

<https://doi.org/10.47529/2223-2524.2021.2.5>

УДК: 613.292:615.874

Тип статьи: Оригинальное исследование / Original article



Изучение ассоциации полиморфизма генов с риском алиментарно-зависимых заболеваний у спортсменов-единоборцев

Е.Ю. Сорокина, А.В. Погожева*, Д.Б. Никитюк

ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи»
Федерального агентства научных организаций, Москва, Россия

РЕЗЮМЕ

Цель исследования: изучение влияния генетических полиморфизмов: rs9939609 гена FTO, rs4994 гена ADRB3, rs1042713 гена ADRB2, rs2228570 гена VDR и rs1801133 гена MTHFR на антропометрические показатели и показатели липидного обмена у спортсменов, представляющих спортивные единоборства.

Материалы и методы: исследования антропометрических и биохимических показателей, генетических полиморфизмов проводили у 120 спортсменов (101 мужчина и 19 женщин), которые занимаются спортивными единоборствами. Антропометрические исследования проводили путем измерения роста (см), массы тела (кг) с последующим расчетом индекса массы тела (ИМТ, кг/м²). Биохимические маркеры пищевого статуса определяли с использованием анализатора ABX Pentra 400 (HORIBA ABX SAS, Франция) в автоматическом режиме. Генотипирование проводили с применением аллель-специфичной амплификации с использованием TaqMan-зондов, комплементарных полиморфным участкам ДНК и детекцией результатов в режиме реального времени с использованием наборов реактивов компании «Синтол», Россия. Исследования проводили на приборе CFX96 Real Time System (Bio-Rad, США). Статистическую обработку полученных результатов проводили с использованием системы PASW Statistics 20.

Результаты: в результате генотипирования спортсменов единоборцев на риск алиментарно-зависимых заболеваний обнаружено, что частота встречаемости аллеля А полиморфизма rs9939609 гена FTO у них составляет 43,9 %, аллеля С полиморфизма rs4994 гена ADRB3 — 10,9 %, аллеля G полиморфизма rs1042713 гена ADRB2 — 52,6 %, аллеля G полиморфизма rs2228570 гена VDR — 44,9 % и аллеля T rs1801133 гена MTHFR — 36,7 %. Выявлена ассоциация между величиной антропометрических показателей у мужчин-единоборцев и наличием полиморфизмов rs9939609 (FTO), rs1042713 (ADRB2) и rs2228570 (VDR).

Выводы: причиной выявленной дислипидемии у единоборцев могут быть не только обнаруженные нами ранее нарушения структуры их питания, но и наличие определенных генетических полиморфизмов, в частности, rs4994 гена ADRB3 и rs1042713 гена ADRB2.

Ключевые слова: спортивные единоборства, полиморфизм генов, антропометрия, липидный обмен

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Сорокина Е.Ю., Погожева А.В., Никитюк Д.Б. Изучение ассоциации полиморфизма генов с риском алиментарно-зависимых заболеваний у спортсменов-единоборцев. *Спортивная медицина: наука и практика*. 2021;11(2):25–33. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2021.2.5>

Поступила в редакцию: 17.12.2021

Принята к публикации: 23.05.2021

Online first: 25.07.2021

Опубликована: 10.08.2021

* Автор, ответственный за переписку

Study of the association of gene polymorphism with the risk of non-communicable diseases in martial artists

Elena Yu. Sorokina, Alla V. Pogozheva*, Dmitriy B. Nikityuk

Federal Research Centre of Nutrition and Biotechnology, Moscow, Russia

ABSTRACT

Objective: to study the effect of genetic polymorphisms: rs 9939609 (FTO gene), rs4994 (ADRB3 gene), rs1042713 (ADRB2 gene), rs2228570 (VDR gene), rs1801133 (MTHFR gene) on anthropometric and lipid metabolism indicators in athletes representing martial arts.

