Дата публикации: 01.03.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_01_10
УДК 612:577.21:616-073

Publication date: 01.03.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_01_10
UDC 612:577.21:616-073

ВЛИЯНИЕ ВАРИАНТА T704C ГЕНА *AGT* (RS699) НА ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ И ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПОДРОСТКОВ, ЗАНИМАЮЩИХСЯ СПОРТОМ

С.Н. Левицкий, О.А. Зубкова, Ю.М. Никонова, В.Е. Юрчук, Н.А. Бебякова
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Северный государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Архангельск, Россия

Аннотация. ***Введение.*** У подростков, проживающих на территории Европейского Севера и занимающихся спортом, проведена оценка функционального и физиологического состояния с учетом генетических особенностей. ***Методы.*** Функциональное состояние организма оценено при помощи комплекса «Омега-С», определены уровни ангиотензина-II, эндотелина-1 и оксида азота, выполнено генотипирование на наличие полиморфного варианта T704C гена ангиотензиногена (*AGT*). ***Результаты.*** Установлено снижение основных функциональных и физиологических показателей спортсменов с вариантом гена *AGT* (rs699), которое сопровождалось изменением уровня эндотелиальных факторов. ***Заключение.*** Установлено негативное влияние варианта T704C гена *AGT* на состояние организма и эндотелиальных факторов у подростков-спортсменов. Полученные результаты можно учитывать для персонализации тренировочного процесса и мониторинга здоровья у юных спортсменов.
Ключевые слова: спортивная генетика, функциональное состояние организма, комплекс «Омега-С», генетический полиморфизм, эндотелиальные факторы.

EFFECT OF THE T704S VARIANT OF THE *AGT* GENE (RS699) ON FUNCTIONAL AND PHYSIOLOGICAL PARAMETERS OF ADOLESCENTS ENGAGED IN SPORTS

S.N. Levitskij, O.A. Zubkova, Yu.M. Nikonova, V.E. Yurchuk, N.A. Bebyakova
Northern State Medical University, Arkhangelsk, Russia

Abstract. ***Introduction.*** The functional and physical condition of adolescents living in the European North and involved in sports was assessed, taking into account their genetic characteristics. ***Methods.*** The functional state of the body was assessed using the Omega-C complex, the levels of angiotensin-II, endothelin-1 and nitric oxide were identified, and genotyping was performed for the presence of the polymorphic variant T704C of the angiotensinogen (*AGT*) gene. ***Results.*** A decrease in the main functional and physiological indicators of athletes with the *AGT* gene variant (rs699) was found, which was accompanied by a change in the level of endothelial factors. ***Conclusion.*** The negative effect of the T704C variant of the *AGT* gene on the indicators of the functional state of the body and endothelial factors in adolescent athletes has been established. The results obtained can be used to personalize the training process and monitor the health of young athletes.
Keywords: sports genetics, functional state of the body, Omega-C complex, genetic polymorphism, endothelial factors.

Введение. Для достижения высоких результатов в спорте необходимо проводить оценку функционального состояния организма и прогнозировать возможности достижения высокого результата. В настоящее время в спортивной медицине расширяется использование математических методов оценки функционального состояния организма спортсменов, в том числе с использованием программно-аппаратных комплексов. Одним из таких комплексов является «Омега-С», в основе которого лежит регистрация кардиоритмограмм, используемых для анализа биоритмологических процессов, протекающих в организме [1, 2]. Комплекс позволяет объективно оценить общее состояние организма спортсмена и определить последующую спортивную нагрузку на основе объективных данных.

Для оценки функционального состояния спортсменов разработаны высокоинформативные показатели: уровень адаптации к физическим нагрузкам, степень

тренированности, уровень энергетического обеспечения физических нагрузок, текущее психоэмоциональное состояние и различные интегральные показатели. В динамике наблюдения возможно контролировать функциональное состояние спортсменов, оценивать уровень тренировочной нагрузки и эффективность методов восстановления и профилактики [3].

