

# ГЕНЕТИЧЕСКИЕ МАРКЕРЫ *ACE*, *PPARA* И *PPARG* КАК ПРЕДИКТОРЫ СПОРТИВНОГО МАСТЕРСТВА В РАЗЛИЧНЫХ ВИДАХ СПОРТА

А.З. Даутова<sup>1</sup>, Е.А. Семенова<sup>1,2</sup>, А.А. Зверев<sup>1</sup>, А.С. Назаренко<sup>1</sup>, В.Г. Шамратова<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Поволжский государственный университет физической культуры, спорта и туризма, Казань, Россия

<sup>2</sup>Федеральный научно-клинический центр физико-химической медицины ФМБА России, Москва, Россия

<sup>3</sup>Башкирский государственный медицинский университет Минздрава РФ, Уфа, Россия

## Аннотация

**Цель исследования** – изучить влияние отбора на распределение частот аллелей rs4646994 гена *ACE*, rs4253778 гена *PPARA* и rs1801282 гена *PPARG* у спортсменов различных видов спорта.

**Материалы и методы исследования.** В исследовании приняли участие 250 спортсменов в возрасте от 9 до 41 лет с разным уровнем спортивной квалификации (академическая гребля, легкая атлетика, лыжные гонки, плавание). Группу сравнения составили 266 человек, не занимающихся спортом, в возрасте от 19 до 25 лет.

**Результаты исследования.** Установлено, что, независимо от квалификации спортсменов, у атлетов аэробного характера работы превалирует аллель rs4646994\*I (дети – 68,18%, взрослые без разряда – 66,67%, КМС – 66,67% и МС, МСМК – 59,09%). В то же время у спортсменов анаэробного характера работы встречаемость аллеля rs4646994\*D имела тенденцию к росту по мере повышения спортивного мастерства (дети – 48,18%, взрослые без разряда – 56,58%, КМС – 62,5%, МС, МСМК – 75%) ( $\chi^2=6,14$ , OR=0,31,  $p=0,006$ ). Частота аллеля rs4253778\*G превалировала у стайеров по сравнению с атлетами анаэробного режима энергообеспечения ( $\chi^2=3,46$ , OR=0,47,  $p=0,03$ ) и группой сравнения ( $\chi^2=4,48$ , OR=0,49,  $p=0,017$ ). При оценке распределения частот аллелей и генотипов полиморфизма rs1801282 (*PPARG*) у спортсменов разной квалификации и специализации не обнаружено статистически значимых отличий.

**Заключение.** Таким образом, полиморфный вариант rs4646994\*D (*ACE*) может быть использован как один из критериев отбора в скоростно-силовых видах спорта. Аллели rs4646994\*I (*ACE*) и rs4253778\*G (*PPARA*) являются благоприятными для развития физического качества «выносливость». При этом с ростом спортивной квалификации распределение частот аллелей rs4646994\*I (*ACE*) и rs4253778\*G (*PPARA*) у атлетов аэробного режима энергообеспечения не менялось. В нашем исследовании полиморфизм rs1801282 гена *PPARG* не продемонстрировал ассоциации с ростом квалификации.

**Ключевые слова:** генетический отбор, полиморфизмы, гены, спортивная успешность.

## *ACE*, *PPARA* AND *PPARG* GENETIC MARKERS AS PREDICTORS OF SPORTS PERFORMANCE IN ATHLETES OF DIFFERENT SPORTS

<sup>1</sup>A.Z. Dautova, e-mail: dautova.az@mail.ru, ORCID: 0000-0003-3069-2178

<sup>1,2</sup>E.A. Semenova, e-mail: alecsekaterina@gmail.com, ORCID: 0000-0003-1248-2855

<sup>1</sup>A.A. Zverev, e-mail: alekcei5@rambler.ru, ORCID: 0000-0002-2555-1728

<sup>1</sup>A.S. Nazarenko, e-mail: hard@inbox.ru, ORCID: 0000-0002-3067-8395

<sup>3</sup>V.G. Shamratova, e-mail: distantshamratova@mail.ru, ORCID: 0000-0002-7633-4264

<sup>1</sup>Volga Region State University of Physical Culture, Sports and Tourism, Kazan, Russia

<sup>2</sup>Federal Research and Clinical Center of Physical-Chemical Medicine, Moscow, Russia

<sup>3</sup>Bashkir State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation, Ufa, Russia

## Abstract

**The purpose of the research** is to study the effect of selection on the distribution of allele frequencies of rs4646994 of the *ACE* gene, rs4253778 of the *PPARA* gene, and rs1801282 of the *PPARG* gene in athletes of various sports.

**Materials and research methods.** The study involved 250 athletes aged 9 to 41 years with different levels of sports qualifications (academic rowing, athletics, cross-country skiing, swimming). The comparison group consisted of 266 people aged 19 to 25 years not involved in sports.

**Research results.** It has been established that, regardless of the qualifications of athletes, the rs4646994\*I allele prevails among athletes of the aerobic nature of work (children – 68.18%, adults without a category – 66.67%,

candidate for master of sport – 66.67% and master of sport, master of sport of international class – 59.09 %). At the same time, in athletes of anaerobic nature of work, the occurrence of the rs4646994\*D allele tended to increase with increasing sportsmanship (children - 48.18%, adults without a discharge – 56.58%, candidate for master of sport – 62.5%, master of sport, master of sport of international class – 75%) ( $\chi^2=6.14$ , OR=0.31,  $p=0.006$ ). The frequency of the rs4253778\*G allele prevailed in the stayers compared with the athletes of the anaerobic regime of energy supply ( $\chi^2=3.46$ , OR=0.47,  $p=0.03$ ) and the comparison group ( $\chi^2=4.48$ , OR=0.49,  $p=0.017$ ). When assessing the distribution of frequencies of alleles and genotypes of the rs1801282 (PPARG) polymorphism in athletes of different qualifications and specializations, no statistically significant differences were found.

