 < 1.96
A/A	0.14 (7)	0.16 (8)	0.15 (15)	0.27 < 1.96
A/G	0.46 (23)	0.56 (28)	0.51 (51)	0.96 < 1.96
G/G	0.40 (20)	0.28 (14)	0.34 (34)	1.22 < 1.96
Ген <i>PPARGC1A</i>				
A (Ser)	0.18	0.36	0.72	1.97 > 1.96
G (Gly)	0.82	0.64	0.28	1.97 > 1.96
G/G	0.68 (34)	0.36 (18)	0.52 (52)	3.13 > 1.96
G/A	0.28 (14)	0.56 (28)	0.42 (42)	2.76 > 1.96
A/A	0.04 (2)	0.08 (4)	0.06 (6)	0.82 < 1.96

Примечание. Ген *ADRB2* (*Adrenoceptor Beta 2*) полиморфизм A/G; ген *PPARGC1A* (*Peroxisome Proliferator-Activated Receptor Gamma Coactivator 1-Alpha*) полиморфизм G/A; Группа I – спортсмены-единоборцы; Группа II – группа сравнения – школьники; $F_{оп}$ – F-критерий Фишера, $F_{ст}$ – критерий Фишера стандартный равен 1.96 (при $p=0.05$); число испытуемых указано только у генотипов; полужирным шрифтом выделены значимые отличия.

Среди 100 испытуемых аллели G и A гена *PPARGC1A* встречались с частотами 0.72 и 0.28 соответственно. Генотип G/G выявлен у большинства человек (52), это соответствует частоте 0.52. При данном генотипе в организме спортсмена наблюдается увеличенное число митохондрий в клетках и усиление окисления жирных кислот. Генотип G/A был выявлен у 42 испытуемых с частотой 0.42, для данного генотипа характерно среднее число митохондрий в клетках и средняя степень окисления жирных кислот. При наличии генотипа A/A отмечается пониженное число митохондрий в клетках и низкая степень окисления жирных кислот. Такой генотип был определен у 6 человек с минимальной частотой 0.06. Кроме того, наличие аллеля A связано с риском развития гипертензии и повышения систолического и диастолического давления в возрасте до 50 лет [Brito et al., 2009].

При определении полиморфизма Gly482Ser гена *PPARGC1A* у испытуемых двух групп установлено, что у спортсменов в Группе I частота аллелей составила 0.82 (аллель G) и 0.18 (аллель A), а у группы сравнения – Группы II – 0.64 и 0.36 соответственно. Частота благоприятного для формирования выносливости генотипа G/G в Группе I составила 0.68, гетерозиготы G/A – 0.14, а менее благоприятного генотипа A/A – 0.04. В Группе II частота благоприятного генотипа уменьшилась до значения 0.36 в сравнении с Группой I. Значение частоты гетерозиготы G/A, наоборот, увеличилось и составляет 0.56. Частота неблагоприятного генотипа A/A увеличилась незначительно – 0.08. Анализ частот генотипов гена *PPARGC1A* у спортсменов из Группы I и у группы сравнения – Группы II – свидетельствует о достоверных различиях по генотипу G/G ($F_{оп} 3.13 > 1.96$ при $p=0.05$). Генотип G/A достоверно реже встречается у испытуемых в Группе I ($F_{оп} 2.76 > 1.96$ при $p=0.05$). Частота генотипа A/A показала незначительные различия между группами ($F_{оп} 0.82 < 1.96$ при $p=0.05$).

В результате исследования было установлено, что у 100 испытуемых частота встречаемости ОГБ, рассчитанного для физического качества «выносливость», на основании полиморфизма двух генов варьировала от 0 (низкий балл) до 100 (высокий балл) (табл. 2). Спортсмены с ОГБ, равным 100, обладают самой высокой предрасположенностью к развитию выносливости. У единоборцев с ОГБ, равным 0, отсутствует такая генетическая предрасположенность. Как отмечают тренеры из изученных спортивных школ, единоборцы с таким ОГБ не обладают необходимым для занятий джиу-джитсу, вольной борьбой, самбо, карате или дзюдо уровнем выносливости и добровольно завершают свою спортивную карьеру.

Самый высокий показатель ОГБ (100 баллов) среди обследованных участников исследований встречался с частотой 0.07 у 7 человек, четверо из которых были спортсмены (0.08), а трое – из группы сравнения (0.06). Высокий показатель ОГБ, равный 75, был отмечен у 33 испытуемых с частотой 0.33. Средний ОГБ (50 баллов) был выявлен с частотой 0.40 у 40 участников исследований, а ОГБ, равный 25, – у

17 человек с частотой 0.17. Частота самого низкого ОГБ по физическому качеству «выносливость» (0 баллов) имеет значение 0.03 и отмечается у 3 участников исследования.

