Дата публикации: 01.06.2025
DOI: 10.24412/2588-0500-2025_09_02_12
УДК 615.849.1

Publication date: 01.06.2025
DOI: 10.24412/2588-0500-2025_09_02_12
UDC 615.849.1

АССОЦИАЦИЯ ГЕНЕТИЧЕСКИХ МАРКЕРОВ С ПОТРЕБЛЕНИЕМ КИСЛОРОДА НА ПОРОГЕ АНАЭРОБНОГО ОБМЕНА У СПОРТСМЕНОВ ЦИКЛИЧЕСКИХ ВИДОВ СПОРТА

Ф.А. Мавлиев[1], А.З. Даутова[1], Е.В. Валеева[2], А.А. Зверев[1], А.С. Назаренко[1]

[1]Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Поволжский государственный университет физической культуры, спорта и туризма», г. Казань, Россия

[2]Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Казань, Россия

Аннотация. Цель исследования заключалась в изучении ассоциаций полиморфизмов генов rs11091046 (*AGTR2*), rs1799945 (*HFE*), rs4253778 (*PPARA*) и rs1815739 (*ACTN3*) с потреблением кислорода на пороге анаэробного обмена (ПК на ПАНО) у спортсменов циклических видов спорта. В исследовании приняли участие 42 спортсмена циклических видов спорта мужского пола в возрасте 20±5 лет. Для изучения полиморфизмов генов использовали образцы геномной ДНК, выделенные из эпителиальных клеток буккального эпителия, полученные с помощью соскоба стерильным универсальным одноразовым зондом. Наличие генотипа rs11091046AA гена *AGTR2* было ассоциировано с повышенными значениями ПК на ПАНО (p=0,036), что указывает на его положительное влияние на аэробную работоспособность. Напротив, генотип rs1815739TT гена *ACTN3* был связан с более низким ПК на ПАНО (r=-0,56, p=0,001). Полиморфизмы rs1799945 (*HFE*) и rs4253778 (*PPARA*) не продемонстрировали значительных корреляций с аэробной производительностью.

Ключевые слова: потребление кислорода, порог анаэробного обмена, генетические маркеры, спортсмены.

ASSOCIATION OF GENETIC MARKERS WITH OXYGEN CONSUMPTION AT THE ANAEROBIC METABOLISM THRESHOLD OF CYCLIC SPORTS ATHLETES

F.A. Mavliev[1], A.Z. Dautova[1], E.V. Valeeva[2], A.A. Zverev[1], A.S. Nazarenko[1]

[1]Volga Region State University of Physical Education, Sports and Tourism, Kazan, Russia

[2]Kazan State Medical University, Kazan, Russia

Abstract. The aim of the study was to investigate the associations of the rs11091046 (AGTR2), rs1799945 (HFE), rs4253778 (PPARA) and rs1815739 (ACTN3) gene polymorphisms with oxygen consumption at the anaerobic threshold (OCAT) in athletes of cyclic sports. The study involved 42 male cyclic sports athletes aged 20±5 years. To study gene polymorphism, samples of genomic DNA extracted from buccal cells and obtained by scraping with a sterile disposable general purpose probe were used. The presence of the rs11091046AA genotype of the AGTR2 gene was associated with increased OCAT values (p=0.036), indicating its positive effect on aerobic performance. In contrast, the rs1815739TT genotype of the ACTN3 gene was associated with lower OCAT (r=-0.56, p=0.001). Polymorphisms rs1799945 (HFE) and rs4253778 (PPARA) did not show significant correlations with aerobic performance.

Keywords: oxygen consumption, anaerobic threshold, genetic markers, athletes.

Введение. Аэробная работоспособность (АР) играет важную роль в видах спорта на выносливость и в значительной степени определяет спортивную результативность. Как и любая работоспособность АР определяется множеством факторов, некоторые из которых могут быть изменены за счет специфических тренировок [1, 2], питания [3], а другие – являются генетически детерминированными факторами и в меньшей степени поддаются изменениям [4].