**Conclusion.** Thus, the polymorphic variant rs4646994\*D (ACE) can be used as one of the selection criteria in speed-strength sports. Alleles rs4646994\*I (ACE) and rs4253778\*G (PPARA) are favorable for the development of physical quality "endurance". At the same time, with the growth of sports qualification, the distribution of frequencies of alleles rs4646994\*I (ACE) and rs4253778\*G (PPARA) in athletes of the aerobic energy supply regime did not change. In our study, the rs1801282 polymorphism of the PPARG gene did not show an association with skill growth.

**Keywords:** genetic selection, polymorphisms, genes, success in sport.

## ВВЕДЕНИЕ

На спортивный успех влияют многие генетически детерминированные факторы, в том числе биохимические, гистологические, антропометрические, физиологические и психологические особенности, а также общее состояние здоровья [5, 16, 19, 24]. В среднем 66% различий в спортивных способностях можно объяснить генетическими факторами [9]. Оставшаяся дисперсия связана с факторами окружающей среды, такими как питание, уровень физической активности, эргогенные средства, место рождения, доступность медицинской помощи и социальной поддержки и т.д. [19].

Начиная с конца 1990 годов исследователи начали выявлять однонуклеотидные полиморфизмы (SNP) и инделы, ассоциированные с предрасположенностью к определенным видам спорта [14]. В первую очередь пристальное внимание исследователей было уделено таким генам, как ACE, ACTN3, AMPD1, PPARA, PPARG и PPARGC1A [1, 14, 15].

По состоянию на конец мая 2023 года сообщалось в общей сложности о 251 полиморфизме, связанном с предрасположенностью к занятиям спортом [19]. Из них 128 генетических маркеров были ассоциированы со статусом спортсмена как минимум в двух исследованиях [19].

Одним из наиболее изучаемых генетических маркеров, ассоциированных с выносливостью/силой, является индел-полиморфизм (I/D)

(rs4646994) гена ангиотензин-превращающего фермента (ACE). Известно, что ангиотензин-превращающий фермент (ACE) является ключевым ферментом в ренин-ангиотензиновой системе (РАС), в которой ACE превращает ангиотензин I в ангиотензин II (Анг II) [7]. РАС участвует в поддержании гомеостаза кровотока, отвечает за работу сердечно-сосудистой системы и рост скелетных мышц.

С высокими функциональными возможностями спортсменов ассоциирован полиморфизм в гене рецептора, активируемого пролифератором пероксисом альфа (PPARA), интрон 7 G > C (rs4253778), но результаты исследований были противоречивы [3, 13]. PPARA – фактор транскрипции, который является основным регулятором метаболизма липидов, поддерживая поглощение, утилизацию и катаболизм жирных кислот. PPARA активируется в условиях энергетической депривации и метаболического и физиологического стресса, в том числе при физической нагрузке в тканях, катаболизирующих жирные кислоты, таких как печень, скелетная (преимущественно I типа) и сердечная мышечная ткань. PPARA играет важную роль в адаптивном ответе на аэробную физическую нагрузку [21].

Несмотря на то что исследования в области наследственной предрасположенности обширны, до сих пор ведутся споры о влиянии генетической вариативности на спортивные результаты и о том, как можно изменить воздействие положительных/отрицательных

наследственных признаков с помощью тренировок и диеты [17, 20]. При этом мало информации о связи генетической изменчивости со спортивными результатами у молодых спортсменов. Однако генетическое тестирование становится все более популярным как средство выявления талантов.

В связи с этим **целью исследования** явилось изучение влияния отбора на распределение частот аллелей rs4646994 гена *ACE*, rs4253778 гена *PPARA* и rs1801282 гена *PPARG* у спортсменов различных видов спорта.

## МЕТОДЫ И ОРГАНИЗАЦИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

В исследовании приняли участие 250 спортсменов в возрасте от 9 до 41 лет (таблица 1). Из них 48 детей ( $10,8 \pm 1,58$  лет), которые на момент обследования находились на начальном этапе подготовки и не имели квалификационных разрядов, и 202 спортсмена старше 18 лет ( $25,28 \pm 6,05$  лет). Квалификация взрослых спортсменов: 1 Заслуженный мастер спорта (ЗМС), 2 мастера спорта международного класса (МСМК), 86 мастеров спорта (МС), 52 кандидата в мастера спорта (КМС), 40 спортсменов имели спортивный разряд, 21 – без разряда. Все спортсмены были поделены на две группы в зависимости от соревновательной дистанции, продолжительности и специфики энергетических потребностей, характерных для соревновательного упражнения: группа атлетов скоростно-силовой направленности (спринт плавание и бег) и направленности на выносливость (академическая гребля, бег 1500 м и более, лыжные

гонки, плавание на длинные дистанции). Группу сравнения составили лица, не занимающиеся спортом ( $n=266$ ), в возрасте от 19 до 25 лет.

Все процедуры, выполненные в исследовании, соответствуют этическим стандартам национального комитета по исследовательской этике и Хельсинкской декларации 1964 года. Участники исследования, родственники/представители подписали информированное добровольное согласие.

ДНК выделяли из лейкоцитов периферической крови стандартным методом фенольно-хлороформной экстракции. Генотипирование осуществляли с помощью анализа полиморфизма длин рестрикционных фрагментов. Для определения полиморфизма генов использовали двухпраймерную систему. Для выявления однонуклеотидных замен ампликоны инкубировали вместе с эндонуклеазами рестрикции: TaqI (*PPARA*) и Bsh1236I (*PPARG*). Результаты амплификации оценивали путем проведения вертикального электрофореза в 7-процентном полиакриламидном геле (ПААГ).

Статистический анализ проводили с использованием программы STATISTICA 10. Частоты генотипов спортсменов были проверены на соответствие равновесию Харди-Вайнберга. При сравнении частот аллелей и генотипов в исследуемых группах применялся критерий  $\chi^2$ . В случае статистически значимых различий силу ассоциаций оценивали в значениях показателя соотношения шансов (Odds Ratio, OR). Уровень значимости был установлен на уровне  $p < 0,05$ .

