

ГЕНЕТИКА

Научная статья

УДК 575.22:577.29

EDN: KTJTJI

<http://dx.doi.org/10.17072/1994-9952-2026-2-191-199>



Влияние полиморфизма генов *AGT* и *AGTR1* на развитие артериальной гипертензии и уровень физического состояния у единоборцев города Перми

Анна Владимировна Сорокина

Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия, vostanyuta@mail.ru

Аннотация. Для спортивного отбора и корректировки тренировочного процесса единоборцев важное значение оказывают данные предрасположенности к развитию физических качеств и к развитию сердечно-сосудистых заболеваний, например, артериальной гипертензии. Цель данного исследования – изучение ассоциации полиморфизма генов *AGT* и *AGTR1* с развитием артериальной гипертензии и уровнем физического состояния (УФС) у единоборцев г. Перми. В исследовании приняли участие 430 человек, среди которых было 312 единоборцев и 118 школьников, не занимающихся спортом, из группы сравнения. Для поиска ассоциаций аллельных форм генов *AGT* и *AGTR1* с артериальной гипертензией испытуемые были распределены на две группы: Группу I, включающую испытуемых с нормальным давлением, и Группу II, которую составили испытуемые с артериальной гипертензией. У испытуемых в возрасте от 10 до 16 лет проведены исследования проб ДНК с использованием полимеразной цепной реакции в реальном времени (ПЦР-РВ) и выявлен полиморфизм C/T гена *AGT* (*rs4762*) и A/C гена *AGTR1* (*rs5186*). С помощью критерия χ^2 – хи-квадрат Пирсона была обнаружена достоверная связь между генотипом T/T гена *AGT* и генотипом C/C гена *AGTR1* и развитием артериальной гипертензии ($\chi^2 = 102.4$). При анализе взаимосвязи видов единоборств и УФС было обнаружено, что во всех видах единоборств соблюдается тенденция к высокому уровню физического состояния ($\chi^2 = 34.340$). Корреляционный анализ Спирмена выявил наличие положительной связи ($r_s = 0.374$) между показателями генотипа T/T гена *AGT* и показателями генотипа C/C гена *AGTR1* ($r_s = 0.390$) у испытуемых и уровнем физического состояния. На основе данных генетического анализа с использованием экспресс-тестирования можно составлять индивидуальные программы тренировок с учетом генотипа и особенностей физической подготовки конкретного спортсмена.

Ключевые слова: полиморфизм генов *AGT*, *AGTR1*, артериальная гипертензия, единоборцы, уровень физического состояния

Для цитирования: Сорокина А. В. Влияние полиморфизма генов *AGT* и *AGTR1* на развитие артериальной гипертензии и уровень физического состояния у единоборцев города Перми // Вестник Пермского университета. Сер. Биология. 2026. Т. 17, вып. 2. С. 191–199. <http://dx.doi.org/10.17072/1994-9952-2026-2-191-199>.

Благодарности: автор выражает благодарность тренерам из спортивных школ г. Перми и лицам, принявшим участие в исследовании.

GENETICS

Original article

Influence of *AGT* and *AGTR1* gene polymorphisms on the development of arterial hypertension and physical fitness level in martial artists from the city of Perm

Anna V. Sorokina

Perm State University, Perm, Russia, vostanyuta@mail.ru

Abstract. To optimize training, it is crucial to understand martial artists' predisposition to developing physical qualities, as well as their susceptibility to cardiovascular diseases such as hypertension. The aim of this study was to investigate the association of *AGT* and *AGTR1* gene polymorphisms with the development of hypertension and physical fitness level (PFL) in martial artists from the city of Perm. The study sample included 430 individuals, including 312

martial artists and 118 schoolchildren who do not participate in sports (a control group). To investigate associations between *AGT* and *AGTR1* allelic forms and hypertension, the subjects were divided into two groups: Group I, including subjects with normal blood pressure, and Group II, which included subjects with hypertension. qPCR was performed on DNA samples from subjects aged 10 to 16 years. The Pearson chi-square test (χ^2) revealed a significant association between the *AGT* T/T genotype, the *AGTR1* C/C genotype, and the development of arterial hypertension ($\chi^2 = 102.4$). An analysis of the relationship between martial arts and physical fitness level (PFL) revealed a tendency toward high levels of physical fitness across all disciplines ($\chi^2 = 34.340$). Spearman's rank correlation analysis revealed a positive association between the *AGT* T/T genotype ($r_s = 0.374$) and the *AGTR1* C/C genotype ($r_s = 0.390$) with the level of physical condition in the subjects. Based on genetic analysis data obtained through rapid testing, individualized training programs at sports schools can be developed considering the specific athlete's genotype and physical fitness characteristics.

Keywords: *AGT* and *AGTR1* gene polymorphism, arterial hypertension, martial artists, physical fitness level

For citation: Sorokina A. V. [Influence of *AGT* and *AGTR1* gene polymorphisms on the development of arterial hypertension and physical fitness level in martial artists from the city of Perm]. *Bulletin of Perm University. Biology*. Vol. 17, iss. 2 (2026): pp. 191-199. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.17072/1994-9952-2026-2-191-199>.

Acknowledgments: the author expresses gratitude to the coaches from sports schools of Perm and to all the individuals who participated in the study.