Так АР определяется работой различных звеньев кислородтранспортной системы (КТС) (систем крови (эритроцитарное звено), сердечно-сосудистой (гемодинамика, развитость сети капилляров в рабочих мышцах), газотранспортной), а также функцией кислородутилизирующей системы, что обуславливает сложность исследования рабочих мышц (от уровня активности аэробных ферментов в митохондриях мышц, количества митохондрий и т.д.).

В спортивной практике важную роль играет изучение генетических маркеров, что позволяет повысить эффективность учебно-тренировочных занятий за счет их большей индивидуализации. Известно множество генов, прямо или опосредованно влияющих на КТС организма и, как следствие, определяющих аэробную работоспособность спортсменов. Одними из наиболее изучаемых генетических маркеров, ассоциированных с функциональными особенностями КТС организма, являются полиморфизмы rs11091046 гена *AGTR2*, rs1799945 гена *HFE*, rs4253778 гена *PPARA*, rs1815739 гена *ACTN3* [5-9].

Исследования показывают, что полиморфизм rs11091046 гена *AGTR2*, кодирующий рецептор ангиотензина II типа 2, регулирует артериальное давление и электролитный баланс, ассоциируется с пиковой и средней мощностью в тесте Wingate, что указывает на возможную роль полиморфизма rs11091046 в развитии мышечной силы и выносливости [5].

Полиморфизм rs1799945 гена *HFE* ассоциирован с регуляцией обмена железа в организме, но исследования показывают, что мутации в этом гене могут также оказывать влияние на физическую работоспособность [6, 10]. В частности, мета-анализ с использованием пяти когорт (две французские, японская, испанская и русская; 586 спортсменов и 1416 лиц контрольной группы) показал значимо высокую распространенность генотипов CG/GG у спортсменов на выносливость по сравнению с контролем [7].

Продукт гена *PPARA* участвует в регуляции метаболизма липидов и энергетического гомеостаза. Исследования показывают, что полиморфизм rs4253778 гена *PPARA* ассоциирован с физической производительностью и метаболизмом. Сообщалось, что G-аллель rs4253778 гена *PPARA* связан с более высокой аэробной выносливостью по сравнению с C-аллелем [8]. Согласно данным Kirac D. с соавторами частота генотипа GG и аллеля G полиморфизма rs4253778 гена *PPARA* была статистически выше у элитных гребцов, единоборцев, спортсменов, тренирующих выносливость, по сравнению с контрольной группой или спринтерами [9].

Ген изоформы 3 α-актинина скелетных мышц человека (*ACTN3)* кодирует белок альфа-актинин-3, экспрессирующийся в быстрых мышечных волокнах, ответственных за мощные и быстрые сокращения. Среди нуклеотидных замен гена *ACTN3* наиболее известна замена C→T в локусе rs1815739, которая приводит к терминации синтеза белка в аминокислотной позиции 577 экзона 16, что происходит вследствие замены аргинина на терминирующий кодон (замены R577X). Показано, что генотип TT гена *ACTN3* был более распространен у спортсменов на выносливость, которые в 1,88 раз чаще имеют генотип TT по сравнению со спортсменами-силовиками, за исключением российских спортсменов. У лиц с генотипом TT отсутствует функциональный α-актинин-3 в мышцах, а отсутствие α-актинина-3 связано с увеличением доли медленных мышечных волокон, которые лучше подходят для длительных физических нагрузок [9, 12].

В гене *NOS3*, кодирующем синтез эндотелиальной окиси азота, выявлено 11 полиморфизмов, одним из наиболее изученных является полиморфизм в зоне промотора – 786T/C (rs2070744) [14]. В ряде мета-анализов показаны связи между вариантами генотипа по данному полиморфизму и отдельными параметрами функционирования сердечно-сосудистой системы [14, 15]. В то же время ограниченное количество исследований проводили ассоциации полиморфизма rs2070744 гена *NOS3* с аэробной работоспособностью [16-18]. Имеющиеся исследования сосредоточены больше на медицинской тематике и затрагивают вопросы заболеваний сердечно-сосудистой системы (ССС), мигрени, врожденных пороков сердца [19-21].