Таблица 1 – Общая характеристика обследованных  
Table 1 – General characteristics of the examined

Подгруппы / Subgroups	Количество (возраст) / Number (age)	
	Муж / male	Жен / Female
Дети и подростки без разряда / Children and adolescents, no sports ranks	42 ( $10,5 \pm 1,87$ )	6 ( $11,1 \pm 1,29$ )
Взрослые без разряда и с разрядом / Adults without sports ranks and with sports ranks	47 ( $25,0 \pm 7,8$ )	14 ( $25,7 \pm 5,2$ )
КМС / Candidate for Master of Sport	38 ( $24,3 \pm 3,68$ )	14 ( $24,4 \pm 3,96$ )
МС, МСМК, ЗМС / Master of Sport, Master of sports of international class, Merited Master of Sport	75 ( $23,7 \pm 7,43$ )	14 ( $28,6 \pm 8,26$ )

Таблица 2 – Распределение частоты аллелей и генотипов генетических маркеров у спортсменов разных видов спорта и лиц контрольной группы  
 Table 2 – Distribution of the frequency of alleles and genotypes of genetic markers in athletes of different sports and individuals in the control group

	rs4646994 (ACE)					rs4253778 (PPARA)					rs1801282 (PPARG)				
	Частота генотипов, % Frequency of genotypes, %			Частота аллелей, % Allele frequency, %		Частота генотипов, % Frequency of genotypes, %			Частота аллелей, % Allele frequency, %		Частота генотипов, % Frequency of genotypes, %			Частота аллелей, % Allele frequency, %	
	DD	ID	II	*I	*D	CC	GC	GG	*C	*G	AlaAla	ProAla	ProPro	*Ala	*Pro
Контрольная группа / Control group	38,4 *●	43,71	17,88*	39,73*	60,47*	1,14	34,35*	64,50*	18,32*	81,68 *	2,26	25,56	72,18	15,04	84,96
Спортсмены скоростно-силовой направленности / Speed-strength athletes	50●^	40,9	9,09^	29,54^	70,46^	2,0	34,0^	64,0^	19,0^	81,0^	1,75	15,79	82,46	9,65	90,35
Спортсмены аэробной направленности / Endurance athletes	13,79*^	34,48	51,72*^	68,96*^	31,03^*	1,82	16,36*^	81,82*^	10,0 **	90,0^*	1,69	25,42	72,88	14,41	85,59

**Примечание:** \* – статистически значимое различие частоты генотипа и аллелей между спортсменами аэробной направленности и контрольной группой; ^ – между спортсменами скоростно-силовой и аэробной направленности; ● – между спортсменами скоростно-силовой направленности и контрольной группой, p<0,05

**Note:** \* – statistically significant difference in genotype/allele frequencies between endurance athletes and controls; ^ – between speed-strength athletes and endurance athletes; ● – between speed-strength athletes and controls, p<0.051

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ распределения частот аллелей и генотипов полиморфизмов rs4646994 (ACE), rs4253778 (PPARA), rs1801282 (PPARG) у спортсменов и лиц контрольной группы представлен в таблице 2.

Частота генотипа rs4646994 DD (ACE) была ниже в группе спортсменов, специализирующихся в видах спорта на выносливость, по сравнению с таковой атлетов скоростно-силовой направленности ( $\chi^2=14,10$ , OR=6,25 (95%CI: 2,41-16,19), p=0,00008), а также по сравнению с показателями контрольной группы ( $\chi^2=10,64$ , OR=0,27 (95%CI: 0,11-0,58), p=0,0005). В то время как частота II генотипа, напротив, превалировала у спортсменов аэробной направленности по сравнению с таковой как контрольной группы ( $\chi^2=22,52$ , OR=4,92 (95%CI: 2,53-9,54), p=0,000001), так и группы спортсменов скоростно-силовых видов спорта ( $\chi^2=18,59$ , OR=10,71 (95%CI: 3,39-33,82), p=0,000008). Распределение частот аллелей полиморфизма rs4646994 также статистически значимо отличалось у спортсменов и контрольной группы. У спортсменов, специализирующихся в видах спорта на выносли-

вость, преобладал аллель \*I (68,96%), тогда как у атлетов скоростно-силовой направленности и в контрольной группе – аллель \*D (70,46% и 60,47, соответственно) ( $\chi^2=29,59$ , OR=5,30 (95%CI: 2,89-9,69), p=0,000001 и  $\chi^2=27,53$ , OR=3,37 (95%CI: 2,13-5,32), p=0,000001). Во многих исследованиях сообщалось о превалировании аллеля \*I у спортсменов, занимающихся видами спорта на выносливость (марафонцев, легкоатлетов, гребцов, альпинистов или пловцов на средние (200-400 м) и длинные (свыше 400 м) дистанции) [2, 8]. Известно, что носители аллеля \*I демонстрировали лучшие результаты теста на выносливость. Для них характерно преобладание медленных мышечных волокон (тип I) [23], повышенная устойчивость к утомлению, более высокий сердечный выброс с лучшей периферической оксигенацией тканей при физической нагрузке [6].