Таблица 2

Общий генетический балл испытуемых на основании полиморфизма генов *ADRB2* и *PPARGC1A* (n=100)

[Overall genetic score of the subjects based on the polymorphism of the *ADRB2* and *PPARGC1A* genes (n=100)]

ОГБ выносливость	Группа I (50 человек)	Группа II (50 человек)	Всего (100 человек)	F _{оп}
0	0.02 (1)	0.04 (2)	0.03 (3)	0.57<1.96
25	0.10 (5)	0.24 (12)	0.17 (17)	1.82<1.96
50	0.44 (22)	0.36 (18)	0.40 (40)	0.78<1.96
75	0.36 (18)	0.30 (15)	0.33 (33)	0.61<1.96
100	0.08 (4)	0.06 (3)	0.07 (7)	0.38<1.96

Примечание. Сравнение несвязанных выборок (ОГБ испытуемых между Группой I – единоборцами и Группой II – группой сравнения) осуществлялось критерием Фишера, F-критерий Фишера стандартный равен 1.96 (при p=0.05).

Анализ полиморфных позиций генов *ADRB2* и *PPARGC1A*, контролирующих проявление физического качества «выносливость», у единоборцев на основании ОГБ выявил, что у 4 спортсменов Группы I наивысший ОГБ (100 баллов) отмечен с частотой 0.08. Высокий результат (75 баллов) выявлен у 18 спортсменов с частотой 0.36. Средний показатель предрасположенности к развитию выносливости на основании двух генов (50 баллов) определен у 22 спортсменов из Группы I с частотой 0.44. Низкий показатель ОГБ (25 баллов) среди единоборцев Группы I был выявлен у пяти спортсменов, частота составила 0.10.

В группе сравнения (Группе II) выявлено 12 участников исследования с низким показателем ОГБ (25 баллов) с частотой 0.24, а также определена большая доля участников со средним показателем ОГБ (50 баллов), которая составляет 0.36 у 18 школьников. Высокий ОГБ, равный 75, при данной выборке выявлен с частотой 0.30 у 15 школьников, что меньше по сравнению с Группой I. Наивысший показатель ОГБ (100 баллов), свидетельствующий о предрасположенности к развитию выносливости, у участников исследования из Группы II обнаружен у троих испытуемых с частотой 0.06.

Распределение показателя ОГБ, рассчитанное для качества «выносливость», на основании полиморфизма генов *ADRB2* и *PPARGC1A* представлено на рис. 2.

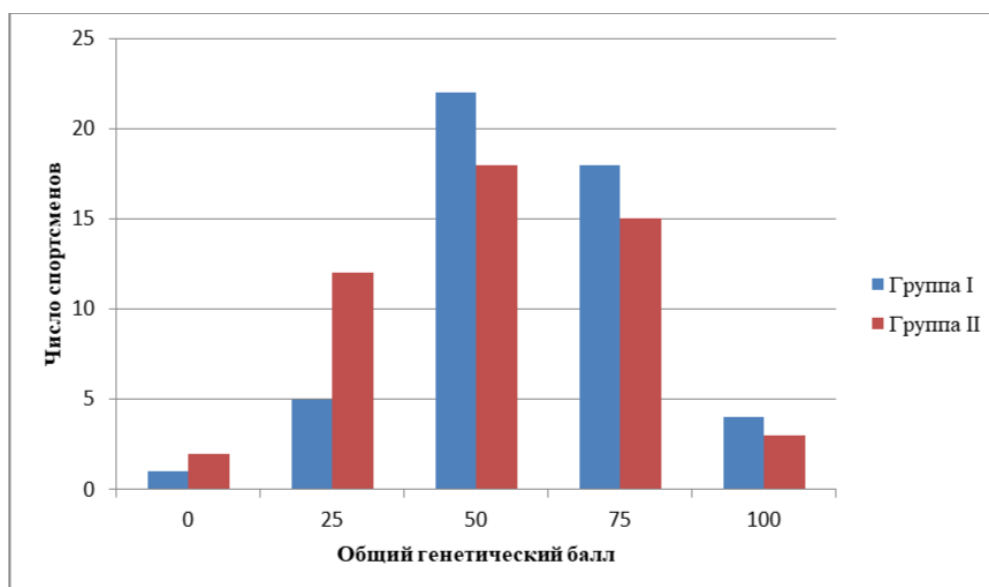


Рис. 2. Распределение общего генетического балла, установленного у испытуемых (n=100) для качества выносливость, на основании полиморфизма генов *ADRB2* и *PPARGC1A*

[Distribution of the total genetic score determined in the subjects (n=100) for the quality “endurance”, based on the polymorphism of the *ADRB2* and *PPARGC1A* genes]

С помощью критерия Фишера была проведена оценка различий среди двух выборок общим генетическим баллом между группами единоборцев и группой сравнения. Анализ частот общего генетического балла, определенного на основании полиморфизма двух генов, у спортсменов Группы I при сравнении с Группой II показал, что значимых отличий не выявлено.