Одним из параметров, имеющих высокую наследуемость, является максимальное потребление кислорода (МПК) [22]. Однако на сегодняшний день нет новых научных данных, изучающих влияние генетических маркеров на другие показатели, ассоциированные с выносливостью у спортсменов, например, такие как потребление кислорода на пороге анаэробного обмена (ПК на ПАНО), а имеющиеся работы выполнены

более 30 лет назад [23], и ряд авторов фокусируются на неспортсменах [24].

Цель исследования – изучить ассоциации полиморфизмов rs11091046 гена *AGTR2*, rs1799945 гена *HFE*, rs4253778 гена *PPARA*, rs1815739 гена *ACTN3* с потреблением кислорода на пороге анаэробного обмена у спортсменов циклических видов спорта.

Методы и организация исследования. Было обследовано 42 спортсмена цикличесих видов спорта мужского пола в возрасте 20±5 лет. Из них 17 человек специализировались в академической гребле (2 МС, 1 КМС, 14 массовые разряды), 6 спортсменов в легкой атлетике (2 КМС и 4 спортсмена от 3 до 1 разряда) и 19 человек в лыжных гонках (3 МС, 6 КМС, остальные имели массовые разряды). Каждый участник исследования представил добровольное письменное информированное согласие, подписанное им после разъяснения потенциальных рисков и преимуществ, а также характера предстоящего исследования.

Для легкоатлетов и лыжников применялось нагрузочное тестирование с повышающейся нагрузкой на тредбане Cosmos Quasar (Германия): двухминутная разминка, тестовая нагрузка с динамикой возрастания 1 км/ч в минуту, начиная с 7 км/ч. В конце проводилась двухминутная заминка. Для гребцов – нагрузка на гребном эрометре Concept 2, с двухминутной разминкой (50 Вт) и с рабочей нагрузкой, начинающейся со 100 Вт с динамикой повышения 30 Вт на ступень, длительность ступеней по 2 мин. Все спортсмены выполняли нагрузку до отказа. Во всех случаях использовался газоанализатор Metalyzer 3B (Германия).

Фиксировались показатели максимального потребления кислорода (МПК, л/мин, мл/мин/кг), потребление кислорода на пороге анаэробного обмена (ПК на ПАНО л/мин, мл/мин/кг), в качестве маркера ПАНО рассматривался вентиляторный порог 1, где отмечается резкий прирост выделения углекислого газа на фоне линейно возрастающего потребления кислорода, который определялся методом V-slope через графическое представление соотношения выработки углекислого газа и потребления кислорода во время физической нагрузки.

Для изучения полиморфизмов генов использовали образцы геномной ДНК, выделенные из эпителиальных клеток буккального эпителия, полученные с помощью соскоба стерильным универсальным одноразовым зондом. ДНК выделяли сорбентным способом в соответствии с прилагаемой инструкцией по применению к комплекту реагентов для экстракции ДНК «Ампли-Прайм ДНК-сорб-В» (НекстБио, Россия). Образцы были генотипированы с помощью ПЦР в реальном времени в дубликате с использованием коммерческих реагентов (Тест-ген, Россия) на амплификаторе CFX96 Touch™ (Bio-Rad, США).

Статистическая обработка данных была выполнена в программе SPSS 20. Для проверки статистической значимости использовался непараметрический критерий Манна-Уитни (Mann-Whitney U test). Корреляции между количественными данными и дихотомическими переменными оценивались с использованием точечной бисериальной корреляции. Нормальность распределения значений в выборке проверялась критерием Шапиро-Уилка.

Для оценки влияния генетических маркеров на аэробную производительность был проведен множественный регрессионный анализ. В качестве зависимой переменной использовались показатели потребления кислорода, а в качестве предикторов – полиморфизмы исследуемых генов.