Распределение частоты генотипа CC полиморфизма rs4253778 гена PPARA у спортсменов разной направленности и лиц контрольной группы не имело статистически значимых отличий (таблица 2). В то же время у спортсменов, тренирующих аэробную выносливость, была ниже частота гетерозиготного генотипа

Таблица 3 – Частота встречаемости генотипов и аллелей полиморфизма rs4646994 у спортсменов разной направленности и квалификации

Table 3 – Frequency of occurrence of genotypes and alleles of rs4646994 polymorphism in athletes of different specialties and level of achievement

rs4646994	Дети и подростки без разряда / Children and adolescents, no sports ranks		Взрослые без разряда и с разрядом / Adults without sports ranks and with sports ranks		КМС / Candidate for Master of Sport		МС, МСМК, ЗМС / Master of Sport, Master of sports of international class, Merited Master of Sports	
	Выносливость / Endurance	Скорость/сила / Speed / strength	Выносливость / Endurance	Скорость/сила / Speed / strength	Выносливость / Endurance	Скорость/сила / Speed / strength	Выносливость / Endurance	Скорость/сила / Speed / strength
DD	18,18	18,18 <sup>^</sup>	13,33	39,47 <sup>^</sup>	13,33	43,75 <sup>^</sup>	18,18	50,0 <sup>^</sup>
ID	27,27	60	40,0	34,21	40,0	37,5	45,45	50,0
II	54,55	21,82	46,66	26,32	46,66	18,75	36,36	0
*I	68,18	51,82	66,67	43,42	66,67	37,5	59,09	25,0
*D	31,82	48,18*	33,33	56,58	33,33	62,5	40,91	75*

**Примечание:** <sup>^</sup> – статистически значимое различие в частоте генотипа DD у спортсменов скоростно-силовой направленности в зависимости от квалификации; \* – статистически значимое различие в частоте аллеля \*D у спортсменов скоростно-силовой направленности в зависимости от квалификации,  $p < 0,05$

**Note:** <sup>^</sup> – statistically significant difference in frequency of the DD genotype in speed-strength athletes according to qualification; \* – statistically significant difference in the frequency of the \*D allele in speed-strength athletes according to qualification,  $p < 0.05$

ГС по сравнению с таковой лиц контрольной группы ( $\chi^2=6,03$ , OR=2,67 (95%CI: 1,25-5,71),  $p=0,007$ ) и спортсменов скоростно-силовых видов спорта ( $\chi^2=3,48$ , OR=2,63 (95%CI: 1,04-6,62),  $p=0,03$ ) и выше частота генотипа GG ( $\chi^2=6,21$ , OR=2,48 (95%CI: 1,19-5,14),  $p=0,006$ ;  $\chi^2=4,25$ , OR=2,53 (95%CI: 1,03-6,20),  $p=0,019$ , соответственно). Частота аллеля \*G превалировала у стайеров по сравнению с таковой атлетов скоростно-силовой направленности ( $\chi^2=3,46$ , OR=0,47 (95%CI: 0,21-1,05),  $p=0,03$ ) и группы сравнения ( $\chi^2=4,48$ , OR=0,49 (95%CI: 0,25-0,95),  $p=0,017$ ). На основании выявленных различий в частоте аллелей полиморфизма rs4253778 можно предположить, что аллель rs4253778\*G является благоприятным для развития выносливости. Согласно данным других исследователей, у спортсменов, тренирующих выносливость, преобладали генотипы, содержащие аллель G (GG и GC), особенно генотип GG, ассоциированный с повышенным окислением жирных кислот в скелетных мышцах. Его частота коррелировала с увеличением доли медленных мышечных волокон типа I, которые более эффективно используют кислород во время непрерывной мышечной деятельности. Кроме того, было показано, что генотип GG коррелирует с высокими значениями кислородного пульса [2]. В то время как аллель rs4253778\*С превалировал у спортсменов, специализирующихся в скоростно-силовых видах спорта, у кото-

рых преобладают мышечные волокна II типа. В целом носители аллеля rs4253778\*С имели лучшие анаэробные возможности [10].

Анализ распределения частот аллелей и генотипов полиморфизма Pro12Ala гена *PPARG* не выявил статистически значимых отличий в обследуемых группах (таблица 2).

Для изучения генетического отбора по полиморфизмам генов *ACE*, *PPARA* и *PPARG* была проведена оценка частот аллелей в зависимости от спортивной квалификации спортсменов.

Частота генотипа DD (*ACE*) в подгруппах спортсменов, специализирующихся в видах спорта на выносливость и имеющих разный уровень спортивного мастерства, не имела статистически значимых отличий. Как у детей без разряда, так и у высококвалифицированных спортсменов генотип DD встречался с частотой 18,18%. Распределение аллелей полиморфизма rs4646994 у спортсменов, тренирующих выносливость, с учетом уровня их спортивного мастерства также не имело значимых отличий. В то же время можно отметить, что, независимо от квалификации спортсменов, у атлетов аэробной направленности превалирует аллель \*I (дети – 68,18%, взрослые б/р – 66,67%, КМС – 66,67% и МС, МСМК – 59,09%). На реализацию задатков, заложенных в спортсменах, влияет также большой комплекс психолого-педагогических и социальных факторов, поэтому не все

Таблица 4 – Частота встречаемости генотипов и аллелей полиморфизма rs4253778 у спортсменов разной направленности и квалификации

Table 4 – Frequency of occurrence of genotypes and alleles of the rs4253778 polymorphism in athletes of different qualifications

rs4253778	Дети и подростки без разряда / Children and adolescents, no sports rank		Взрослые без разряда и с разрядом / Adults without sports rank and with sports rank		КМС / Candidate for Master of Sport		МС, МСМК, ЗМС / Master of Sport, Master of sport of international class, Merited Master of Sports	
	Выносливость / Endurance	Скорость/сила / Speed / strength	Выносливость / Endurance	Скорость/сила / Speed / strength	Выносливость / Endurance	Скорость/сила / Speed / strength	Выносливость / Endurance	Скорость/сила / Speed / strength
CC	0	0	6,25	0	0	6,25	0	0
GC	27,27	24,53	6,25	20	28,57	31,25	11,11	44,44
GG	72,73	75,47	87,5	80	71,42	62,5	88,89	55,56
*G	86,36	87,74	93,55	90	85,71	78,12	94,44	77,78
*C	13,64	12,26	9,68	10	14,29	21,88	5,56	22,22

носители оптимального генотипа могут продолжить свою спортивную карьеру и достичь звания МС и выше. У спортсменов, специализирующихся в скоростно-силовых видах спорта, наблюдалось постепенное увеличение частоты генотипа DD по мере повышения квалификации (у детей – 18,18%, у взрослых б/р и массовых разрядов – 39,47%, у КМС – 43,75%, у МС и МСМК – 50%) (18,18% против 39,47%:  $\chi^2=4,15$ , OR=0,34, p=0,02; 18,18% против 43,75%:  $\chi^2=3,15$ , OR=0,28, p=0,03; 18,18% против 50%:  $\chi^2=5,01$ , OR=0,22, p=0,012). Частота аллеля rs4646994\*D также имела тенденцию к увеличению у более квалифицированных спортсменов скоростно-силовой направленности (дети – 48,18%, взрослые без разряда – 56,58%, КМС – 62,5%, МС, МСМК – 75%) (48,19% против 75,0%:  $\chi^2=6,14$ , OR=0,31 (95%CI: 0,13-0,75), p=0,006) (таблица 3).