Введение

Функциональное тестирование в спортивной медицине основано на сопоставлении физиологических показателей организма в условиях мышечного покоя, дозированных и предельных физических нагрузок, а также восстановительного периода [Андриянова, 2020]. Методика определения уровня физического состояния (УФС) [Пирогова и др., 1986] позволяет производить экспресс-оценку уровня физического состояния по показателям системы кровообращения. Уровень физического состояния включает следующие показатели: ЧСС – частота сердечных сокращений (уд/мин) в состоянии покоя; АД_{ср} – среднее артериальное давление (определяется как сумма диастолического давления и 1/3 разности между систолическим и диастолическим давлением); В – возраст обследуемого (годы); m – масса тела (кг), h – рост (см). При высоком УФС у человека наблюдаются максимальные функциональные возможности. Такой УФС может наблюдаться у людей, длительно занимающихся специализированными формами мышечной деятельности. Средний УФС указывает на то, что функциональные резервы и двигательная подготовленность близки к оптимальным, соответствуют полу и возрасту. Он соответствует снижению физической работоспособности до 70–90% от должной величины, что ограничивает функциональные возможности жизнеобеспечивающих систем. Самые низкие величины физической работоспособности дают «низкий» и «ниже среднего» показатели УФС. Уровень развития двигательных качеств при таких показателях снижен. Такое состояние является пограничным между нормой и патологией [Чедов, 2021].

Ранее установлена ассоциация 235T и 174M полиморфных вариантов гена *AGT* (*Angiotensinogen*) с ишемической болезнью и с риском развития гипертензии [Калакуток, 2002; Нгуен, Шкурят, 2010]. Исследование [Голованова и др., 2023] показало, что присутствие в генотипе аллеля T существенно увеличивает риск развития гипертензии. Данный генотип гена *AGT* связан с повышением концентрации белка ангиотензиногена, что может приводить к увеличению содержания ангиотензина II. Рецептор 1-го типа к ангиотензину II *AGTR1* (*Angiotensin II Receptor Type 1*) оказывает вазопрессорное действие и регулирует секрецию альдостерона. Он, в свою очередь, контролирует артериальное давление и объем крови в сердечно-сосудистой системе [Хигучи и др., 2007]. Ряд исследований подтверждает взаимосвязь однонуклеотидных полиморфизмов генов ангиотензиногена, ангиотензиновых рецепторов 1-го типа (*AGTR1*) и 2-го типа (*AGTR2*) с отягощенной наследственностью по артериальной гипертензии [Пахомия и др., 2014; Потапов и др., 2015]. Несмотря на исследования данных генов, их значение как генов-маркеров артериальной гипертензии практически не изучено у единоборцев. Кроме этого, возникает необходимость в установлении связи между генами и показателем физического состояния спортсмена, в данном случае – с уровнем физического состояния.

Цель работы – изучение ассоциации полиморфизма генов *AGT* и *AGTR1* с развитием артериальной гипертензии и уровнем физического состояния у единоборцев г. Перми.

Материал и методы исследования

Выборка для исследований включала 312 испытуемых из спортивных школ города Перми: 44 вольных борца из МАУ ДО центр детского творчества «Шанс», 22 джитсера из филиала «Mata Leao» международной сети клубов «Beverly Hills Jiu-Jitsu Club» (ВНJJ); 148 дзюдоистов из школы самбо и дзюдо «Витязь» им. И.И. Пономарева, 56 каратистов из МБОУ ДО «Детско-юношеская спортивная школа карате», 42 самбиста из КГБУ ДО «Спортивная детско-юношеская школа по дзюдо и самбо» и МАУ ДО «Спортивная детско-юношеская школа по дзюдо и самбо». Возраст испытуемых варьировал от 10 до 16 лет. Среди них было 275 единоборцев мужского пола и 37 женского пола. Единоборства являются

преимущественно мужскими видами спорта, а потому в выборках преобладают лица мужского пола [Вострикова и др., 2020]. Кроме этого, в качестве группы сравнения были взяты 118 школьников, не занимающихся единоборствами.

Забор биологического материала (буккального эпителия) для генетического анализа проводили с помощью соскоба эпителиальных клеток ротовой полости. От каждого испытуемого было получено добровольное согласие на забор биологического материала. Измерение артериального давления проводили по методу Н. С. Короткова [Иванов, Лившиц, 2005] с использованием стандартных возрастных манжет при каждом визите пациента. Артериальное давление измеряли трехкратно с интервалом 5 мин на обеих верхних конечностях с подсчетом среднего показателя. Нормальным систолическим и диастолическим артериальным давлением считается значение <90-го перцентиля кривой распределения АД, высокое нормальное АД ≥ 90 и <95-го перцентиля, АД в гипертензивном состоянии ≥ 95 -го перцентиля кривой распределения АД в популяции для соответствующего возраста, пола и роста. У подростков 16 лет используются единые критерии диагностики нормального (<130/85 мм рт. ст.), высокого нормального АД ($\geq 130/85$ мм рт. ст.) и $\geq 140/90$ мм рт. ст. для артериальной гипертензии [Александров и др., 2009].

В общей выборке из 430 человек нормальное давление обнаружено у 313 человек, 49 имеют высокое нормальное давление, у 68 человек зарегистрирована артериальная гипертензия. Выделены 2 группы для сравнения между собой, чтобы определить связь между генотипами исследуемых генов и артериальным давлением. Группа I включала испытуемых с нормальным давлением (313 человек), Группа II состояла из 68 человек с высоким риском развития артериальной гипертензии. Сравнение частот генотипов между Группой I испытуемых с нормальным давлением и Группой II с риском развития артериальной гипертензии выполняли с помощью критерия χ^2 – хи-квадрат.