Для упрощения анализа номинальные переменные, обозначающие генотипы, были преобразованы в двоичные (дихотомические) переменные методом dummy coding. Для проверки наличия автокорреляции остатков в регрессионной модели был использован тест Дарбина-Уотсона. Оценка значимости модели проводилась с помощью анализа дисперсии (ANOVA). Для проверки мультиколлинеарности использовались факторы инфляции дисперсии (Variance Inflation Factor).

В связи с малочисленностью выборок, особенно по отношению к некоторым генотипам (в частности, *ACTN3* rs1815739 TT), был выполнен бутстрэппинг с 1000 выборками для проверки стабильности и надежности результатов модели. Для оценки

вклада каждого генетического маркера в объяснение вариации потребления кислорода на уровне ПАНО использовались стандартизированные коэффициенты Beta.

Результаты исследования и их обсуждение. Наличие генотипа rs11091046*AA гена *AGTR2*, как видно из рисунка 1, было ассоциировано с повышенными значениями потребления кислорода на ПАНО (p=0,036), коэффициент бисериальной корреляции равнялся 0,46 (p=0,009). Анализ распределения уровней спортивной квалификации у спортсменов, имеющих и не имеющих данный генотип, показал, что между ними нет статистически значимых различий. В связи с этим можно предположить, что данные различия обусловлены, по всей видимости, наличием данного генотипа, а не уровнем спортивного мастерства исследуемых спортсменов.

Исследования Ghosh A.K. показали, что величина потребления кислорода на уровне порога анаэробного обмена имеет большую связь со спортивной работоспособностью, чем МПК [25]. По всей видимости, это обусловлено тем, что от спортсмена требуется не только высокая аэробная производительность, выраженная в МПК, но и ее реализация в ходе соревновательной деятельности, которая чаще всего будет проходить на уровне интенсивности равной или приближенной к ПАНО.

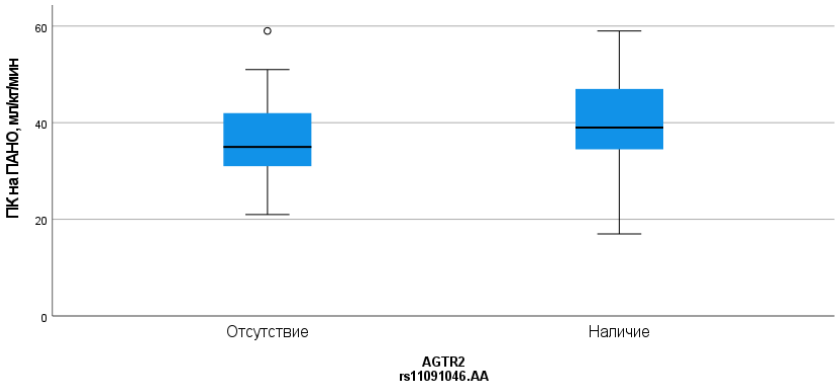


Рис. 1. Ассоциация генотипа rs11091046 AA гена *AGTR2* с потреблением кислорода на ПАНО; ° – выбросы

Можно выдвинуть в качестве гипотезы идею о том, что подобные корреляции связаны с тем, что организм носителей данного гена, используя различные механизмы регуляции, способен приводить к адекватному уровню «рабочего» артериального давления в ходе тренировочной и/или соревновательной деятельности. Это, в свою очередь, может быть основой для лучшей транспортной функции крови как для кислорода, так и для метаболитов, и, как следствие, повышенный уровень потребления кислорода на ПАНО. Уровень МПК у исследуемых по rs11091046*AA гена *AGTR2* был сходным.

Обратная ситуация отмечалась с генотипом rs1815739*TT гена *ACTN3*, где наличие генотипа TT было ассоциировано с меньшим ПК на ПАНО (r=-0,56, при p=0,001, рис. 2). Каких-либо других связей с остальными показателями аэробной работоспособности отмечено не было. Кроме этого, наличие данного генотипа было ассоциировано со временем выполнения теста (r=0,46, p=0,046), который так же, как и МПК, будет связан с аэробной производительностью, и, кроме всего, будет показывать толерантность к предъявляемой нагрузке.