Таким образом, начиная с начального этапа спортивной подготовки, у спортсменов аэробной направленности превалирует аллель \*I. При этом у спортсменов высокой квалификации частота генотипа II и аллеля \*I по сравнению с таковой атлетов более низкой квалификации статистически значимо не меняется. В то же время у спортсменов скоростно-силовых видов спорта установлена четкая положительная динамика в изменении частоты аллеля \*D с уровнем спортивного мастерства. С ростом квалификации спортсменов уменьшается частота встречаемости аллеля \*I и увеличивается частота аллеля \*D. Во многих исследованиях сообщалось, что генотип DD ассоциирован с повышенной мышечной производительностью у спортсменов силовых видов спорта. Было обнаружено, что ал-

лель \*D доминирует у спортсменов силовой и скоростно-силовой направленности, таких как спринтеры, пловцы на короткие дистанции или тяжелоатлеты. К тому же было показано, что лица с генотипом DD реагировали на физическую нагрузку более выраженным гипертрофическим ростом левого желудочка сердца (до 2,7 раза) и ростом скелетных мышц по сравнению с представителями II генотипа [11, 12]. Уильямс и др. (2005) обнаружили, что АПФ-опосредованная активация ангиотензина II и дезактивация брадикинина приводят к увеличению объема мышц, их силы и доли мышечных волокон типа II [22].

Распределение частот генотипов полиморфизма rs4253778 гена PPARG у спортсменов разной квалификации и специализации представлено в таблице 4.

Различия между подгруппами спортсменов разной квалификации не были статистически значимыми. В то же время можно отметить, что у детей-спортсменов, а также взрослых атлетов низкой квалификации частота аллелей полиморфизма rs4253778 была практически одинаковой независимо от спортивной направленности. У кандидатов в мастера спорта и более высококвалифицированных спортсменов (МС и МСМК), специализирующихся в видах спорта на выносливость, наблюдалась тенденция к увеличению частоты аллеля rs4253778\*G по сравнению с атлетами скоростно-силовой направленности (p=0,06). Полученные данные могут свидетельствовать об отсутствии отбора по данному маркеру на первых этапах занятий спортом.

При оценке распределения частот аллелей и генотипов полиморфизма rs1801282 у спорт-

Таблица 5 – Частота встречаемости генотипов и аллелей полиморфизма rs1801282 у спортсменов разной направленности и квалификации

Table 5 – Frequency of occurrence of genotypes and alleles of the rs1801282 polymorphism in athletes of different qualifications

rs1801282	Дети и подростки без разряда / Children and adolescents, no sports ranks		Взрослые без разряда и с разрядом / Adults without sports ranks and with sports ranks		КМС / Candidate for Master of Sport		МС, МСМК, ЗМС / Master of Sport, Master of sports of international class, Merited Master of Sports	
	Выносливость / Endurance	Скорость/сила / Speed / strength	Выносливость / Endurance	Скорость/сила / Speed / strength	Выносливость / Endurance	Скорость/сила / Speed / strength	Выносливость / Endurance	Скорость / сила / Speed / strength
AlaAla	0	0	6,25	0	0	0	0	4,76
ProAla	9,09	19,3	37,5	11,76	33,33	11,11	9,09	23,81
ProPro	90,91	80,7	56,25	88,24	66,67	88,89	90,91	71,43
*Ala	4,55	9,65	25	5,88	16,67	5,56	4,55	16,67
*Pro	95,45/21	90,35	75	94,12	83,33	94,44	95,45	83,33

сменов разной квалификации и специализации не обнаружено статистически значимых отличий (таблица 5).

При этом можно отметить, что в группе детей и высококвалифицированных спортсменов, тренирующих выносливость, была несколько выше частота аллеля \*Pro по сравнению с атлетами скоростно-силовой направленности ( $p=0,21$ ). Различия становятся более выраженными у спортсменов высокой квалификации ( $p=0,08$ ). Тогда как у менее квалифицированных взрослых спортсменов, а также у КМС, наоборот, частота аллеля \*А несколько превалировала у спортсменов аэробной направленности. Из данных литературы известно, что у носителей аллеля Ala (*PPARG*) наблюдалось улучшение метаболизма глюкозы и инсулина в ответ на регулярные тренировки на выносливость по сравнению с людьми Pro/Pro [18]. Носители аллеля \*Ala демонстрировали повышение чувствительности к инсулину по сравнению с гомозиготами \*Pro. Эти данные подтверждают, что полиморфизм Pro12Ala

гена *PPARG* может изменять периферическую чувствительность к инсулину под влиянием аэробных упражнений [4].