Однако для оценки эффективности тренировочного процесса необходимо учитывать не только физиологические показатели, но и генетическую предрасположенность. Установлено, что спортивная успешность спортсменов зависит от числа аллелей генов, ассоциированных с адаптационными возможностями сердечно-сосудистой и мышечной систем организма к продолжительным физическим нагрузкам [4]. На сегодняшний день идентифицировано более 200 полиморфизмов генов, ассоциированных с особенностями физической активности, 25 из которых коррелируют с профессиональной спортивной успешностью [5]. Экологические условия Европейского Севера определяются как дискомфортные, предъявляют повышенные требования к организму человека и, прежде всего, к сердечно-сосудистой системе. В это же время на организм спортсменов помимо суровых экологических условий оказывает влияние повышенная физическая нагрузка [6, 7].

Наиболее изученным и значимым с точки зрения влияния на функциональные и физиологические особенности организма является вариант гена *AGT*, связанный с миссенс мутацией в экзоне 2 (rs699) – замена тимина на цитозин в 704 положении (T704C), что приводит к замене аминокислоты метионина на треонин в 268-м положении (M268T, исторически известен как M235T) [8].

В литературе имеются данные о связи полиморфизма rs699 с силовыми показателями спортсменов, однако не установлено аналогичной ассоциации с показателями выносливости. Данный факт объясняют значительным влиянием генотипа C/C на наращивание мышечной массы [9]. Имеются данные о связи изучаемого варианта с результатами спринтерских тестов [10]. При анализе генетических маркеров успешности тренировочного процесса и их взаимосвязи с электрокардиографическими показателями у спортсменов юношеской лиги выявлены отрицательные корреляции между величиной угла α в параметрах электрокардиографии и генетическим вариантом rs699. Этот факт свидетельствует о влиянии рецессивных гомозигот данного гена на величину указанного электрокардиографического показателя [11].

В связи с этим целью данного исследования явилось изучение влияния варианта T704C гена *AGT* (rs699) на показатели функционального и физиологического состояния молодых спортсменов, проживающих на территории Европейского Севера.

Методы и организация исследования. Исследование выполнено на базе Северного государственного медицинского университета и Спортивной школы олимпийского резерва «Поморье» (г. Архангельск). Были обследованы 82 человека в возрасте 11-15 лет, регулярно занимающиеся спортивными тренировками (футбол, плавание). Критерием включения являлось проживание на территории Архангельской области с рождения. Критерии исключения: наличие хронических заболеваний внутренних органов, в том числе сердечно-сосудистой системы, наличие острых воспалительных заболеваний, ожирение, курение, прием лекарственных препаратов. В протокол обследования входили: оценка функционального состояния с использованием программно-аппаратного комплекса «Омега-С», определение вазоактивных эндотелиальных факторов: оксида азота (NO) с использованием набора «Total NO/Nitrite/Nitrate Assay», эндотелина-1 (EDN-1) при помощи диагностического набора «Quantikine ELISA Endothelin-1 Immunoassay», ангиотензина II (AT-II) с использованием набора «AssayMax Human Angiotensin II ELISA Kit» группы компаний БиоХимМак. Генотипирование варианта T704C гена *AGT* проводили с помощью набора компании НПФ «Литех» «Комплект реагентов для АС-ПЦР выявления полиморфизма T704C гена *AGT* «SNP-ЭКСПРЕСС-КАРДИОГЕНЕТИКА».

Статистическая обработка результатов проводилась с использованием пакета Statistica 6.0. Описание параметров с

распределением близким к нормальному приведено в виде среднего значения (M) и стандартного отклонения (σ). Достоверность различий оценена с помощью t-критерия Стьюдента. Достоверными признавались показатели при $p<0,05$. Приведенные в статье термины и показатели состояния организма спортсменов (уровень адаптации к физическим нагрузкам, уровень тренированности организма, резервы тренированности и т.д.) определены программами комплекса «Омега-С».

Результаты исследования и их обсуждение. Анализ результатов обследования с применением программно-аппаратного комплекса «Омега-С» позволил установить, что такие изучаемые параметры, как вариабельность сердечного ритма (HRV), показатели нейродинамики (NI), эффективности тренировочного процесса (ETR) в группе обследованных находились в диапазоне нормальных значений в соответствии с формализованным компьютерным заключением комплекса. Уровень вазоактивных эндотелиальных факторов также находился в границах референсных значений. Показатели функционального (IFSB) и физического (IPC) состояния организма, отобранные для дальнейшего анализа, а также уровень вазоактивных эндотелиальных факторов представлены в таблице 1.