У каждого участника эксперимента определяли частоту сердечных сокращений (ЧСС), среднее артериальное давление (АД_{ср}), возраст (В), вес (m) и рост (h). Полученные данные вносили в формулу: $УФС = (700 - 3 * ЧСС - 2.5 * АД_{ср} - 2.7 * В + 0.28 * m) / (350 - 2.6 * В + 0.21 * h)$. Оценка уровня физического состояния по шкале, предложенной Е.А. Пироговой [Пирогова и др., 1986]: «1» – низкий: 0.375; «2» – ниже среднего: 0.376 – 0.525; «3» – средний: 0.525 – 0.675; «4» – выше среднего: 0.676 – 0.825; «5» – высокий: 0.826 и выше.

ДНК выделяли методом тотального осаждения и лизиса SDS (Sodium Dodecyl Sulfate, додецилсульфат натрия) с помощью коммерческого набора реагентов «EX-511 ДНК-Экстра-2» (Синтол, Россия) в соответствии с инструкцией. Концентрацию проб ДНК определяли с помощью спектрофотометра Spectrofotometr™ NanoDrop 2000 «Thermo scientific» (USA). В ПЦР в реальном времени (ПЦР-РВ), которую проводили на амплификаторе CFX96 (CFX96 Touch Real-Time PCR Detection System, USA), выявлялись аллели генов *AGT* и *AGTR1*. Реактивы для выявления полиморфных локусов Thr174Met гена *AGT* (rs4762) и A1166C гена *AGTR1* (rs5186) синтезированы в ООО «Синтол» (г. Москва, Россия). Реактивы для амплификации ДНК смешивали в нужном объеме непосредственно перед проведением исследований. К реакционной смеси добавляли 5 мкл пробы ДНК индивидуально каждого единоборца. В качестве контроля использовали: а) отрицательный контроль (ОКО); б) положительный контрольный образец (ПКО) для гена *AGT* – ПКО 1 Т/Т, ПКО 2 С/Т, ПКО 3 С/С, для гена *AGTR1* – ПКО 1 А/А, ПКО 2 А/С, ПКО 3 С/С. Определение аллелей и генотипов проводилось при помощи программы Bio-Rad (USA) на амплификаторе CFX96. ПЦР-РВ для амплификации полиморфных локусов проводили по программе, описанной в инструкции к наборам реактивов. По каналу флуоресценции FAM (синий, длина волны возбуждения/детекции 470/515 нм) качественно определялось наличие в пробе аллеля С гена *AGT* и аллеля А гена *AGTR1*. По каналу флуоресценции HEX (зеленый, длина волны возбуждения/детекции 530/560 нм) обнаружен аллель Т гена *AGT* и аллель С гена *AGTR1*. Каждая проба была проанализирована индивидуально. Эксперимент повторялся дважды. ПЦР-РВ проведена при условиях, предусмотренных в инструкции производителя набора реактивов ООО «Синтол». Интерпретация результатов ПЦР-РВ была проведена в программе Bio-Rad CFX Manager по инструкции компании ООО «Синтол».

Анализ полученных данных проводился с использованием программы STATISTICA 6.0 с определением нормальности распределения. Для хранения и обработки результатов исследований была создана матрица данных в виде электронных таблиц MS Excel 2010. Сравнение частот генотипов между разными группами испытуемых (с нормальным давлением и с артериальной гипертензией) выполняли с помощью критерия χ^2 – хи-квадрат Пирсона. Сопоставление аллельных вариантов генов с уровнем физического состояния у единоборцев проводили с помощью коэффициента корреляции Спирмена (r_s), при использовании которого допускается сравнение разных по объему испытуемых выборок.

Результаты и обсуждение

В ПЦР в реальном времени рост по каналу FAM указывает на присутствие аллеля С гена *AGT* в пробе ДНК (рис. 1). Рост по каналу HEX обозначает наличие аллеля Т гена *AGT*. Соответственно, присутствие обоих аллелей в пробе ДНК свидетельствует о наличии генотипа С/Т гена *AGT* у испытуемого. Результаты подлежат учету только в случае, когда положительный контрольный образец имеет положительные

результаты по каналам *FAM* и *HEX*, а отрицательный контрольный образец имеет отрицательные результаты по каналам *FAM* и *HEX*. Положительный контрольный образец необходим для определения специфичности набора реагентов к аллелям Т и С гена *AGT*. Отрицательный контрольный образец необходим для подтверждения отсутствия в реакционной смеси контаминации и ингибирования.

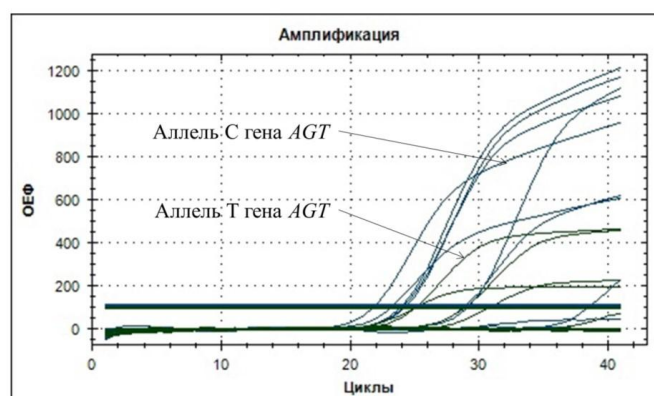


Рис. 1. Кинетические кривые флуоресценции, полученные для проб ДНК из буккального эпителия единоборцев при анализе полиморфных локусов гена *AGT*.