Подобные нестандартные ассоциации аэробной производительности с rs1815739*TT гена *ACTN3* в российской популяции требуют более детального исследования, что подчеркивалось ранее другими исследователями, которые обнаружили, что ни один российский спортсмен, занимающийся видами спорта на выносливость, не имел генотипа TT в отличие от других этнических групп [18].

В нашем случае на уровне гипотезы можно предположить, что наличие генотипа TT не только не влияет, а возможно оказывает негативное воздействие на потребление кислорода на уровне ПАНО. По всей

видимости, спортсмены, обладающие подобным генотипом, редко достигают больших спортивных результатов в видах спорта на выносливость, так как уровень спортивного мастерства в видах спорта на выносливость больше связан с потреблением кислорода на уровне ПАНО чем МПК. Следует отметить, что выборка исследуемых с генотипом rs1815739 TT гена *ACTN3* состояла из 4 спортсменов: два легкоатлета и два лыжника. По этнической принадлежности трое из них были татарами, а один имел смешанную этническую принадлежность – русско-татарскую. По уровню спортивного мастерства один мастер спорта, один КМС и два спортсмена 1 разряда. Полиморфизмы генов *NOS3 (*rs2070744) и *PPARA* (rs4253778) каких-либо корреляций с аэробной производительностью не имели. Генотипы CG и GG гена *HFE* (rs1799945) показали умеренные корреляции: генотип CG с потреблением кислорода на уровне анаэробного порога r=-0,3 на уровне тенденции (p=0,085), а генотип GG с этим же показателем – обратную корреляцию r=0,36 (p=0,049). В связи с этим данные генотипы (CG и GG) не были использованы в регрессионной модели.

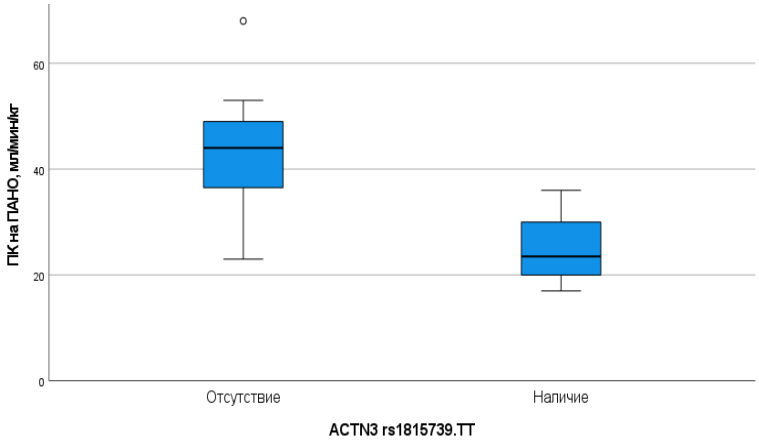


Рис. 2. Ассоциация генотипа *ACTN3* rs1815739 (TT) с потреблением кислорода на ПАНО; ° – выбросы

После корреляционного анализа была создана многомерная регрессионная модель, в которой в качестве предикторов были выбраны генетические маркеры *AGTR2* rs11091046 (AA), *HFE* rs1799945 (CC) и *ACTN3* rs1815739 (TT), а в качестве зависимой переменной, которая имела наибольшие корреляции с отмеченными предикторами, было использовано относительное потребление кислорода на анаэробном пороге. ПК на ПАНО = 35,745+6,703× ×*AGTR2* rs11091046AA+5,656×*HFE* rs17999 45CC−10,463×*ACTN3* rs1815739TT. Данная модель демонстрирует, что присутствие генотипа/аллеля AA/A полиморфизма rs11091046 гена *AGTR2* и генотипа/ аллеля CC/C полиморфизма rs1799945 гена *HFE* положительно сказывается на потреблении кислорода на ПАНО, в то время как наличие генотипа TT полиморфизма rs1815739 гена *ACTN3* оказывает противоположное влияние. Расчеты показали, что данная модель вполне адекватна, показатели обусловленности и доли дисперсии, использованные для оценки мультиколли-неарности, не выявили существенных проблем, а тест Дарбина-Уотсона выявил отсутствие автокорреляции остатков. Анализ дисперсии (ANOVA) показал, что модель статистически значимо объясняет вариацию зависимой переменной – ПК на ПАНО (p=0,001). Коэффициент корреляции между предсказанными и фактическими значениями модели – 0,58, то есть около 34,6% вариации в потреблении кислорода на ПАНО объясняется данной моделью. Регрессионные остатки были нормально распределены. Генотип rs11091046 AA гена *AGTR2* обуславливает 11,5% общей вариации в ПК на уровне ПАНО, генотип rs1799945 CC гена *HFE* – 9,4%, а rs1815739 TT гена *ACTN3* – 13,6%.