Заключение

Полученные данные доказывают, что в процессе отбора отсеиваются спортсмены с неблагоприятными генотипами, т.к. у них не формируется выносливость в нужной для занятий единоборствами степени. Это происходит по многим причинам, одной из которых является их низкая работоспособность, обусловленная генетически, и долгое время восстановления после тренировки.

В данной выборке единоборцев испытуемые с высоким ОГБ встречаются чаще, чем в группе сравнения, но не значительно. Это можно объяснить тем, что для исследования выбраны только два гена, а также тем, что у всех спортсменов 2 юношеский разряд, что не является достаточно высоким, и, возможно, одни единоборцы еще не успели проявить себя, а другие в будущем могут оставить данный вид спорта.

Впервые установлено, что генотипы G/G и G/A гена *PPARGC1A* могут быть использованы в качестве маркерных для определения развития физического качества «выносливость» у спортсменов, занимающихся джиу-джитсу и вольной борьбой. Данные генетического анализа будут полезны в процессе подготовки единоборцев в спортивных школах, т.к. на их основе можно составлять индивидуальные программы подготовки с учетом генотипа и особенностей физической подготовки конкретного спортсмена. Это должно привести к росту спортивных достижений, сохранению здоровья и увеличению спортивного долголетия [Kambouris at al., 2012].

Для спортсменов с наивысшим ОГБ (100 баллов) и высоким ОГБ (75 баллов) по физическому качеству «выносливость», определенному на основании полиморфизма двух генов, возможны интенсивные нагрузки на тренировках. Спортсменам со средним ОГБ (50 баллов) по физическому качеству «выносливость», приемлема нагрузка умеренной интенсивности.

На основании всех полученных данных можно сделать вывод, что для спортсменов-единоборцев большое значение имеет развитие выносливости. Подход определения общего генетического балла позволяет выявить генетическую предрасположенность к формированию физических качеств спортсменов, а изучение предрасположенности спортсменов позволит в дальнейшем повысить надежность и эффективность системы индивидуального отбора и подготовки высококвалифицированных спортсменов. Необходимо учитывать наличие благоприятных генотипов необходимо учитывать наряду с другими факторами, влияющими на достижения единоборцев в спортивной карьере. Помимо генотипов, в достижении высоких спортивных результатов большую роль играют и другие факторы, например, морфометрические показатели, физиологическое и психологическое состояние спортсмена.

Список источников

1. Аксенов М.О. Генетические факторы формирования мышечной силы и массы у спортсменов // Вестник спортивной науки. 2019. № 4. С. 29–34.
2. Ахметов И.И. Молекулярная генетика спорта. М.: Советский спорт, 2009. 268 с.
3. Баранов В.С. Генетический паспорт – основа индивидуальной и предиктивной медицины. СПб.: Изд-во Н-Л, 2009. 528 с.
4. Вострикова А.В., Боронникова С.В., Закиров Р.М. Молекулярно-генетический анализ генов *ACTN3* и *AMPD1* у дзюдоистов спортивной школы по самбо и дзюдо «Витязь» г. Перми // Бюллетень науки и практики. 2020. № 4. С. 27–35.
5. Выборная К.В., Сорокина Е.Ю., Пескова Е.В. Генетические полиморфизмы, ассоциированные со спортивной успешностью, у спортсменов, представляющих художественную гимнастику // Тенденции развития науки и образования. 2021. № 79-1. С. 78–83.
6. Глотов А.С. Разработка и апробация тест-систем на основе гелевых биочипов для изучения генетического полиморфизма человека: автореф. дис. ... канд. биол. наук. СПб., 2006. 18 с.
7. Гурович Л.И., Иванова Г.П. Спортивные и подвижные игры: учебник. М.: Физкультура и спорт, 1977. 382 с.
8. Зайцева А.О., Аксенов М.О. Роль гена *PPARGC1A* в развитии выносливости спортсменов // Материалы III Всерос. науч.-практ. конф. М., 2021. С. 785–790.
9. Иманбекова М.К. и др. Спорт и генетика // Eurasian Journal of Applied Biotechnology. 2013. № 2. С. 2–12.
10. Коваль К.Ю. Влияние принципов джиу-джитсу на эмоциональное состояние спортсменов // Педагогика, психология и мед.-биол. проблемы физ. воспитания и спорта. 2009. № 5. С. 121–124.
11. Рогозкин В.А., Назаров И.Б., Казаков В.И. Генетические маркеры физической работоспособности человека // Теория и практика физической культуры. 2000. № 12. С. 34–36.
12. Сихымбаев К.С., Утебеков Е.М., Мусаев А.О. Вольная борьба в Казахстане // Инновации. Наука. Образование. 2022. № 52. С. 896–899.