Цвета, соответствующие каналам детекции флуоресценции: *FAM* (аллель С гена *AGT*) – синий, *HEX* (аллель Т гена *AGT*) – зеленый; ОЕФ – относительные единицы флуоресценции, циклы – циклы амплификации

[Fluorescence kinetic curves obtained for DNA samples from the buccal epithelium of martial artists during the analysis of polymorphic loci of the *AGT* gene.

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

Частоты аллелей С и Т гена *AGT* у 381 испытуемого равны 0.82 и 0.18 соответственно. По результатам распределения частот полиморфных локусов Thr174Met гена *AGT* (*rs4762*) получены следующие данные: генотип Т/Т, ассоциированный с развитием артериальной гипертензии [Голованова и др., 2023], отмечен у 4 испытуемых Группы I с нормальным давлением (частота 0.01) и у 19 человек из Группы II с артериальной гипертензией (частота 0.28), всего у 23 человек, т. е. с частотой 0.06. Генотип С/Т был обнаружен у 59 человек с нормальным давлением (частота 0.19) и у 30 испытуемых с повышенным риском развития артериальной гипертензии (частота 0.44), всего 89 человек с частотой 0.23. Генотип С/С был определен у 250 человек из Группы I (частота 0.80) и у 19 испытуемых из Группы II (частота 0.28), всего у 269 человек с частотой 0.71 (табл. 1).

Таблица 1

Аллельные варианты гена *AGT* у единоборцев с разным артериальным давлением (n=381)

[*AGT* gene allelic variants in martial artists with different blood pressure levels (n=381)]

Генотип	Группы с разным артериальным давлением (381 человек)		Частоты генотипа на общую выборку (381 человек)	χ^2	p
	Группа I – нормальное давление (313 человек)	Группа II – артериальная гипертензия (68 человек)			
C/C	250 (0.80)	19 (0.28)	269 (0.71)	102.4	0.000001
C/T	59 (0.19)	30 (0.44)	89 (0.23)		
T/T	4 (0.01)	19 (0.28)	23 (0.06)		

Примечание: C/C, C/T, T/T – генотипы гена *AGT*; Группа I – испытуемые с нормальным давлением; Группа II – испытуемые с артериальной гипертензией; в скобках указаны относительные частоты; полужирным шрифтом выделены преобладающие генотипы в каждой группе; сравнение выполнено с использованием критерия χ^2 Пирсона (df = 2 для генотипов и df = 1 для аллелей); p – уровень значимости, статистическая значимость определялась при уровне p < 0.05.

Полученный уровень значимости (p = 0.000001) свидетельствует о наличии статистической значимости, т. к. p < 0.05. В результате, при сравнении частот аллелей и генотипов гена *AGT* у единоборцев показано, что у испытуемых с нормальным давлением (Группа I) частота генотипа Т/Т, ассоциированного с развитием артериальной гипертензии, достоверно ниже по сравнению с группой повышенного риска развития артериальной гипертензии (0.01 против 0.28). Генотип С/С встречается с более высокой частотой в Группе I по сравнению с другой группой (0.80 против 0.28). Генотип С/Т встречается с более высокой

частотой в Группе II, у лиц с артериальной гипертензией. Критерий $\chi^2 = 102.4$ при $p = 0.000001$, что является достоверным ($p < 0.05$).

При использовании анализа по пороговому циклу в ПЦР в реальном времени рост по каналу *FAM* указывает на присутствие аллеля А гена *AGTR1* (рис. 2). Рост по каналу *HEX* обозначает наличие аллеля С гена *AGTR1* в пробе ДНК. Соответственно, присутствие обоих аллелей в пробе свидетельствует о наличии генотипа А/С гена *AGTR1*. Положительный контрольный образец необходим для определения специфичности набора реагентов к аллелям А и С гена *AGTR1*. Отрицательный контрольный образец необходим для подтверждения отсутствия в реакционной смеси контаминации и ингибирования.

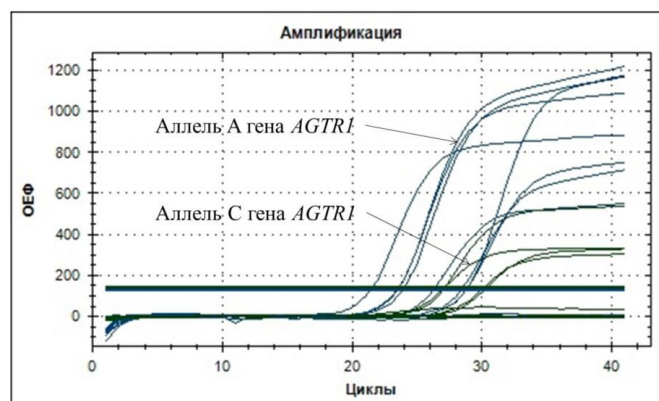


Рис. 2. Кинетические кривые флуоресценции, полученные для проб ДНК из буккального эпителия единоборцев при анализе полиморфных локусов гена *AGTR1*.

Цвета, соответствующие каналам детекции флуоресценции: *FAM* (аллель А гена *AGTR1*) – синий, *HEX* (аллель С гена *AGTR1*) – зеленый; ОЕФ – относительные единицы флуоресценции, циклы – циклы амплификации

[Fluorescence kinetic curves obtained for DNA samples from the buccal epithelium of martial artists when analyzing of polymorphic loci of the *AGTR1* gene.