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, опираясь на данные о встречаемости частоты аллеля полиморфизма rs4646994\*D (*ACE*) у спортсменов разной квалификации, можно предположить, что данный маркер может быть использован как один из критериев отбора в скоростно-силовых видах спорта. Аллели rs4646994\*I (*ACE*) и rs4253778\*G (*PPARA*) являются благоприятными для развития физического качества «выносливость». При этом с ростом спортивной квалификации распределение частот аллелей rs4646994\*I (*ACE*) и rs4253778\*G (*PPARA*) у атлетов аэробного режима энергообеспечения не менялось. В нашем исследовании частоты аллелей и генотипов полиморфизма rs1801282 гена *PPARG* не имели статистически значимых отличий как в общих группах спортсменов, так и в группах с учетом их спортивного мастерства.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Akhmetov, I. I. Association of regulatory genes polymorphisms with aerobic and anaerobic performance of athletes / I. I. Akhmetov, D. V. Popov, I. A. Mozhaiskaia, S. S. Missina, I. V. Astratenkova, O. L. Vinogradova, V. A. Rogozkin // *Ross. Fiziol. Zh. Im. I. M. Sechenova.* – 2007. – V. 93. – P. 837-843.
2. Ahmetov, I. I. The combined impact of metabolic gene polymorphisms on elite endurance athlete status and related phenotypes / I. I. Ahmetov, A. G. Williams, D. V. Popov, E. V. Lyubaeva, A. M. Hakimullina, O. N. Fedotovskaya, I. A. Mozhayskaya, O. L. Vinogradova, I. V. Astratenkova, H. E. Montgomery et al. // *Hum. Genet.* – 2009. – V. 126. – P. 751-761. doi: 10.1007/s00439-009-0728-4.
3. Ben-Zaken, S. Genetic variability among power athletes: the stronger vs. the faster / S. Ben-Zaken, A. Eliakim, D. Nemet, Y. Meckel // *J Strength Cond Res.* – 2019. – V. 33(6). – P. 1505-1511.
4. Blond, M. B. *PPARG* Pro12Ala Ala carriers exhibit greater improvements in peripheral insulin sensitivity in response to 12 weeks of aerobic exercise training / M. B. Blond, T. M. Schnurr, M. Rosenkilde, et al. // *Physiol Genomics.* – 2019. – V. 51(6). – P. 254-260. doi:10.1152/physiolgenomics.00101.2018
5. Blume, K. Identification of Potential Performance-Related Predictors in Young Competitive Athletes / K. Blume, B. Wolfarth // *Front. Physiol.* – 2019. – V. 10. – P. 1394.

6. Bueno, S. The association of ACE genotypes on cardiorespiratory variables related to physical fitness in healthy men / S. Bueno, L. A. Pasqua, G. de Araujo, A. Eduardo Lima-Silva, R. Bertuzzi // *PLoS ONE*. – 2016. – V. 11. – P. e0165310.
7. Corvol, P. Peptidyl dipeptidase A: angiotensin I-converting enzyme / P. Corvol, T. A. Williams, F. Soubrier // *Methods Enzymol.* – 1995. – V. 248. – P.283-305.
8. Czarnik-Kwaśniak, J. How genetic predispositions may have impact on injury and success in sport / J. Czarnik-Kwaśniak, K. Kwaśniak, J. Tabarkiewicz // *Eur. J. Clin. Exp. Med.* – 2018. – V. 16. – P. 36 –375. doi: 10.15584/ejcem.2018.4.16.
9. De Moor, M. H. M. Genome-wide linkage scan for athlete status in 700 British female DZ twin pairs / M. H. M. De Moor, T. D. Spector, L. F. Cherkas, M. Falchi, J. J. Hot-tenga, D. I. Boomsma, E. J.C. de Geus // *Twin Res. Hum. Genet.* – 2007. – V. 10. – P.812-820.
10. Ginevičienė, V. Association of PPARG gene variant with sprint and power ability of Lithuanian elite athletes / V. Ginevičienė, R. Žavoronkova, K. Milašius // *Sporto mokslas / Sport Science*. – 2020. – №. 1(97). – P. 70-97.
11. Jacob, Y. The potential role of genetic markers in talent identification and athlete assessment in elite sport / Y. Jacob, T. Spiteri, N. H. Hart, R. S. Anderton // *Sports*. – 2018. – V. 6. – P. 88. doi: 10.3390/sports6030088.
12. John R. Genetics and the elite athlete: Our understanding in 2020 / R. John, M.S. Dhillon, S. Dhillon // *Indian J. Orthop.* – 2020. – V.54. – P.256–263. doi: 10.1007/s43465-020-00056-z.
13. Maciejewska-Skrendo, A. Genetic markers associated with power athlete status / A. Maciejewska-Skrendo, P. Cieszczyk, J. Chycki, M. Sawczuk, W. Smolka // *J Hum Kinet.* – 2019. – V. 68. – P. 17-36. doi: 10.2478/hukin-2019-0053.
14. Montgomery, H. E. Human gene for physical performance / H. E. Montgomery, R. Marshall, H. Hemingway, S. Myerson, P. Clarkson, C. Dollery, M. Hayward, D. E. Holliman, M. World, E. L. Thomas, et al. // *Nature*. – 1998. – V. 393. – P. 221-222.
15. Nazarov, I. B. The angiotensin converting enzyme I/D polymorphism in Russian athletes / I. B. Nazarov, D. R. Woods, H. E. Montgomery, O. V. Shneider, V. I. Kazakov, N. V. Tomilin, V.-A. Rogozkin // *Eur. J. Hum. Genet.* – 2001. – V. 9. – P. 797-801.
16. Naureen, Z. Genetic test for the personalization of sport training / Z. Naureen, M. Perrone, S. Paolacci, P. E. Maltese, K. Dhuli, D. Kurti, A. Dautaj, R. Miotto, A. Casadei, B. Fioretti, T. Beccari, F. Romeo, M. Bertelli // *Acta Biomed.* – 2020. – V. 91(13-s). – P. e2020012. doi: 10.23750/abm.v91i13-S.10593
17. Pickering, C. Can genetic testing identify talent for sport? / C. Pickering, J. Kiely, J. Grgic, A. Lucia, J. Del Coso // *J Genes (Basel)*. – 2019. – V. 10(12). – P. 972.
18. Ruchat, S. M. Improvements in glucose homeostasis in response to regular exercise are influenced by the PPARG Pro12Ala variant: results from the HERITAGE Family Study / S. M Ruchat, T. Rankinen, S. J. Weisnagel et al. // *Diabetologia*. – 2010. – V. 53(4). – P. 679-689. doi:10.1007/s00125-009-1630-2
19. Semenova, E. A. Genes and Athletic Performance: The 2023 Update / E. A. Semenova, E. C. R. Hall, I. I. Ahmetov // *Genes (Basel)*. 2023. – V. 14. – № 6. – P.1235.
20. Varillas-Delgado, D. Genetics and sports performance: the present and future in the identification of talent for sports based on DNA testing / D. Varillas-Delgado, J. Del Coso, J. Gutiérrez-Hellín et al. // *Eur J Appl Physiol*. – 2022. – V. 122. – P. 1811-1830.
21. Végh, D. The Effect of Selected Polymorphisms of the ACTN3, ACE, HIF1A and PPARG Genes on the Immediate Supercompensation Training Effect of Elite Slovak Endurance Runners and Football Players / D. Végh, K. Reichwalderová, M. Slaninová, M. Vavák // *Genes*. – 2022. – V. 13(9). – P. 1525.
22. Williams, A. G. Circulating angiotensin converting enzyme activity is correlated with muscle strength / A. G. Williams, S. H. Day, J. P. Folland, P. Gohlke, S. Dhamrait, H. E. Montgomery // *Med. Sci. Sports Exerc.* – 2005. – V. 37. – P.944-948.
23. Zhang, B. The I allele of the angiotensin-converting enzyme gene is associated with an increased percentage of slow-twitch type I fibers in human skeletal muscle / B. Zhang, H. Tanaka, N. Shono, S. Miura, A. Kiyonaga, M. Shindo, K. Saku // *Clin. Genet.* – 2003. – V. 63. – P. 139-144. doi: 10.1034/j.1399-0004.2003.00029.x.
24. Zhelankin, A. V. Diversity and Differential Expression of MicroRNAs in the Human Skeletal Muscle with Distinct Fiber Type Composition / A. V. Zhelankin, L. N. Iulmetova, I. I. Ahmetov, E. V. Generozov, E. I. Sharova // *Life (Basel)*. – 2023. – V. 13(3). – P. 659. doi: 10.3390/life13030659.