Далее, из-за малочисленности выборки (n=31), на основе уже использованных данных был выполнен бутстрэппинг с 1000

выборок, который подтвердил устойчивость и надежность разработанной модели. Стандартные ошибки предсказанных результатов были небольшими, что свидетельствует о высоком уровне качества модели.

Заключение. Результаты исследования показывают, что выбранные генетические маркеры могут быть значимыми предикторами потребления кислорода на ПАНО. Созданная многомерная регрессионная модель, построенная с использованием в качестве предикторов генотипов rs11091046*AA (*AGTR2*), rs1799945*CC (*HFE*) и rs1815739*TT (*ACTN3*) показала, что указанные генотипы объясняют 34,6% вариаций потребления кислорода на ПАНО.

При этом варианты полиморфизмов rs11091046*AA гена *AGTR2* и rs1799945*CC гена *HFE* положительно влияют на потребление кислорода на уровне ПАНО, в то время как наличие генотипа rs1815739*TT гена *ACTN3* оказывает противоположное влияние. Для более обоснованных выводов необходимо исследование на больших объемах выборки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства спорта РФ 777-00010-25-00 (регистрационный номер ПТНИ 1023033100582-2).

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Financing. The work was carried out under the state assignment of the Ministry of Sports of the Russian Federation 777-00010-25-00 (PTNI registration number: 1023033100582-2).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Попов, Д.В. Аэробная работоспособность человека / Д.В. Попов, О.Л. Виноградова, А.И. Григорьев // Ин-т медико-биологических проблем РАН. – 2012. – 111 с. [in English] Popov D.V., Vinogradova O.L., Grigoriev A.I. Aerobic performance in man. Institute for biomedical problems RAS, 2012, 111 p.
2. Lundby, C. Performance Enhancement: What Are the Physiological Limits? / C. Lundby, P. Robach // Physiology. – 2015. – Vol. 30. – P. 282-292. DOI: 10.1152/physiol.00052.2014.
3. Role of nutrition in performance enhancement and postexercise recovery / K.L. Beck, J.S. Thomson, R.J. Swift, P.R. von Hurst // Open Access J. Sports Med. – 2015. – Vol. 6. – P. 259-267.
4. 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 [et al.] // Twin Res. Hum. Genet. – 2007. – Vol. 10. – P. 812-820.
5. The AGTR2 (RS11091046) Gene Polymorphism is Associated with Cycling Performance in Korean Cyclists / S. Min [et al.] // Exercise Science. – 2022. – Vol. 31. – No. 1. – P. 105-109.