Colors corresponding to fluorescence detection channels: *FAM* (A allele of the *AGTR1* gene) – blue, *HEX* (C allele of the *AGTR1* gene) – green; RFU – relative fluorescence units, cycles – amplification cycles]

Частоты аллелей А и С гена *AGTR1* у 381 испытуемого составили 0.84 и 0.16 соответственно. По результатам распределения частот полиморфных позиций А1166С гена *AGTR1* (*rs5186*) получены следующие данные: генотип С/С, ассоциированный с развитием артериальной гипертензии [Nalogowska-Glosnicka et al., 2000; Jones et al., 2003], отмечен у 5 человек в Группе с артериальной гипертензией (частота 0.08) и отсутствует в Группе испытуемых с нормальным давлением. Генотип А/А был обнаружен у 228 человек (частота 0.73) из группы с нормальным давлением и у 39 испытуемых (частота 0.57) из Группы II с риском развития артериальной гипертензии, всего 267 человек с частотой 0.70. Генотип А/С был выявлен у 85 человек из Группы I (частота 0.27) и у 24 испытуемых из Группы с риском развития артериальной гипертензии (частота 0.35), всего у 109 человек с частотой 0.29 (табл. 2).

Таблица 2

Аллельные варианты гена *AGTR1* у единоборцев с разным артериальным давлением (n=381)
[*AGTR1* gene allelic variants in judokas with different blood pressure levels (n=381)]

Генотип	Группы с разным артериальным давлением (381 человек)		Частоты генотипа на общую выборку (381 человек)	χ^2	p
	Группа I – нормальное давление (313 человек)	Группа II – артериальная гипертензия (68 человек)			
A/A	228 (0.73)	39 (0.57)	267 (0.70)	26.22	0.000002
A/C	85 (0.27)	24 (0.35)	109 (0.29)		
C/C	0 (0.00)	5 (0.08)	5 (0.01)		

Примечание: Группа I – испытуемые с нормальным давлением; Группа II – испытуемые с артериальной гипертензией; в скобках указаны относительные частоты; полужирным шрифтом выделены преобладающие генотипы в каждой группе; сравнение выполнено с использованием критерия χ^2 Пирсона (df=2 для генотипов и df=1 для аллелей); p – уровень значимости, статистическая значимость определялась при уровне $p < 0.05$.

Полученный уровень значимости ($p = 0.000002$) свидетельствует о наличии статистической значимости, т. к. $p < 0.05$. Результаты сравнения частот аллелей и генотипов гена *AGTR1* у единоборцев г. Перми показали, что в Группе II испытуемых с артериальной гипертензией частота генотипа С/С, ассоциированного с развитием артериальной гипертензии, достоверно выше по сравнению с Группой I испытуемых

с нормальным давлением (0.00 против 0.08). Генотип А/А встречается с более высокой частотой в Группе I по сравнению с группой испытуемых с высоким риском артериальной гипертензии (0.73 против 0.57). Генотип А/С встречается с частотой 0.27 в группе с нормальным давлением с частотой 0.35 в группе с риском развития артериальной гипертензии.

В данной выборке артериальная гипертензия обнаружена у 68 человек из 381 (18% от общей выборки). Обнаружены достоверно значимые различия при анализе полиморфных позиций Thr174Met гена AGT и A1166C гена AGTR1 по критерию хи-квадрат ($\chi^2 = 102.4$ при $p = 0.000001$ для гена AGT; $\chi^2 = 26.22$ при $p = 0.000002$ для гена AGTR1). Прослеживается связь генотипа Т/Т гена AGT и генотипа С/С гена AGTR1 с артериальной гипертензией. Таким образом, данные генотипы могут быть использованы в качестве маркерных.

Уровень физического состояния был определен у каждого участника исследования, а также по группам спортсменов, занимающихся разными видами единоборств (табл. 3). Среднее значение УФС (УФС_{ср}) для спортсменов, занимающихся вольной борьбой, составило 0.705. При этом низкий уровень (УФС_{ср} = 0.492) определен у 2 человек (частота 0.05), средний уровень (УФС_{ср} = 0.615) – у 18 спортсменов; а высокий уровень (УФС_{ср} = 0.790) отмечен у 24 вольных борцов (частота 0.54). Среднее значение УФС для спортсменов, занимающихся джиу-джитсу, равно 0.720. При этом низкий УФС не был установлен среди данной выборки. Средний УФС, равный 0.588, отмечен у 6 спортсменов, а высокий уровень (УФС_{ср} = 0.769) получен у 16 джитсеров. У дзюдоистов среднее значение УФС составило 0.705. При этом низкий уровень физического состояния (УФС_{ср} = 0.472) определен у 10 человек с частотой 0.18, средний уровень (УФС_{ср} = 0.618) – у 50 дзюдоистов (частота 0.34), а высокий уровень (УФС_{ср} = 0.780) – у 88 спортсменов (частота 0.59).