Таблица 1

Показатели состояния организма и уровень вазоактивных эндотелиальных факторов в целом по группе, M±σ

Показатели	Значение
IFBS_UAO, %	81,0±13,0
IFBS_VR %	90,0±7,0
IFBS_NR, %	66,0±6,0
IFBS_PES, %	68,0±14,0
IFBS_KPZ, %	75,0±13,0
IPC_UAFN, %	80,5±15,5
IPC_UTO, %	90,0±10,0
IPC_UEO, %	66,5±14,0
IPC_PES, %	68,5±12,0
IPC_IPCF, %	71,8±18,9
Ангиотензин II, пг/мл	60,9±3,7
EDN-1, фмоль/мл	0,39±0,04
NO, мкмоль/л	24,8±8,3

Примечание: IFSB – показатели функционального состояния организма; IFBS_UAO – уровень адаптации организма; IFBS_VR – вегетативная регуляция; IFBS_NR – нейрогуморальная регуляция; IFBS_PES – психоэмоциональное состояние; IFBS_KPZ – комплексный показатель здоровья; IPC – показатели физиологического состояния; IPC_UAFN – уровень адаптации к физическим нагрузкам; IPC_UTO – уровень тренированности организма; IPC_UEO – уровень энергетического обеспечения; IPC_PES – психоэмоциональное состояние; IPC_IPCF – интегральный показатель спортивной формы; EDN-1 – эндотелин-1; NO – оксид азота.

Сравнительный анализ встречаемости патологических аллелей гена *AGT* показал, что в популяциях России они в среднем не отличаются от других популяций Европы (https://www.ncbi.nlm.nih.gov/snp/). Частота полиморфного аллеля 704C – от 0,394 до 0,539 [12]. Анализ распространенности аллелей и генотипов изучаемого полиморфного варианта гена *AGT* показал, что преобладающими являлись генотипы, содержащие дикий вариант (вариант T), а наиболее редким являлся генотип C/C (табл. 2). Частота встречаемости дикого аллеля T составила 0,52, мутантного аллеля C – 0,48.

При анализе основных показателей функционального и физиологического состояния обследуемых в зависимости от наличия или отсутствия мутантного аллеля C наблюдалась тенденция к снижению всех проанализированных показателей в группе с генотипами T/C+C/C.

Среди интегральных показателей функционального состояния организма статистически достоверное снижение наблюдалось для комплексного показателя здоровья – на 38,0% (p=0,051). Для остальных показателей наблюдался диапазон снижения от 11,1 до 30,0%.

Аналогичным образом изменялись и показатели физиологического состояния. Диапазон снижения составил от 11,7 до 29,6%. Статистически значимое снижение на 25,4% выявлено для показателя уровня энергетического обмена (p=0,032).

Тенденция снижения показателей функционального и физиологического состояния организма у обследованных с генотипами T/C и C/C сопровождалась изменением основных вазоактивных факторов эндотелия. Так, уровень ангиотензина II снизился на 3,72%, оксида азота – на 41,9%, при этом уровень эндотелина-1 увеличился на 41,9%.

Таблица 2

Показатели состояния организма и уровень вазоактивных эндотелиальных факторов в зависимости от генотипа по варианту гена *AGT*, M±σ

Генотипы	T/T	T/C+C/C	P<
IFBS_UAO, %	89,0±10,2	62,3±20,5	–
IFBS_VR, %	75,5±17,0	56,0±20,0	–
IFBS_NR, %	58,3±15,5	47,5±10,0	–
IFBS_PES, %	63,0±5,5	56,0±4,2	–
IFBS_KPZ, %	63,0±20,4	39,0±22,0	0,05
IPC_UAFN, %	61,3±3,3	45,7±12,0	–
IPC_UTO, %	77,0±14,0	54,2±7,2	–
IPC_UEO, %	62,5±8,5	46,6±11,0	0,03
IPC_PES, %	62,3±19,0	55,0±11,0	–
IPC_IPCF, %	64,5±7,0	51,2±12,2	–
Ангиотензин II, пг/мл	57,5±4,3	61,0±14,0	–
EDN-1, фмоль/мл	0,32±0,9	0,44±0,3	–
NO, мкмоль/л	23,6±2,8	13,7±0,2	0,02