6. Semenova, E.A. Genes and athletic performance: the 2023 update / E.A. Semenova, E.C.R. Hall, I.I. Ahmetov // Genes. – 2023. – Vol. 14. – No. 6. – P. 1235.
7. The association of HFE gene H63D polymerphism with endurance athlete status and aerobic capacity: novel findings and a meta-analysis / E.A. Semenova [et al.] // European Journal of Applied Physiology. – 2020. – Vol. 120. – No. 3. – P. 665-673.
8. Badertscher, N. The Genetics of VO_2: What is the impact of endurance genes on VO_2 max in athletes? / N. Badertscher // Genetics. – 2021.
9. Role of Peroxisome Proliferator Activated Receptor Alpha (PPARA) rs4253778 Polymorphism in Endurance Phenotype / D. Kirac [et al.] // Cell Immunol Serum Biol. – 2016. – Vol. 2. – No. 2. – P. 60-61.
10. Mutations in the hereditary haemochromatosis gene HFE in professional endurance athletes / J.L. Chicharro [et al.] // British Journal of Sports Medicine. – 2004. – Vol. 38. – No. 4. – P. 418-421.
11. The ACTN3 R577X polymorphism across three groups of elite male European athletes / N. Eynon [et al.] // PLoS One. – 2013. – Vol. 8(1). – P. e60570. DOI: 10.1371/journal.pone.0054685.
12. The Association of Sport Performance with ACE and ACTN3 Genetic Polymorphisms: A Systematic Review and Meta-Analysis / F. Ma, Y. Yang, X. Li [et al.] // PLoS One. – 2013. – Vol. 8(1). – P. e54685. DOI: 10.1371/journal.pone.0054685.
13. Relevance of the NOS3 T-786C and G894T variants for cholinergic and adrenergic coronary vasomotor responses in man / Ch.K. Naber, U.H. Frey, O. Oldenburg [et al.] // Basic Res Cardiol. – 2005. – Vol. 100(5). – P. 453-460. DOI: 10.1007/s00395-005-0530-y.
14. The endothelial nitric oxide synthase gene is associated with coronary artery disease: a meta-analysis / J. Li, X. Wu, X. Li [et al.] // Cardiology. – 2010. – Vol. 116(4). – P. 271-278. DOI: 10.1159/000316063.
15. Endothelial nitric oxide synthase genotype and ischemic heart disease: meta-analysis of 26 studies involving 23028 subjects / J.P. Casas, L.E. Bautista, S.E. Humphries, A.D. Hingorani // Circulation. – 2004. – Vol. 109(11). – P. 1359-1365. DOI: 10.1161/01.CIR.0000121357.76910.A3.
16. The NOS3 G894T (rs1799983) and -786T/C (rs2070744) polymorphisms are associated with elite swimmer status / P. Żmijewski, P. Cięszczyk, I.I. Ahmetov [et al.] // Biology of Sport. – 2018. – Vol. 35. – P. 313-319.
17. The ACTN3 R577X polymorphism across three groups of elite male European athletes / N. Eynon, J.R.