## REFERENCES

1. Akhmetov I.I., Popov D.V., Mozhaiskaia I.A., Missina S.S., Astratenkova I.V., Vinogradova O.L., Rogozkin V.A. Association of regulatory genes polymorphisms with aerobic and anaerobic performance of athletes. *Ross. Fiziol. Zh. Im. I.M. Sechenova*, 2007, vol. 93, pp. 837-843.
2. Ahmetov I.I., Williams A.G., Popov D.V., Lyubaeva E.V., Hakimullina A.M., Fedotovskaya O.N., Mozhayskaya I.A., Vinogradova O.L., Astratenkova I.V., Montgomery H.E., et al. The combined impact of metabolic gene polymorphisms on elite endurance athlete status and related phenotypes. *Hum. Genet*, 2009, vol. 126, pp. 751-761. doi: 10.1007/s00439-009-0728-4.
3. Ben-Zaken S, Eliakim A, Nemet D, Meckel Y. Genetic variability among power athletes: the stronger vs. the faster. *J Strength Cond Res*, 2019, vol. 33(6), pp. 1505-1511.
4. Blond M.B, Schnurr T.M, Rosenkilde M, et al. PPARG Pro12Ala Ala carriers exhibit greater improvements in peripheral insulin sensitivity in response to 12 weeks of aerobic exercise training. *Physiol Genomics*, 2019, vol. 51(6), pp. 254-260. doi:10.1152/physiolgenomics.00101.2018.