Materials and methods: studies of anthropometric and biochemical parameters, genetic polymorphisms were carried out in 120 athletes (101 men and 19 women) who are engaged in martial arts. Anthropometric studies were performed by measuring height (cm), body weight (kg), followed by calculating body mass index (BMI, kg / m²). Biochemical nutritional status markers were determined using the ABX Pentra 400 analyzer (HORIBA ABX SAS, France) in an automatic mode. Genotyping was performed using allele-specific amplification using TaqMan probes complementary to

polymorphic DNA regions and real-time detection of the results using reagent kits from Syntol, Russia. Studies were performed on the device CFX96 Real Time System (Bio-Rad, USA). Statistical processing of the results was performed using the PASW Statistics 20 system.

Results: as a result of generic Diovon athletes martial artists on the risk of non-communicable diseases, discovered that the frequency of allele A of rs9939609 polymorphism of the FTO gene they have is 43.9 %, allele polymorphism rs4994 ADRB3 gene — 10.9 %, G allele of rs1042713 ADRB2 gene polymorphism — 52.6 %, G allele of the polymorphism rs2228570 VDR gene with 44.9 % and allele t of rs1801133 in the MTHFR gene to 36.7 %. An association was found between the value of anthropometric indicators in male martial artists and the presence of polymorphisms rs9939609 (FTO), rs1042713 (ADRB2) and rs2228570 (VDR).

Conclusions: the reason for the identified dyslipidemia in martial artists may be not only the previously detected violations of the structure of their nutrition, but also the presence of certain genetic polymorphisms, in particular, rs4994 of the ADRB3 gene and rs1042713 of the ADRB2 gene.

Keywords: martial arts, gene polymorphism, anthropometry, lipid metabolism

Conflict of interests: the authors declare no conflict of interest.

For citation: Sorokina E.Yu., Pogozeva A.V., Nikityuk D.B. Study of the association of gene polymorphism with the risk of non-communicable diseases in martial artists. *Sportivnaya meditsina: nauka i praktika (Sports medicine: research and practice)*. 2021;11(2):25–33. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2021.2.5>

Received: 17 December 2020

Accepted: 23 May 2021

Online first: 25 July 2021

Published: 10 August 2021

* Corresponding author

1. Введение

Физиологические, метаболические и психологические стрессы, связанные с тренировками и соревнованиями, нарушения питания снижают неспецифическую резистентность организма спортсменов и увеличивают риск развития заболеваний, в том числе алиментарно-зависимых (сердечно-сосудистых, ожирения, сахарного диабета 2-го типа и др.). Оптимизация тренировочной нагрузки и рациона питания спортсменов играет важную роль в снижении риска подобной заболеваемости [1–4]. Сложность составления рационов питания для спортсменов связана с их индивидуальными особенностями, связанными в том числе с генетическими факторами [5–8].

Методические подходы нутригеномики и нутригеники в последнее время широко применяются для изучения алиментарно-зависимых заболеваний, что позволяет обеспечить понимание механизма взаимодействия генов и пищевых компонентов в их этиологии и патогенезе. В частности, серьезной медицинской проблемой в современном мире является широкое распространение ожирения, которое связано не только с изменением образа жизни, доступностью высококалорийной пищи, но и с генетической предрасположенностью. Оно является существенным фактором риска для развития сердечно-сосудистых заболеваний, сахарного диабета 2-го типа и др. [9].

К настоящему времени известно множество полиморфизмов, которые ассоциированы с развитием алиментарно-зависимых заболеваний. Наиболее известные из них rs1815739 rs9939609 гена FTO, rs4994 гена ADRB3, rs1042713 гена ADRB2, rs2228570 гена VDR и rs1801133 гена MTHFR.

Полиморфизм rs9939609 гена FTO

Ассоциация однонуклеотидного полиморфизма rs9939609 гена связи с жировой массой и ожирением (международный символ FTO, местоположение 16q12.2)

с ожирением показана в целом ряде работ, выполненных в европейских, азиатских и африканских популяциях.

Полиморфизм rs9939609 гена FTO

Ассоциация полиморфизма rs9939609 гена связи с жировой массой и ожирением (официальный символ — FTO, местоположение: 16q12.2) с нарушением пищевого поведения и риском формирования избыточной массы тела показана в целом ряде работ, в том числе и в российских популяциях. Результаты исследований у детей и подростков европейского происхождения с носительством аллеля А полиморфизма rs9939609 показали потерю контроля за потреблением пищи и предпочтение более высококалорийной пищи по сравнению с носителями генотипа ТТ, что впоследствии было подтверждено при обследовании американских детей из разных этнических групп [10–13].