Ruiz, P. Femia [et al.] // PLoS One. – 2012. – Vol. 7 (8). – P. e43132. DOI: 10.1371/journal.pone.0043132.
18. Genes and elite athletes: a roadmap for future research / N. Eynon, J.R. Ruiz [et al.] // Journal of Physiology. – 2012. – Vol. 590(23). – P. 5911-5922.
19. Association between endothelial nitric oxide synthase (NOS3) rs2070744 and the risk for migraine / E. Garcia-Martin [et al.] / The pharmacogenomics journal. – 2020. – Vol.20. – No.3. – P.426-432.
20. Endothelial nitric oxide synthase (NOS3) rs2070744 polymorphism and risk for multiple sclerosis / J.A.G. Agúndez [et al.] // Journal of Neural Transmission. – 2020. – Vol. 127. – P. 1167-1175.
21. Association between NOS3 gene polymerphisms and genetic susceptibility to congenital heart Disease: A systematic review and meta-analysis / K. Yi [et al.] // Cytokine. – 2024. – Vol. 173. – P. 156415.
22. Twin-sibling study and meta-analysis on the heritability of maximal oxygen consumption / N.M. Schutte [et al.] // Physiological genomics. – 2016. – Vol. 48. – No. 3. – P. 210-219.
23. Sensitivity of maximal aerobic power to training is genotype-dependent / D. Prud'homme, C. Bouchard, C. Leblanc, F. Landry, E. Fontaine // Med Sci Sports Exerc. – 1984. – Vol. 16(5). – P.489-493. DOI: 10.1249/00005768-198410000-00012.
24. Using molecular classification to predict gains in maximal aerobic capacity following endurance exercise training in humans / J.A. Timmons, S. Knudsen, T. Rankinen, L.G. Koch [et al.] // J Appl Physiol. – 2010. – Vol. 108(6). – P. 1487-1496. DOI: 10.1152/japplphysiol.01295.2009.
25. Ghosh, A.K. Anaerobic threshold: its concept and role in endurance sport / A.K. Ghosh // The Malaysian journal of medical sciences: MJMS. – 2004. – Vol. 11. – No. 1. – P. 24.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Фанис Азгатович Мавлиев – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник НИИ физической культуры и спорта, доцент кафедры медико-биологических дисциплин ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет физической культуры, спорта и туризма», Казань, e-mail: fanis16rus@mail.ru, ORCID: 0000-0001-8981-7583.
Альбина Зуфаровна Даутова – кандидат биологических наук, доцент кафедры медико-биологических дисциплин, старший научный сотрудник НИИ физической культуры и спорта ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет физической культуры, спорта и туризма», Казань, e-mail: dautova.az@mail.ru, ORCID: 0000-0003-3069-2178.
Елена Валерьевна Валеева – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Казанский государственный медицинский университет, Казань, e-mail: vevaleeva@ya.ru, ORCID: 0000-0001-7080-3878.
Алексей Анатольевич Зверев – кандидат биологических наук, доцент, директор НИИ физической культуры и спорта, ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет физической культуры, спорта и туризма», Казань, e-mail: alekcei5@rambler.ru, ORCID: 0000-0002-2555-1728.
Андрей Сергеевич Назаренко – кандидат биологических наук, доцент, проректор по научной работе и международной деятельности, ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет физической культуры, спорта и туризма», Казань, e-mail: hard@inbox.ru, ORCID: 0000-0002-3067-8395.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:

Fanis A. Mavliev – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Research Institute of Physical Culture and Sports, Associate Professor, Department of Medical and Biological Disciplines, Volga Region State University of Physical Culture, Sports and Tourism, Kazan, e-mail: fanis16rus@mail.ru, ORCID: 0000-0001-8981-7583.
Albina Z. Dautova – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Department of Medical and Biological Disciplines, Senior Researcher, Research Institute of Physical Culture and Sports, Volga Region State University of Physical Culture, Sports and Tourism, Kazan, e-mail: dautova.az@mail.ru, ORCID: 0000-0003-3069-2178
Elena V. Valeeva – Candidate of Biological Sciences; Senior Researcher, Kazan State Medical University, Kazan, Russia, e-mail: vevaleeva@ya.ru; ORCID: 0000-0001-7080-3878.
Aleksej A. Zverev – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Director of the Research Institute of Physical Culture and Sports, Volga Region State University of Physical Culture, Sports and Tourism, Russia, e-mail: alekcei5@rambler.ru, ORCID: 0000-0002-2555-1728.
Andrej S. Nazarenko – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Vice-Rector for Research and International Activities, Volga Region State University of Physical Education, Sports and Tourism, Kazan, e-mail: hard@inbox.ru, ORCID: 0000-0002-3067-8395.

Для цитирования: Ассоциация генетических маркеров с потреблением кислорода на пороге анаэробного обмена у спортсменов циклических видов спорта / Ф.А. Мавлиев, А.З. Даутова, Е.В. Валеева [и др.] // Современные вопросы биомедицины. – 2025. – Т. 9. – № 2(32). DOI: 10.24412/2588-0500-2025_09_02_12
For citation: Mavliev F.A., Dautova A.Z., Valeeva E.V., Zverev A.A., Nazarenko A.S. Association of genetic markers with oxygen consumption at the anaerobic metabolism threshold of cyclic sports athletes. *Modern Issues of Biomedicine*, 2025, vol. 9, no. 2(32). DOI: 10.24412/2588-0500-2025_09_02_12