Примечание: IFSB – показатели функционального состояния организма; IFBS_UAO – уровень адаптации организма; IFBS_VR – вегетативная регуляция; IFBS_NR – нейрогуморальная регуляция; IFBS_PES – психоэмоциональное состояние; IFBS_KPZ – комплексный показатель здоровья; IPC – показатели физиологического состояния; IPC_UAFN – уровень адаптации к физическим нагрузкам; IPC_UTO – уровень тренированности организма; IPC_UEO – уровень энергетического обеспечения; IPC_PES – психоэмоциональное состояние; IPC_IPCF – интегральный показатель спортивной формы; EDN-1 – эндотелин-1; NO – оксид азота.

Заключение. На современном этапе развития спортивной генетики поиск новых молекулярно-генетических маркеров спортивной успешности и создание генетических профилей – наборов определенных генотипов, отличающих наиболее успешных спортсменов в каждом конкретном виде спорта или спортивной специализации, является актуальным. Это позволяет осуществить грамотный отбор и раннюю профилизацию юных спортсменов, а также применить индивидуальный подход в планировании тренировок. Изучение генетических основ физического и функционального состояния организма имеет большое теоретическое и практическое значение для прогнозирования высоких спортивных достижений и для профессионального отбора в другие виды деятельности, связанные с физическими нагрузками. Современные исследования подчеркивают, что вариант rs699 можно учитывать для персонализации тренировочного процесса и мониторинга здоровья [13].

В проведенном нами исследовании была сделана попытка установления влияния варианта T704C гена *AGT* на показатели функционального и физиологического

состояния организма, определенного при помощи программно-аппаратного комплекса «Омега-С», и уровень основных вазоактивных эндотелиальных факторов.

Полученные результаты позволяют говорить о негативном влиянии изученного полиморфизма на основные показатели функционального и физиологического состояния организма юных спортсменов, проживающих на территории Европейского Севера.