Полиморфизм rs4994 гена ADRB3

Ген β 3-адренорецептора (официальный символ — ADRB3, местоположение 8p12-p11.2) экспрессируется главным образом в адипоцитах, а также в сосудах, гладких мышцах пищеварительного тракта, желчном пузыре, предстательной железе и скелетных мышцах. Однонуклеотидный полиморфизм в 64-м кодоне этого гена, приводящий к замене триптофана на аргинин в белке β 3-адренорецептора, ассоциирован (rs4994), как показано в целом ряде работ, выполненных в разных этнических популяциях (американцы европейского происхождения, европейцы, японцы, китайцы), с избыточной массой тела и ожирением [11, 14].

Полиморфизм rs1042713 гена β 2-адренорецептора

Ген β 2-адренорецептора (международный код — ADRB2, местоположение 5q31-q32) кодирует β 2-адренорецептор, который является одним из рецепторов суперсемейства G-белков и играет ключевую роль в регуляции центральной нервной системы, сердечно-сосудистой, дыхательной и эндокринной систем.

Активация β 2-адренорецептора вызывает увеличение интенсивности гликогенолиза в мышцах и мобилизации липидов в жировых клетках. Ген ADRB2 экспрессирован в клетках гладкой мускулатуры. Наиболее изученным его полиморфизмом является rs1042713 (A/G), который ассоциирован с риском развития ожирения, гиперлипидемии, гиперлептинемии и инсулинорезистентности [15]. Результаты других исследований показывают, что полиморфизм rs1042713 гена ADRB2 связан с риском эссенциальной гипертонии, причем выраженность данного эффекта возрастает с увеличением индекса массы тела [16].

Полиморфизм rs2228570 гена VDR

Полиморфизм rs2228570 расположен в экзоне 2 стартового кодона гена рецептора витамина D (международный символ VDR, местоположение 12q12-q14). Ассоциация этого полиморфизма с обеспеченностью витамином D, т.е. с уровнем 25(OH)D в сыворотке крови, выявлена в европейских популяциях [17, 18]. В ряде работ показана связь полиморфизма со снижением минеральной плотности костной ткани, что увеличивает риск получения травм в спорте [19].

Полиморфизм rs1801133 гена MTHFR

Результаты популяционных исследований показали, что замена цитозина на тимидин в позиции 677, гена метилентетрагидрофосфатредуктазы, которая, в свою очередь, приводит к замене аминокислоты аланина на валин (позиция 223), ассоциирована с дефицитом фолиевой кислоты. У лиц, гомозиготных по данной мутации (генотип TT), отмечается снижение активности метилентетрагидрофосфатредуктазы до 70 % от среднего значения, что, в свою очередь, приводит к снижению уровня фолиевой кислоты и увеличению содержания гомоцистеина, что определяет риск развития алиментарно-зависимых заболеваний [20, 21].

Целью настоящего исследования явилось изучение у спортсменов-единоборцев ассоциации генетических полиморфизмов rs1815739 rs9939609 гена FTO, rs4994 гена ADRB3, rs1042713 гена ADRB2, rs2228570 гена VDR и rs1801133 гена MTHFR с риском алиментарно-зависимых заболеваний.

2. Материалы и методы

В исследовании принимали участие 120 спортсменов-единоборцев (из них 101 мужчина и 19 женщин) следующих видов спорта: самбо (45 спортсменов), бокс (42 спортсмена), тхэквандо (19 спортсменов), дзюдо (8 спортсменов), сумо (6 спортсменов).

Из всех единоборцев 83 (64 мужчин и 19 женщин, средний возраст $22,4 \pm 0,74$ года) были обследованы на базе Клиники спортивной медицины (филиал № 1) ГАУЗ «Московский научно-практический центр медицинской реабилитации, восстановительной и спортивной медицины» Департамента здравоохранения г. Москвы во время тренировочного периода.