13. Сорокина А.В., Боронникова С.В. Молекулярно-генетический анализ генов *ADRB2*, *NOS3* и *PPARGC1A* у единоборцев города Перми // Вестник Пермского университета. Сер. Биология. 2023. Вып. 4. С. 385–393.

14. Сорокина Е.Ю., Денисова Н.Н., Кешабянц Э.Э. Частота встречаемости генетических полиморфизмов, ассоциированных со спортивной успешностью, у спортсменов игровых видов спорта высших достижений // Спортивная медицина: наука и практика. 2021. № 1. С. 5–10.

15. Ahmetov I.I. et al. Advances in sports genomics // *Advances in Clinical Chemistry*. 2022. Vol. 107. P. 215–263.

16. Brito E.C. et al. *PPARGC1A* sequence variation and cardiovascular risk-factor levels: a study of the main genetic effects and gene x environment interactions in children from the European Youth Heart Study // *Diabetologia*. 2009. Vol. 52. P. 609–613.

17. Kachkovska V.V. et al. Arg16Gly polymorphism in the β 2-adrenoceptor gene in patients with bronchial asthma // *Wiadomosci Lekarskie*. 2021. № 74. P. 1200–1203.

18. Kambouris M. et al. Predictive Genomics DNA Profiling for Athletic Performance // *Recent Patents on DNA & Gene Sequences*. 2012. Vol. 6, № 3. P. 229–239.

19. Sarpeshkar V., Bentley D.J. Adrenergic- β 2 receptor polymorphism and athletic performance // *Journal of Human Genetics*. 2010. Vol. 55. P. 479–485.

20. Williams A.G., Folland J.P. Similarity of polygenic profiles limits the potential for elite human physical performance // *The journal of physiology*. 2008. Vol. 586, № 1. P. 113–121.

References

1. Aksenov M.O. [Genetic factors in the formation of muscle strength and mass in athletes]. *Vestnik sportivnoj nauki*. No. 4 (2019): pp. 29-34. (In Russ.).

2. Ahmetov I.I. *Molekularnaja genetika sporta* [Molecular genetics of sports]. Moscow, Sovetskij sport Publ., 2009. 268 p. (In Russ.).

3. Baranov V.S. *Genetičeskij pasport – osnova individual'noj i prediktivnoj mediciny* [Genetic passport is the basis of individual and predictive medicine]. St-Peterburg, N-L Publ., 2009. 528 p. (In Russ.).

4. Vostrikova A.V., Boronnikova S.V., Zakirov R.M. [Molecular genetic analysis of the ACTN3 and AMPD1 genes in judokas of the sports school for sambo and judo “Vityaz” in Perm]. *Byulleten' nauki i praktiki*. No. 4 (2020): pp. 27-35. (In Russ.).

5. Vybornaya K.V., Sorokina Ye.Yu., Peskova Ye.V. [Genetic polymorphisms associated with sports success in athletes representing rhythmic gymnastics]. *Tendencii razvitija nauki i obrazovanija*, No. 79-1 (2021): pp. 78-83. (In Russ.).

6. Glotov A.S. *Razrabotka i aprobacija test-sistem na osnove gelevych biočipov dlja izučenija genetičeskogo polimorfizma čeloveka. Avtoref. diss. kand. biol. nauk* [Progressus et probatio testium systematum gel biochips innixum ad investigandum polymorphismum geneticum humanum. Abstract Cand. Diss.]. St-Peterburg, 2006. 18 p. (In Russ.).

7. Gurovish L.N., Ivanova G.P. *Sportivnye i podvižnye igry* [Sports and outdoor games: textbook]. Moscow, Fiskul'tura i sport Publ., 1977. 382 p. (In Russ.).

8. Zaytseva A.O., Aksenov M.O. [The role of the *PPARGC1A* gene in the development of endurance in athletes]. *Materialy III Vserossijskoj naučno-praktičeskoj konferencii s meždunarodnym učastiem* [Materials of the III All-Russian Scientific and Practical Conference]. Moscow, 2021, pp. 785-790. (In Russ.).