Таблица 3

Уровень физического состояния спортсменов разных видов единоборств
[Physical fitness level of athletes in different martial arts]

УФС	Вольная борьба	Джиу-джитсу	Дзюдо	Карате	Самбо	Всего	χ^2	p
Низкий	0.05 (2)	0	0.07 (10)	0	0	0.04 (12)	34.340	0.0000
Средний	0.41 (18)	0.27 (6)	0.34 (50)	0.18 (10)	0.02 (1)	0.27 (85)		
Высокий	0.54 (24)	0.73 (16)	0.59 (88)	0.82 (46)	0.98 (41)	0.69 (215)		
Всего	44	22	148	56	42	312	-	-

Примечание: сравнение выполнено с использованием критерия χ^2 Пирсона (df = 8); статистическая значимость определялась при уровне $p < 0.01$, где p – уровень значимости.

Среди каратистов среднее значение уровня физического состояния равно 0.766. Среднее значение УФС (УФС_{ср} = 0.614) определено у 10 человек, высокий уровень физического состояния (УФС_{ср} = 0.799) обнаружен у 46 каратистов (с частотой 0.82). Низкий уровень физического состояния также не был определен также, как и в группе самбистов. Среди спортсменов, занимающихся самбо, среднее значение уровня физического состояния равно 0.780, при этом среднее значение уровня физического состояния (УФС_{ср} = 0.647) определено только у 1 человека. У остальных 41 самбиста (частота 0.98) высокий УФС_{ср}, равный 0.784.

Полученные значения указывают, что у спортсменов, занимающихся всеми проанализированными видами единоборств, отмечена тенденция к увеличению уровня физического состояния.

Значение критерия χ^2 Пирсона составляет 34.340, что указывает на статистически значимую связь между низким, средним и высоким уровнями физического состояния при уровне значимости $p < 0.01$. Во всех видах единоборств преобладает высокий уровень физического состояния.

При сравнении уровня физического состояния между единоборцами и группой сравнения (табл. 4) было установлено, что низкий УФС встречается достоверно реже, чем высокий УФС в обеих выборках ($\chi^2 = 9.173$, при $p < 0.05$). Однако в группе единоборцев высокий УФС встречается значительно чаще, чем средний УФС (высокий УФС = 0.69 против средний УФС = 0.27). В группе сравнения разница между средним и высоким УФС небольшая (0.42 против 0.55 соответственно).

Таблица 4

Уровень физического состояния спортсменов в группе сравнения и группе единоборцев
[Physical fitness level of athletes in the control group and the martial arts group]

УФС	Единоборцы	Группа сравнения	Всего	χ^2
Низкий	0.04 (12)	0.03 (3)	0.04 (15)	9.173
Средний	0.27 (85)	0.42 (50)	0.31 (135)	
Высокий	0.69 (215)	0.55 (65)	0.65 (280)	
Всего	312	118	430	

Примечание: сравнение выполнено с использованием критерия χ^2 Пирсона (df = 2); статистическая значимость определялась при уровне $p < 0.05$.

Выявленная у пациентов с эссенциальной гипертензией [Калакуток, 2002; Нгуен, Шкурат, 2010] ассоциация генотипа Т/Т гена *AGT* и генотипа С/С гена *AGTR1* с развитием артериальной гипертензии подтверждена и установлена для спортсменов в данном исследовании для выборки единоборцев.

Сравнение аллельных вариантов гена *AGT* и уровня физического состояния у 430 испытуемых показало прямую и умеренную связь между признаками: $r_s = 0.374$ (табл. 5).

Таблица 5

Коэффициент корреляции Спирмена (r_s) между уровнем физического состояния и аллельными вариантами генов, ассоциированных с развитием артериальной гипертензии, у единоборцев г. Перми

[Spearman's rank correlation coefficient (r_s) between physical fitness level and hypertension-associated gene allelic variants in martial artists in Perm]

Сравнение УФС и аллельных вариантов гена	r_s	Связь между признаками	Сила связи по шкале Чеддока	Зависимость признаков
<i>AGT</i> (C/T)	0.374	прямая	умеренная	Значима ($p = 0.000000$)
<i>AGTR1</i> (A/C)	0.390	прямая	умеренная	Значима ($p = 0.000000$)

Примечание: r_s – коэффициент корреляции Спирмена; УФС – уровень физического состояния, шкала Чеддока – шкала качественной оценки тесноты связи [Chaddock, 1925].

При сравнении аллельных вариантов гена *AGTR1* и УФС был определен коэффициент корреляции равный 0.390, который также указывает на прямую и умеренную связь между признаками. Следовательно, можно сделать вывод: чем ниже ассоциация генотипа с артериальной гипертензией, тем выше уровень физического состояния единоборца. И наоборот, чем выше ассоциация аллельных вариантов гена с развитием артериальной гипертензии, тем ниже уровень физического состояния единоборца

Заключение

В данном исследовании установлено, что генотип Т/Т гена *AGT* и генотип С/С гена *AGTR1* могут быть использованы в качестве маркерных для определения развития артериальной гипертензии у единоборцев. Сравнение аллельных вариантов генов *AGT* и *AGTR1* с уровнем физического состояния показало достоверную связь между генотипами и показателем УФС. Следовательно, можно сказать, что присутствие аллелей, ассоциированных с артериальной гипертензией, генов *AGT* и *AGTR1* указывает на возможность повышения артериального давления и, соответственно, на возможность уменьшения уровня физического состояния. Данные генетического анализа будут полезны в процессе подготовки спортсменов в спортивных школах, т. к. на их основе можно составлять индивидуальные программы подготовки с учетом генотипа и особенностей физической подготовки конкретного спортсмена. Это должно привести к росту спортивных достижений, сохранению здоровья и увеличению спортивного долголетия [Kambouris et al., 2012].