37 спортсменов (мужчин, средний возраст $20,3 \pm 1,4$ года) юношеской сборной России по боксу обследовались во время сборов на тренировочной базе СОБ МГФСО «Чехов».

Антропометрические исследования проводили путем измерения роста (см), массы тела (кг) с последующим расчетом индекса массы тела (ИМТ, $\text{кг}/\text{м}^2$). Состав тела определяли методом биоимпедансометрии с помощью анализатора «Диамант» (Санкт-Петербург, РФ).

Биохимические маркеры пищевого статуса определяли с использованием анализатора ABX Pentra 400 (HORIBA ABX SAS, Франция) в автоматическом режиме.

Генотипирование проводили с применением аллель-специфичной амплификации с использованием TaqMan-зондов, комплементарных полиморфным участкам ДНК, и детекцией результатов в режиме реального времени с использованием наборов реактивов компании «Синтол», Россия. Исследования производили на приборе CFX96 Real Time System (Bio-Rad, США).

Статистическую обработку полученных результатов проводили с использованием системы PASW Statistics 20.

3. Результаты и их обсуждение

Изучение полиморфизма rs9939609 гена FTO показало, что частота встречаемости аллеля А, для которого выявлена ассоциация с избыточной массой тела и ожирением, в группе обследуемых спортсменов составила 43,9 %, что несколько ниже величины этого показателя в европейских популяциях, в том числе и в Российской Федерации (центральные регионы), где она составляет 46–49 % [10, 11]. Разницы между данными показателями у мужчин и женщин выявлено не было (табл. 1).

При изучении полиморфизма rs4994 гена ADRB3 было выявлено, что частота встречаемости аллеля С, для которого установлена связь с избыточной массой тела и ожирением, в группе всех обследуемых спортсменов составила 10,9 %, что согласуется с данными, полученными в европейских популяциях, в том числе и в Российской Федерации, где этот показатель составляет 7–12 % [11]. У женщин мутантный аллель С встречался в 1,6 раза чаще, чем у мужчин.

Как видно из таблицы 1, в обследованной группе спортсменов частота встречаемости аллеля G полиморфизма rs1042713 гена β 2-адренорецептора составляла 52,6 %. Полученные данные несколько выше значений, характерных для русской популяции центральных регионов России, и европейской популяции, где она составляет 38–45 % [16, 22].

Частота встречаемости аллеля G полиморфизма rs2228570 гена VDR (табл. 1) в группе спортсменов, представляющих единоборства, составила 44,9 %, что соответствует этому показателю в европейских популяциях и центральных регионах России, где величина этого показателя составляет 40–50 % [17, 18]. У женщин

Таблица 1

Распределение генотипов и частота аллелей полиморфизма генов у единоборцев

Table 1

Distribution of genotypes and frequency of alleles of gene polymorphism in martial art

Полиморфизм / Polymorphism	Частота генотипов / Distribution of genotypes, %		Частота аллелей / Frequency of alleles, %	
rs9939609 (FTO)	ТТ	АТ+АА	Т	А
Все / All	34,1	65,9	56,1	43,9
Мужчины / Men	34,8	65,2	56,6	43,5
Женщины / Women	33,3	66,7	55,5	44,5
rs4994 (ADRB3)	ТТ	СТ+СС	Т	С
Все / All	78,0	22,0	89,1	10,9
Мужчины / Men	82,6	17,4	91,3	8,7
Женщины / Women	72,2	27,8	86,1	13,9
rs1042713 (ADRB2)	АА	АГ + ГГ	А	Г
Все / All	20,5	79,4	47,4	52,6
Мужчины / Men	21,7	78,3	50,0	50,0
Женщины / Women	18,8	81,2	43,7	56,3
rs2228570 (VDR)	АА	АГ + ГГ	А	Г
Все / All	28,2	71,8	55,1	44,9
Мужчины / Men	39,1	60,9	60,8	39,2
Женщины / Women	12,5	87,5	46,8	53,2
rs1801133 (MTHFR)	СС	СТ + ТТ	А	Г
Мужчины / Men	50,0	50,0	63,3	36,7

частота встречаемости мутантного аллеля G была в 1,4 раза выше, чем у мужчин.