9. Imanbekova M.K., Zholdibaeva E.V., Esentaev T.K., Mominaliev K.T. [Sports and genetics]. *Eurasian Journal of Applied Biotechnology*. No. 2 (2013): pp. 2-12. (In Russ.).

10. Koval K.Yu. [Influentia principiorum jiu-jitsu in statu permotionis athletarum]. *Pedagogika, psihologija i med.-biol. problemy fiz. vospitanija i sporta*. No. 5 (2009): pp. 121-124. (In Russ.).

11. Rogozkin V.A. [Genetic markers of human physical performance]. *Teorija i praktika fizičeskoj kul'tury*. No. 12 (2000): pp. 34-36. (In Russ.).

12. Sikhymbayev K.S., Utebekov Ye.M., Musayev A.O. [Freestyle wrestling in Kazakhstan]. *Innovacii. Nauka. Obrazovanie*, No. 52 (2022): pp. 896-899. (In Russ.).

13. Sorokina A.V., Boronnikova S.V. [Molecular genetic analysis of *ADRB2*, *NOS3* and *PPARGC1A* genes in martial artists of the city of Perm]. *Bulletin of Perm University. Biology*. Iss. 4 (2023): pp. 385-393. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.17072/1994-9952-2023-4-385-393>.

14. Sorokina Ye.Yu., Denisova N.N., Keshabyants E.E. [Frequency of occurrence of genetic polymorphisms associated with sports success in elite team sports athletes]. *Sportivnaja medicina: nauka i praktika*. No. 1 (2021): pp. 5-10. (In Russ.).

15. Ahmetov I.I., Hall E.C.R., Semenova E.A., Pranckeviciene E., Gineviciene V. Advances in sports genomics. *Advances in Clinical Chemistry*. V. 107 (2022): pp. 215-263.

16. Brito E.C., Vimalaswaran K.S., Brage S., Andersen L.B., Sardinha L.B., Wareham N.J., Ekelund U., Loos R.J., Franks P.W. *PPARGC1A* sequence variation and cardiovascular risk-factor levels: a study of the main

genetic effects and gene x environment interactions in children from the European Youth Heart Study. *Diabetologia*. V. 52 (2009): pp. 609-613.

17. Kachkovska V.V., Kovchun A.V., Moysenchenko I.O., Dudchenko I.O. Arg16Gly polymorphism in the β 2-adrenoceptor gene in patients with bronchial asthma. *Wiadomosci Lekarskie*. No. 74 (2021): pp. 1200-1203.

18. Kambouris M., Ntalouka F., Ziogas G., Maffulli N. Predictive Genomics DNA Profiling for Athletic Performance. *Recent Patents on DNA & Gene Sequences*. V. 6, No. 3 (2012): pp. 229-239.

19. Sarpeshkar V., Bentley D.J. Adrenergic- β 2 receptor polymorphism and athletic performance. *Journal of Human Genetics*. V. 55 (2010): pp. 479-485.

20. Williams A.G., Folland J.P. Similarity of polygenic profiles limits the potential for elite human physical performance. *The journal of physiology*. V. 586, No. 1 (2008): pp. 113-121.

Статья поступила в редакцию 21.01.2024; одобрена после рецензирования 29.01.2024; принята к публикации 05.03.2024.

The article was submitted 21.01.2024; approved after reviewing 29.01.2024; accepted for publication 05.03.2024.

Информация об авторах

А. В. Сорокина – аспирант кафедры ботаники и генетики растений;

А. С. Корякова – студент магистратуры, кафедра ботаники и генетики растений;

Д. Р. Левина – студент бакалавриата, кафедра ботаники и генетики растений.

Information about the authors

A. V. Sorokina – Postgraduate student of the Faculty of Biology, Department of Botany and Plant Genetics;

A. S. Koryakova – Master's student, Department of Botany and Plant Genetics;

D. R. Levina – Bachelor's student, Department of Botany and Plant Genetics.

Вклад авторов:

Сорокина А. В. – лабораторный анализ материала; обобщение результатов; итоговые выводы.

Корякова А. С. – лабораторный анализ материала; написание исходного текста.

Левина Д. Р. – лабораторный анализ материала; статистическая обработка материала.

Contribution of the authors:

Sorokina A. V. – laboratory analysis of the material; generalization of results; final conclusions.

Koryakova A. S. – laboratory analysis of the material; writing the source text.

Levina D. R. – laboratory analysis of the material; statistical processing of material.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.