В проведенном исследовании в основном наблюдали тенденцию к снижению интегральных показателей функционального и физиологического состояния. Это может быть обусловлено различными видами спорта, которыми занимались обследованные, и другими факторами. Поэтому необходимо проведение дополнительных исследований для возможного использования гена *AGT* и его полиморфных вариантов в качестве гена-кандидата спортивной успешности.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баевский, Р.М. Вариабельность сердечного ритма: теоретические аспекты и возможности клинического применения / Р.М. Баевский, Г.Г. Иванов // Ультразвуковая и функциональная диагностика. – 2001. – № 3. – С. 108-127.
2. Ярилов, С.В. Физиологические аспекты новой информационной технологии анализа биофизических сигналов и принципы технической реализации / С.В. Ярилов. – СПб., 2001. – 48 с.
3. Система комплексного компьютерного исследования физического состояния спортсменов «Омега-С»: документация пользователя. – СПб.: Динамика, 2006. – 64 с.
4. Сравнительный анализ генетического статуса спортсменов-гребцов высокой квалификации и гребцов-юниоров / Т.Л. Лебедь, Н.В. Шепелевич, Н.Г. Кручинский, С.Б. Мельнов // Здоровье для всех. – 2016. – № 1. – С. 51-55.
5. John, R. Genetics and the Elite Athlete: Our Understanding in 2020 / R. John, M.S. Dhillon, S. Dhillon // Indian Journal of Orthopaedics. – 2020. – Vol. 54(3). – P. 256-263. DOI: 10.1007/s43465-020-00056-z.
6. Башкатова, Ю.В. Общая характеристика функциональных систем организма человека в условиях Ханты-Мансийского автономного округа – Югры / Ю.В. Башкатова, В.А. Карпин // Экология человека. – 2014. – Т. 21. – № 5. – С. 9-16. DOI: 10.17816/humeco17234.
7. Факторы риска артериальной гипертензии у молодых людей, занимающихся и не занимающихся спортом, с вариантом RS5186 гена *AGTR1* / О.А. Зубкова, С.Н. Левицкий, А.В. Сумарокова [и др.] // Современные вопросы биомедицины. – 2025. – Т. 9. – № 2(32). DOI: 10.24412/2588-0500-2025_09_02_9.
8. Бондарева, Э.А. Генетические аспекты изучения спортивной успешности и спортивного отбора / Э.А. Бондарева, М.А. Негашева // Успехи современной биологии. – 2017. – Т. 137. – № 1. – С. 44-55.
9. Lack of association between genotype score and sprint/power performance in the Japanese population / E. Miyamoto-Mikami, H. Murakami, H. Tsuchie [et al.] // Journal of Sports Science and Medicine. – 2017. – Vol. 20(1). – P. 98-103. DOI: 10.1016/j.jsams.2016.06.005.
10. A genome-wide association study of sprint performance in elite youth football players / C. Pickering, B. Suraci, E.A. Semenova [et al.] // The Journal of Strength & Conditioning Research. – 2019. – Vol. 33(9). – P. 2344-2351. DOI: 10.1519/JSC.0000000000003259.
11. Ярышева, В.Б. Генетические предикторы адаптации сердечно-сосудистой системы подростков к физическим нагрузкам / В.Б. Ярышева, Д.З. Шибкова // Казанский медицинский журнал. – 2017. – Т. 98. – № 1. – С. 63-66. DOI: 10.17750/KMJ2017-63.
12. Полиморфизм гена *AGT* (rs699) и профессиональная спортивная успешность (обзор) / Н.А. Бебякова, И.А. Шабалина, О.А. Афиногенова, М.О. Астрейко // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и Технические Науки. – 2021. – № 01. – С. 12-15. DOI: 10.37882/2223-2966.2021.01.06.
13. Genes and Athletic Performance: An Update / I.I. Ahmetov, E.S. Egorova, L.J. Gabdrakhmanova, O.N. Fedotovskaya // Medicine & Science in Sports & Exercise. – 2016. – No. 61. – P. 41-54. DOI: 10.1159/000445240.

REFERENCES

1. Baevskij R.M., Ivanov G.G. Heart rate variability: theoretical aspects and possibilities of clinical application. Moscow: Meditsina, 2007. pp. 474-498 (in Russ.)
2. Yarilov S.V. Physiological aspects of new information technology for the analysis of biophysical signals and principles of technical implementation. St. Petersburg, 2006. 47 p. (in Russ.)
3. The Omega-S system for complex computer analysis of athletes' physical condition:

user documentation. St. Petersburg: Dinamika, 2006. 64 p. (in Russ.)
4. Lebed T.L., Shepelevich N.V., Kruchinsky N.G., Melnov S.B. Comparative analysis of genetic status of highly qualified sportsmen-rowers and junior rowers. *Health for all*, 2016, no. 1, pp. 51-55. (in Russ.)
5. John R., Dhillon M.S., Dhillon S. Genetics and the Elite Athlete: Our Understanding in 2020. *Indian Journal of Orthopaedics*, 2020, vol. 54, no. 3, pp. 256-263. DOI: 10.1007/s43465-020-00056-z.
6. Bashkatova Yu.V., Karpin V.A. General characteristic of human body functional systems in conditions of khanty-mansi autonomous okrug – Ugra. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*, 2014, no. 5, pp. 9-16. DOI: 10.17816/humeco17234. (in Russ.)
7. Zubkova O.A., Levitskij S.N., Sumarokova A.V., Astrejko M.O., Bebyakova N.A. Risk factors for arterial hypertension in young people involved and not involved in sports, with the version of the RS5186 *AGTR1* gene. *Modern Issues of Biomedicine*, 2025, vol. 9, no. 2(32). DOI: 10.24412/2588-0500-2025_09_02_9. (in Russ.)
8. Bondareva E.A., Negasheva M.A. Genetic aspects of athletic performance and sports selection. *Advances in modern biology*, 2017, vol. 137, no. 1, pp. 44-55. (in Russ.)
9. Miyamoto-Mikami E., Murakami H., Tsuchie H. et al. Lack of association between genotype score and sprint/power performance in the Japanese population. *J Sci Med Sport*, 2017, vol. 20, no. 1, pp. 98-103. DOI: 10.1016/j.jsams.2016.06.005.
10. Pickering C., Suraci B., Semenova E.A., Boulygina E.A., Kostryukova E.S. et al. A Genome-Wide Association Study of Sprint Performance in Elite Youth Football Players. *J Strength Cond Res*, 2019, vol. 33, no. 9, pp. 2344-2351. DOI: 10.1519/JSC.0000000000003259.
11. Yarysheva V.B., Shibkova D.Z. Genetic predictors of cardiovascular system adaptation in adolescents to physical stress. *Kazan medical journal*, 2017, vol. 98, no. 1, pp. 63-66. DOI: 10.17750/KMJ2017-63. (in Russ.)
12. Bebyakova N.A., Shabalina I.A., Afinogenova O.A., Astrejko M.O. Polymorphism of *AGT* gene (rs699) and professional sports achievements (review). *Modern science: actual problems of theory and practice. Series "Natural and Technical Science"*, 2021, no. 1, pp. 12-15. DOI: 10.37882/2223-2966.2021.01.06. (in Russ.)
13. Ahmetov I.I., Egorova E.S., Gabdrakhmanova L.J., Fedotovskaya O.N. Genes and Athletic Performance: An Update. *Med Sport Sci.*, 2016, no. 61, pp. 41-54. DOI: 10.1159/000445240.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:
Сергей Николаевич Левицкий – доцент кафедры медицинской биологии и генетики, Северный государственный медицинский университет, Архангельск, e-mail: sergeylevitski@yandex.ru.
Ольга Андреевна Зубкова – преподаватель-исследователь, Северный государственный медицинский университет, Архангельск, e-mail: opervukhina@inbox.ru.
Юлия Михайловна Никонова – доцент кафедры медицинской биологии и генетики, Северный государственный медицинский университет, Архангельск, e-mail: nickonova.yulia2014@yandex.ru.
Виктор Евгеньевич Юрчук – врач по спортивной медицине, руководитель медицинского отдела, Спортивная школа олимпийского резерва «Поморье», Архангельск, e-mail: rcsp@belomorsport.ru.
Наталья Александровна Бебякова – заведующая кафедрой медицинской биологии и генетики, Северный государственный медицинский университет, Архангельск, e-mail: nbebyakova@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:
Sergej N. Levitskij – Associate Professor, Department of Medical Biology and Genetics, Northern State Medical University, Arkhangelsk, e-mail: sergeylevitski@yandex.ru.
Olga A. Zubkova – Research Assistant, Northern State Medical University, Arkhangelsk, e-mail: opervukhina@inbox.ru.
Yulia M. Nikonova – Associate Professor, Department of Medical Biology and Genetics, Northern State Medical University, Arkhangelsk, e-mail: nickonova.yulia2014@yandex.ru.
Viktor E. Yurchuk – Sports Medicine Physician, Head of the Medical Department, Pomorie Olympic Reserve Sports School, Arkhangelsk, e-mail: rcsp@belomorsport.ru.
Natalya A. Bebyakova – Head of the Department of Medical Biology and Genetics, Northern State Medical University, Arkhangelsk, e-mail: nbebyakova@mail.ru.

Для цитирования: Влияние варианта T704C гена *AGT* (rs699) на функциональные и физиологические показатели подростков, занимающихся спортом / С.Н. Левицкий, О.А. Зубкова, Ю.М. Никонова [и др.] // Современные вопросы биомедицины. – 2026. – Т. 10. – № 1(36). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_01_10

For citation: Levitskij S.N., Zubkova O.A., Nikonova Yu.M., Yurchuk V.E., Bebyakova N.A. Effect of the T704S variant of the *AGT* gene (rs699) on functional and physiological parameters of adolescents engaged in sports. *Modern Issues of Biomedicine*, 2026, vol. 10, no. 1(36). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_01_10