Как видно из той же таблицы, частота встречаемости аллеля T rs1801133 гена MTHFR в наших исследованиях составляла 36,7 %, что соответствует этому показателю в европейских популяциях, в том числе и в центральных регионах Российской Федерации [20, 22].

Анализ результатов антропометрических исследований показал, что мужчины, носители генотипа СТ полиморфизма rs4994 гена ADRB3, по сравнению с генотипом ТТ обладали более высоким ростом, а носители аллеля Т (генотипы СТ+ТТ) полиморфизма rs1801133 гена MTHFR имели более высокий рост, массу тела и ИМТ по сравнению с носителями генотипа СС этих полиморфизмов соответственно (табл. 2).

В то же время нами не было выявлено влияния генетических полиморфизмов rs9939609 (FTO), rs1042713 (ADRB2) и rs2228570 (VDR) на изученные антропометрические показатели спортсменов.

Как видно из таблицы 3, средние значения показателей липидного спектра сыворотки крови у обследованных единоборцев находились в пределах нормальных колебаний.

В то же время наличие мутантного аллеля гена ADRB3 ассоциировалось с достоверно более высоким

содержанием в сыворотке крови холестерина ЛПНП у женщин, занимающихся единоборствами.

У мужчин с наличием аллеля G полиморфизма rs1042713 гена β 2-адренорецептора также отмечался достоверно более высокий уровень холестерина ЛПНП в сыворотке крови (табл. 3). Полученные результаты подтверждают данные других авторов, которые свидетельствуют об ассоциации полиморфизма генов β -адренорецепторов с риском развития гиперлипидемии [15].

Изменение липидного спектра сыворотки крови обследованных единоборцев может быть связано не только с генетическим фактором, но и обнаруженным нами ранее нарушением состава их рациона: избыточное содержание в нем животного жира, холестерина, натрия и добавленного сахара (за счет высокожировых молочных продуктов и кондитерских изделий) на фоне недостаточного потребления пищевых волокон [2, 23].

4. Выводы

В результате проведенных исследований полиморфизмов генов, связанных с выносливостью спортсменов, представляющих спортивные единоборства, обнаружено, что частота встречаемости аллеля А полиморфизма rs9939609 гена FTO у них составляет 43,9 %, аллеля

Таблица 2

Антропометрические показатели единоборцев в зависимости от наличия полиморфизмов генов ($M \pm m$)

Table 2

Anthropometric indicators of martial artists, depending on the presence of gene polymorphisms ($M \pm m$)

Полиморфизм / Polymorphism	Генотипы / Genotypes		p
Рост, см / Height, cm			
rs9939609 (FTO)	ТТ	АТ + АА	
Мужчины / Men	182,0 ± 2,43	179,3 ± 2,54	>0,05
Женщины / Women	169,4 ± 4,50	165,2 ± 2,31	>0,05
Масса тела, кг / Body weight, kg			
Мужчины / Men	83,8 ± 4,7	79,9 ± 5,3	>0,05
Женщины / Women	65,2 ± 6,61	62,2 ± 2,91	>0,05
ИМТ, кг/м ² / BMI, kg / m ²			
Мужчины / Men	25,3 ± 0,69	24,8 ± 3,87	>0,05
Женщины / Women	22,7 ± 1,63	22,8 ± 1,64	>0,05
rs4994 (ADRB3)	ТТ	СТ	
Рост, см / Height, cm			
Мужчины / Men	178,6 ± 1,91	188,0 ± 3,69	<0,05
Женщины / Women	167,4 ± 1,76	163,7 ± 7,11	>0,05
Масса тела, кг / Body weight, kg			
Мужчины / Men	79,5 ± 4,38	89,7 ± 6,22	>0,05
Женщины / Women	65,8 ± 3,04	55,0 ± 4,70	>0,05
ИМТ, кг/м ² / BMI, kg / m ²			
Мужчины / Men	24,9 ± 3,07	25,4 ± 1,93	>0,05
Женщины / Women	23,5 ± 0,68	20,5 ± 1,68	>0,05
rs1042713 (ADRB2)	АА	АГ + ГГ	
Рост, см / Height, cm			
Мужчины / Men	181,4 ± 5,78	179,9 ± 1,85	>0,05
Женщины / Women	167,7 ± 1,20	166,2 ± 1,58	>0,05
Масса тела, кг / Body weight, kg			
Мужчины / Men	85,4 ± 6,16	80,1 ± 4,60	>0,05
Женщины / Women	65,3 ± 4,91	62,6 ± 3,27	>0,05
ИМТ, кг/м ² / BMI, kg / m ²			
Мужчины / Men	25,9 ± 0,87	24,7 ± 3,23	>0,05
Женщины / Women	23,2 ± 1,37	22,7 ± 0,68	>0,05
rs2228570 (VDR)	АА	АГ+ГГ	
Рост, см / Height, cm			
Мужчины / Men	178,8 ± 3,24	181,2 ± 2,27	>0,05
Женщины / Women	160,5 ± 3,60	167,3 ± 2,28	>0,05
Масса тела, кг / Body weight, kg			
Мужчины / Men	79,9 ± 3,37	82,1 ± 5,89	>0,05
Женщины / Women	54,0 ± 6,00	64,4 ± 2,90	>0,05
ИМТ, кг/м ² / BMI, kg / m ²			
Мужчины / Men	25,0 ± 0,68	25,0 ± 3,88	>0,05
Женщины / Women	20,9 ± 1,30	23,0 ± 2,60	>0,05
rs1801133 (MTHFR)	СС	СТ+ТТ	