5. Blume K., Wolfarth B. Identification of Potential Performance-Related Predictors in Young Competitive Athletes. *Front. Physiol*, 2019, vol. 10, p. 1394.
6. Bueno S., Pasqua L.A., de Araujo G., Eduardo Lima-Silva A., Bertuzzi R. The association of ACE genotypes on cardiorespiratory variables related to physical fitness in healthy men. *PLoS ONE*, 2016, vol. 11, p. e0165310.
7. Corvol P., Williams T.A., Soubrier F. Peptidyl dipeptidase A: angiotensin I-converting enzyme. *Methods Enzymol*, 1995, vol. 248, pp. 283-305.
8. Czarnik-Kwaśniak J., Kwaśniak K., Tabarkiewicz J. How genetic predispositions may have impact on injury and success in sport. *Eur. J. Clin. Exp. Med*, 2018, vol. 16, pp. 366-375. doi: 10.15584/ejcem.2018.4.16.
9. De Moor, M.H.M.; Spector, T.D.; Cherkas, L.F.; Falchi, M.; Hottenga, J.J.; Boomsma, D.I.; de Geus, E.J.C. Genome-wide linkage scan for athlete status in 700 British female DZ twin pairs. *Twin Res. Hum. Genet.* 2007, vol. 10, pp. 812-820.
10. Ginevičienė V., Žavoronkova R., Milašius K. Association of PPARA gene variant with sprint and power ability of Lithuanian elite athletes. *Sporto mokslas / Sport Science*, 2020, No. 1(97), pp. 70-97.
11. Jacob Y., Spiteri T., Hart N.H., Anderton R.S. The potential role of genetic markers in talent identification and athlete assessment in elite sport. *Sports*, 2018, vol. 6, p. 88. doi: 10.3390/sports6030088.
12. John R., Dhillon M.S., Dhillon S. Genetics and the elite athlete: Our understanding in 2020. *Indian J. Orthop*, 2020, vol.54, pp.256–263. doi: 10.1007/s43465-020-00056-z.
13. Maciejewska-Skrendo A, Cieszczyk P, Chycki J, Sawczuk M, Smolka W. Genetic markers associated with power athlete status. *J Hum Kinet*, 2019, vol. 68, pp. 17- 36. doi: 10.2478/hukin-2019-0053.
14. Montgomery H.E., Marshall R., Hemingway H., Myerson S., Clarkson P., Dollery C., Hayward M., Holliman D.E., World M., Thomas E.L., et al. Human gene for physical performance. *Nature*, 1998, vol.393, pp.221–222.
15. Nazarov I.B., Woods D.R., Montgomery H.E., Shneider O.V., Kazakov V.I., Tomilin N.V., Rogozkin V.A. The angiotensin converting enzyme I/D polymorphism in Russian athletes. *Eur. J. Hum. Genet*, 2001, vol.9, pp. 797-801.
16. Naureen Z, Perrone M, Paolacci S, Maltese PE, Dhuli K, Kurti D, Dautaj A, Miotto R, Casadei A, Fioretti B, Beccari T, Romeo F, Bertelli M. Genetic test for the personalization of sport training. *Acta Biomed*. 2020, vol. 91(13-s), p. e2020012. doi: 10.23750/abm.v91i13-S.10593
17. Pickering C., Kiely J., Grgic J., Lucia A., Del Coso J. Can genetic testing identify talent for sport? *Genes (Basel)*, 2019, vol. 10(12), p. 972.
18. Ruchat SM, Rankinen T, Weisnagel SJ, et al. Improvements in glucose homeostasis in response to regular exercise are influenced by the PPARG Pro12Ala variant: results from the HERITAGE Family Study. *Diabetologia*, 2010, vol. 53(4), pp. 679-689. doi:10.1007/s00125-009-1630-2
19. Semenova E.A, Hall E.C.R, Ahmetov I.I. Genes and Athletic Performance: The 2023 Update. *Genes (Basel)*, 2023, vol. 14, № 6, p. 1235.
20. Varillas-Delgado, D., Del Coso, J., Gutiérrez-Hellín, J. et al. Genetics and sports performance: the present and future in the identification of talent for sports based on DNA testing. *Eur J Appl Physiol*, 2022, vol. 122, pp. 1811-1830.
21. Végh D, Reichwalderová K, Slaninová M, Vavák M. The Effect of Selected Polymorphisms of the ACTN3, ACE, HIF1A and PPARA Genes on the Immediate Supercompensation Training Effect of Elite Slovak Endurance Runners and Football Players. *Genes*, 2022, vol. 13(9), p. 1525.
22. Williams A.G., Day S.H., Folland J.P., Gohlke P., Dhamrait S., Montgomery H.E. Circulating angiotensin converting enzyme activity is correlated with muscle strength. *Med. Sci. Sports Exerc*, 2005, vol.37, pp.944–948.
23. Zhang B., Tanaka H., Shono N., Miura S., Kiyonaga A., Shindo M., Saku K. The I allele of the angiotensin-converting enzyme gene is associated with an increased percentage of slow-twitch type I fibers in human skeletal muscle. *Clin. Genet*, 2003, vol. 63, pp.139-144. doi: 10.1034/j.1399-0004.2003.00029.x.
24. Zhelankin A.V., Iulmetova L.N., Ahmetov I.I., Generozov E.V., Sharova E.I. Diversity and Differential Expression of MicroRNAs in the Human Skeletal Muscle with Distinct Fiber Type Composition. *Life (Basel)*, 2023, vol. 13, p. 659..

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Даутова Альбина Зуфаровна (Dautova Albina Zufarovna) – кандидат биологических наук, доцент кафедры медико-биологических дисциплин; Поволжский государственный университет физической культуры, спорта и туризма; 420010, г. Казань, территория Деревня Универсиады, 35; e-mail: dautova.az@mail.ru; ORCID: 0000-0003-3069-2178.

Семенова Екатерина Александровна (Semenova Ekaterina Alexandrovna) – кандидат биологических наук; Поволжский государственный университет физической культуры, спорта и туризма; 420010, г. Казань, территория Деревня Универсиады, 35; e-mail: alecsekaterina@gmail.com; ORCID: 0000-0003-1248-2855.

Зверев Алексей Анатольевич (Zverev Alexey Anatolievich) – кандидат биологических наук, доцент, заведующий кафедрой медико-биологических дисциплин; Поволжский государственный университет физической культуры, спорта и туризма; 420010, Республика Татарстан, г. Казань, территория Деревня Универсиады, д. 35; e-mail: alekcei5@rambler.ru; ORCID: 0000-0002-2555-1728.

Назаренко Андрей Сергеевич (Nazarenko Andrey Sergeevich) – кандидат биологических наук, доцент, проректор по научной работе и международной деятельности; Поволжский государственный университет физической культуры, спорта и туризма; 420010, Республика Татарстан, г. Казань, территория Деревня Универсиады, д. 35; e-mail: hard@inbox.ru; ORCID: 0000-0002-3067-8395.

Шамратова Валентина Гусмановна (Shamratova Valentina Gusmanovna) – доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры нормальной физиологии; Башкирский государственный медицинский университет Минздрава России; 450008, г. Уфа, ул. Ленина, 3; e-mail: shamratovav@mail.ru, ORCID: 0000-0002-7633-4264.

Поступила в редакцию 20 июня 2023 г.

Принята к публикации 31 августа 2023 г.

---

**ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ**

Даутова, А.З. Генетические маркеры ACE, PPARA и PPARG как предикторы спортивного мастерства в различных видах спорта / А.З. Даутова, Е.А. Семенова, А.А. Зверев, А.С. Назаренко, В.Г. Шамратова // Наука и спорт: современные тенденции. – 2023. – Т. 11, № 3 – С. 12-21. DOI: 10.36028/2308-8826-2023-11-3-12-21

**FOR CITATION**

Dautova A.Z. ACE, PPARA and PPARG genetic markers as predictors of sports performance in athletes of different sports. A.Z. Dautova, E.A. Semenova, A.A. Zverev, A.S. Nazarenko, V.G. Shamratova. Science and sport: current trends, 2023, vol. 11, no. 3, pp. 12-21 (in Russ.). DOI: 10.36028/2308-8826-2023-11-3-12-21

---