Полученные данные свидетельствуют о том, что в процессе отбора отсеиваются спортсмены с неблагоприятными генотипами. Это происходит по многим причинам, одной из которых является их низкая работоспособность, обусловленная генетически, и долгое время восстановления после тренировки. Артериальная гипертензия является мультифакторным заболеванием, в связи с чем она может проявиться в более позднем возрасте. Одним из факторов развития гипертензии является стресс, который сопровождает спортсменов и на тренировках, и на состязаниях.

На основании всех полученных данных можно сделать вывод, что для единоборцев немаловажное значение имеет выявление генетической предрасположенности к развитию артериальной гипертензии, т. к. ее наличие может привести к развитию более серьезных заболеваний. К тому же, состояние здоровья спортсмена напрямую влияет на его спортивные достижения. Изучение генетической предрасположенности спортсменов позволит в дальнейшем повысить надежность и эффективность системы индивидуального отбора и подготовки высококвалифицированных спортсменов. Полученные данные еще раз доказывают, что важно уделять особое внимание состоянию здоровья и интенсивности тренировок у единоборцев.

Список источников

1. Александров А.А. Повышенное артериальное давление в детском и подростковом возрасте (ювенильная артериальная гипертензия) // РМЖ, 1997. № 9. С. 559–565.
2. Александров А.А. и др. Диагностика, лечение и профилактика артериальной гипертензии у детей и подростков. Российские рекомендации (второй пересмотр) // Кардиоваскулярная терапия и профилактика, 2009. Т. 8, № 4 С. 1–32.

3. Андриянова Е.Ю. Спортивная медицина. М.: Юрайт, 2020. 436 с. EDN: RBBBUI
4. Баранов В.С. Генетический паспорт – основа индивидуальной и предиктивной медицины. СПб.: Изд-во Н-Л, 2009. 528 с.
5. Вострикова А.В., Боронникова С.В., Закиров Р.М. Молекулярно-генетический анализ генов *ACTN3* и *AMPD1* у дзюдоистов спортивной школы по самбо и дзюдо «Витязь» г. Перми // Бюллетень науки и практики, 2020. № 4. С. 27–35. DOI: 10.33619/2414-2948/53/03. EDN: XDBPUZ
6. Голованова Н.Э., Астратенкова И.В., Лукьянова И.Ю. Полиморфизм генов и профессиональная деятельность как факторы риска развития артериальной гипертензии // Вестник Санкт-Петербургского университета. Медицина. 2023. Т. 18, вып. 1. С. 4–11. DOI: 10.21638/spbu11.2023.101. EDN: DCATWS
7. Иванов С.Ю., Лившиц Н.И. Точность измерения артериального давления по тонам Короткова в сравнении с осциллометрическим методом // Вестник аритмологии, 2005. № 40. С. 55–58. EDN: HSSHYP
8. Калакуток З.Н. Полиморфизм генов ренин-ангиотензин-альдостероновой системы и риск развития эссенциальной гипертонии у адыгов и русских: автореф. дис. ... канд. мед. наук. Майкоп, 2002. 24 с.
9. Нгуен Т.Ч., Шкурят Т.П. Исследование ассоциации T174M и M235T гена ангиотензиногена с ишемической болезнью сердца в ростовской популяции // Эпидемиология. 2010. Т. 11. С. 114–121.
10. Пахомья Н.С., Урясьев О.М., Шаханов А.В. Роль полиморфизмов некоторых генов в реализации артериальной гипертензии // Земский врач. 2014. Т. 24. С. 21–24.
11. Пирогова Е.А., Иващенко Л.Я., Стрacho Н.П. Влияние физических упражнений на работоспособность и здоровье человека. Киев: Здоровье, 1986. 152 с.
12. Потапов В.Е. и др. Особенности распределения однонуклеотидных полиморфизмов генов, ассоциированных с артериальной гипертензией у больных с хронической болезнью почек // Смоленский медицинский альманах. 2015. Т. 1. С. 138. EDN: OTJDHN
13. Хигучи С. и др. Передача сигнала ангиотензина II через рецептор AT1: новые данные о механизмах и патофизиологии // Клиническая наука. 2007. Т. 112. С. 417–428.
14. Чедов К.В. Физическая культура. Врачебный контроль и самоконтроль занимающихся физическими упражнениями и спортом [Электронный ресурс]: учебно-методическое пособие. Пермь, ПГНИУ, 2021. URL: <https://elis.psu.ru/node/642456?fragment=page-2> (дата обращения: 03.03.2026). EDN: TFCXSS
15. Chaddock R.E. Principles and methods of statistics. Boston, New York [etc.]: Houghton Mifflin. 1925. 471 p.
16. Jones A. et al. Genetic variants of angiotensin II receptors and cardiovascular risk in hypertension // Hypertension. 2003. Vol. 42, № 4. P. 500–506.
17. Kambouris M. et al. Predictive Genomics DNA Profiling for Athletic Performance // Recent Patents on DNA & Gene Sequences, 2012. Vol. 6, № 3. P. 229–239.
18. Nalogowska-Glosnicka K. et al. PIH Study Group. Angiotensin II type 1 receptor gene A1166C polymorphism is associated with the increased risk of pregnancy-induced hypertension // Med. Sci. Monit. 2000. Vol. 6, № 3. P. 523–529.