Полиморфизм / Polymorphism	Генотипы / Genotypes		p
Рост, см / Height, cm			
Мужчины / Men	172,4 ± 2,2	181,4 ± 2,0	<0,01
Масса тела, кг / Body weight, kg			
Мужчины / Men	66,8 ± 3,3	81,1 ± 2,9	<0,01
ИМТ, кг/м ² / BMI, kg / m ²			
Мужчины / Men	22,4 ± 0,65	24,6 ± 0,68	<0,05

Таблица 3

Показатели липидного обмена единоборцев в зависимости от наличия полиморфизмов генов ($M \pm m$)

Table 3

Indicators of lipid metabolism of martial artists, depending on the presence of gene polymorphisms ($M \pm m$)

Полиморфизм / Polymorphism	Генотипы / Genotypes		p
Триглицериды, ммоль/л / Triglycerides, mmol / l			
rs9939609 (FTO)	ТТ	АТ + АА	
Мужчины / Men	0,89 ± 0,16	1,10 ± 0,15	>0,05
Женщины / Women	0,65 ± 0,14	0,67 ± 0,09	>0,05
Холестерин, ммоль/л / Cholesterol, mmol / l			
Мужчины / Men	3,90 ± 0,27	3,80 ± 0,20	>0,05
Женщины / Women	4,08 ± 0,25	4,27 ± 0,22	>0,05
ХС ЛПВП, ммоль/л / HDL cholesterol, mmol / l			
Мужчины / Men	1,18 ± 0,05	1,14 ± 0,06	>0,05
Женщины / Women	1,46 ± 0,10	1,66 ± 0,08	>0,05
ХС ЛПНП, ммоль/л / LDL cholesterol, mmol / l			
Мужчины / Men	1,93 ± 0,16	1,82 ± 0,14	>0,05
Женщины / Women	2,00 ± 0,31	2,02 ± 0,11	>0,05
rs4994 (ADRB3)	ТТ	СТ	
Триглицериды, ммоль/л / Triglycerides, mmol / l			
Мужчины / Men	1,08 ± 1,13	0,77 ± 0,08	>0,05
Женщины / Women	0,75 ± 0,13	0,72 ± 0,17	>0,05
Холестерин, ммоль/л / Cholesterol, mmol / l			
Мужчины / Men	3,95 ± 0,18	3,39 ± 0,31	>0,05
Женщины / Women	4,10 ± 0,16	4,60 ± 0,36	>0,05
ХС ЛПВП, ммоль/л / HDL cholesterol, mmol / l			
Мужчины / Men	1,17 ± 0,05	1,07 ± 0,62	>0,05
Женщины / Women	1,62 ± 0,08	1,50 ± 0,12	>0,05
ХС ЛПНП, ммоль/л / LDL cholesterol, mmol / l			
Мужчины / Men	2,29 ± 0,13	1,97 ± 0,22	>0,05
Женщины / Women	2,14 ± 0,10	2,78 ± 0,12	<0,05
rs1042713 (ADRB2)	АА	АG+GГ	
Триглицериды, ммоль/л / Triglycerides, mmol / l			
Мужчины / Men	1,37 ± 0,46	0,94 ± 0,08	>0,05
Женщины / Women	1,23 ± 0,33	0,62 ± 0,07	>0,05
Холестерин, ммоль/л / Cholesterol, mmol / l			
Мужчины / Men	3,75 ± 0,37	3,89 ± 0,18	>0,05
Женщины / Women	4,54 ± 0,20	4,15 ± 0,18	>0,05

Продолжение таблицы 3

Полиморфизм / Polymorphism	Генотипы / Genotypes		p
ХС ЛПВП, ммоль/л / HDL cholesterol, mmol / l			
Мужчины / Men	1,12 ± 0,11	1,16 ± 0,04	>0,05
Женщины / Women	1,65 ± 0,15	1,58 ± 0,08	>0,05
ХС ЛПНП, ммоль/л / LDL cholesterol, mmol / l			
Мужчины / Men	2,01 ± 0,10	2,31 ± 0,06	<0,05
Женщины / Women	2,33 ± 0,13	2,29 ± 0,12	>0,05
rs2228570 (VDR)	AA	AG + GG	
Триглицериды, ммоль/л / Triglycerides, mmol / l			
Мужчины / Men	1,27 ± 0,24	0,88 ± 0,10	>0,05
Женщины / Women	0,75 ± 0,15	0,65 ± 0,09	>0,05
Холестерин, ммоль/л / Cholesterol, mmol / l			
Мужчины / Men	4,21 ± 0,35	3,65 ± 0,12	>0,05
Женщины / Women	4,45 ± 0,05	4,16 ± 0,18	>0,05
ХС ЛПВП, ммоль/л / HDL cholesterol, mmol / l			
Мужчины / Men	1,10 ± 0,08	1,18 ± 0,05	>0,05
Женщины / Women	1,70 ± 0,10	1,57 ± 0,08	>0,05
ХС ЛПНП, ммоль/л / LDL cholesterol, mmol / l			
Мужчины / Men	2,54 ± 0,24	2,07 ± 0,08	>0,05
Женщины / Women	2,41 ± 0,65	2,30 ± 0,11	>0,05

С полиморфизма rs4994 гена ADRB3 — 10,9 %, аллеля G полиморфизма rs1042713 гена ADRB2 — 52,6 %, аллеля G полиморфизма rs2228570 гена VDR — 44,9 % и аллеля T rs1801133 гена MTHFR — 36,7 %. Полученные данные в целом сопоставимы с результатами других исследований, проведенных в России и Европе.

Ассоциация между величиной антропометрических показателей у спортсменов и наличием некоторых полиморфизмов обнаружена только у мужчин: носители генотипа СТ полиморфизма rs4994 гена ADRB3 по сравнению с генотипом ТТ обладали более высоким ростом, а носители (мужчины) аллеля Т (генотипы СТ + ТТ) полиморфизма rs1801133 гена MTHFR — более высоким

ростом, массой тела и ИМТ по сравнению с носителями генотипа СС этих полиморфизмов. В то же время не было выявлено влияния генетических полиморфизмов rs9939609 (FTO), rs1042713 (ADRB2) и rs2228570 (VDR) на изученные антропометрические показатели спортсменов.

Причиной выявленного дисбаланса атерогенной направленности липидного спектра сыворотки крови у единоборцев могут быть не только обнаруженные нами ранее нарушения структуры их питания, но и наличие определенных генетических полиморфизмов, в частности полиморфизма rs4994 гена ADRB3 и rs1042713 гена ADRB2, что согласуется с данными исследований других авторов.

Вклад авторов:

Сорокина Елена Юрьевна — подготовка текста статьи, сбор и обработка материала, статистическая обработка материала.