References

1. Aleksandrov A.A. [High blood pressure in childhood and adolescence (juvenile arterial hypertension)]. *RMŽ*. No. 9 (1997): pp. 559–565. (In Russ.).
2. Aleksandrov A.A., Kislyak O.A., Leont'eva I.V., Rozanov V.B. [Diagnosis, treatment and prevention of arterial hypertension in children and adolescents]. *Kardiovaskuljarnaja terapija i profilaktika*. V. 8, No. 4 (2009): pp. 1–32. (In Russ.).
3. Andriyanova E.Yu. *Sportivnaja medicina* [Sports medicine]. Moscow, Jurajt Publ., 2020. 436 p. (In Russ.). EDN: RBBBUI
4. Baranov V.S. *Genetičeskij passport - osnova individual'noj i prediktivnoj mediciny* [Genetic passport is the basis of individual and predictive medicine]. St-Peterburg, N-L Publ., 2009. 528 p. (In Russ.).
5. Vostrikova A.V., Boronnikova S.V., Zakirov R.M. [Molecular genetic analysis of the *ACTN3* and *AMPD1* genes in judokas of the sports school for sambo and judo “Vityaz” in Perm]. *Bjulleten' nauki i praktiki*. No. 4 (2020): pp. 27–35. (In Russ.). DOI: 10.33619/2414-2948/53/03. EDN: XDBPUZ
6. Golovanova N.E., Astrahenkova I.V., Luk'yanova I.Yu. [Gene polymorphism and professional activity as risk factors for the development of arterial hypertension]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Medicina*. V. 18, iss. 1 (2023): pp. 4–11. (In Russ.). DOI: 10.21638/spbu11.2023.101. EDN: DCATWS
7. Ivanov S.Yu, Livshits N.I. [Accuracy of blood pressure measurement using Korotkov sounds in comparison with the oscillometric method]. *Vestnik aritmologii*. No. 40 (2005): pp. 55–58. (In Russ.). EDN: HSSHYP
8. Kalakutok Z.N. *Polimorfizm genov renin-angiotenzin-al'dosteronovoj sistemy i risk razvitiya essencial'noj gipertenzii u adygov i russkich: avtoref. dis. ... kand. med. nauk.* [Polymorphism of the genes of the renin-angiotensin-aldosterone system and the risk of developing essential hypertension in Adyghe and Russians: Abstract of a PhD thesis]. Maikop, 2002. 24 p. (In Russ.).

9. Nguyen T.Ch., Shkurat T.P. [Study of the association of T174M and M235T of the angiotensinogen gene with coronary heart disease in the Rostov population]. *Epidemiologija*. V. 11 (2010): pp. 114-121. (In Russ.).
10. Pakhomya N.S., Uryas'ev O.M., Shakhanov A.V. [The role of polymorphisms of some genes in the development of arterial hypertension]. *Zemskij vrach*. V. 24 (2014): pp. 21-24. (In Russ.). EDN: TAWVST
11. Pirogova E.A., Ivaschenko L.Ya., Strachko N.P. *Vlijanie fizičeskich upražnenij na rabotosposobnost' i zdorov'e čeloveka* [The impact of physical exercise on human performance and health]. Kiev, Zdorov'e Publ., 1986. 152 p. (In Russ.).
12. Potapov V.E., Logvinov A.K., Zarutskiy S.A. et al. [Features of the distribution of single nucleotide polymorphisms of genes associated with arterial hypertension in patients with chronic kidney disease]. *Smolenskij medicinskij al'manach*. V. 1 (2015): p. 138. (In Russ.). EDN: OTJDHH
13. Khiguchi S., Okhcu H., Suzuki H., Sairai H., Frank G.D., Eguchi S. [Angiotensin II signaling through the AT1 receptor: new insights into mechanisms and pathophysiology]. *Kliničeskaja nauka*, V. 112 (2007): pp. 417-428.
14. Chedov K.V. *Fizičeskaja kul'tura. Vračebnyj kontrol' i samokontrol; zanimajuščichsja fizičeskimi upražnenijami i sportom* [Medical supervision and self-monitoring of those involved in physical exercise and sports]. Perm, PGNIU, 2021. (In Russ.). Available at: <https://elis.psu.ru/node/642456?fragment=page-2> (accessed 03.03.2026). EDN: TFCXSS
15. Chaddock R.E. Principles and methods of statistics. Boston, New York [etc.], Houghton Mifflin, 1925. 471 p.
16. Jones A., Dhamrait S.S., Payne J.R. et al. Genetic variants of angiotensin II receptors and cardiovascular risk in hypertension. *Hypertension*. V. 42, No. 4 (2003): pp. 500-506.
17. Kambouris M., Ntalouka F., Ziogas G., Maffulli N. Predictive Genomics DNA Profiling for Athletic Performance. *Recent Patents on DNA & Gene Sequences*. V. 6, No. 3 (2012): pp. 229-239.
18. Nalogowska-Glosnicka K., Lacka B.I., Zychma M.J. et al. PIH Study Group. Angiotensin II type 1 receptor gene A1166C polymorphism is associated with the increased risk of pregnancy-induced hypertension. *Med. Sci. Monit*. V. 6, No. 3 (2000): pp. 523-529.

Статья поступила в редакцию 25.02.2026; одобрена после рецензирования 31.03.2026; принята к публикации 01.06.2026.

The article was submitted 25.02.2026; approved after reviewing 31.03.2026; accepted for publication 01.06.2026.

Информация об авторе

А. В. Сорокина – старший преподаватель кафедры ботаники и генетики растений.

Information about the author

A. V. Sorokina – senior lecturer, department of botany and plant genetics.