Погожева Алла Владимировна — подготовка текста статьи, сбор и обработка материала, статистическая обработка материала.

Никитюк Дмитрий Борисович — концепция и дизайн исследования, редактирование.

Authors' contributions:

Elena Yu. Sorokina — manuscript preparation, collection and processing of the material, statistical processing of the data.

Alla V. Pogozheva — manuscript preparation, collection and processing of the material, statistical processing of the data.

Dmitriy B. Nikityuk — study design and concept, editing.

Список литературы

1. Тутельян В.А., Никитюк Д.Б., Погожева А.В. Спортивное питание: от теории к практике. М.: ТД ДеЛи; 2020. 256 с.
2. Никитюк Д.Б., Погожева А.В., Кешабянц Э.Э. Оценка фактического питания и пищевого статуса спортсменов-единоборцев. Спортивная медицина: наука и практика. 2018;8(2):47–53. <https://doi.org/10.17238/ISSN2223-2524.2018.2.4>
3. Burke L.M., Castell L.M., Casa D.J., Close G.L., Costa R.J.S., Desbrow B., et al. International Association of Athletics Federations Consensus Statement 2019: Nutrition for

References

1. Tutelyan V.A., Nikityuk D.B., Pogozheva A.V. Sports nutrition: from theory to practice. Moscow: TD DeLi Publ; 2020. 256 p. (In Russ.).
2. Nikityuk D.B., Pogozheva A.V., Casablanc E.E. Assessment of dietary intake and nutritional status of combat athletes. Sportivnaya meditsina: nauka i praktika = Sports medicine: science and practice. 2018;8(2):47–53. <https://doi.org/10.17238/ISSN2223-2524.2018.2.4> (In Russ.).
3. Burke L.M., Castell L.M., Casa D.J., Close G.L., Costa R.J.S., Desbrow B., et al. International Association of Ath-

Athletics. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 2019;29(2):73–84. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.2019-0065>

4. **Castell L.M., Nieman D.C., Bermon S., Peeling P.** Exercise-induced illness and inflammation: Can immunonutrition and iron help? *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 2019;29(2):181–188. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.2018-0288>

5. **Peeling P., Binnie M.J., Goods P.S.R., Sim M., Burke L.M.** Evidence-Based Supplements for the Enhancement of Athletic Performance. *J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 2018;8(2):178–187. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.2017-0343>

6. **Montero D., Lundby C.** Refuting the myth of non-response to exercise training: Non-responders do respond to higher dose of training. *J. Physiol.* 2017;595(11):3377–3387. <https://doi.org/10.1113/JP273480>

7. **Stapley P.J., McAndrew D.J., Walsh J.A., Kellis, E., Mickel C., Paoli A.** The “Journal of functional morphology and kinesiology” Journal club series: Highlights on recent papers in strength and conditioning. *J. Funct. Morphol. Kinesiol.* 2017;2(4):36. <https://doi.org/10.3390/jfmk2040036>

8. **Willems M., Parktin N., Widjaja W., Ajijaporn A.** Effect of new zealand blackcurrant extract on physiological responses at rest and during brisk walking in southeast asian men: A randomized, double-blind, placebo-controlled, crossover study. *Nutrients.* 2018;10(11):1732. <https://doi.org/10.3390/nu10111732>

9. **Тутельян В.А., Никитюк Д.Б., ред.** Нутрициология и клиническая диетология: национальное руководство. Москва: ГЭОТАР-Медиа; 2020. 632 с.

10. **Yang Q, Xiao T., Guo J., Su Z.** Complex Relationship between Obesity and the Fat Mass and Obesity Locus. *Int. J. Biol. Sci.* 2017;13(5):615–629. <https://doi.org/10.7150/ijbs.17051>

11. **Батурин А.К., Сорокина Е.Ю., Погожева А.В., Пескова Е.В., Макурина О.Н., Тутельян В.А.** Изучение сочетанного влияния генетических полиморфизмов rs9939609 гена FTO и rs4994 гена ADRD3 на риск развития ожирения. *Вопросы питания.* 2016;(4):29–35.

12. **Батурин А.К., Сорокина Е.Ю., Погожева А.В., Кешабынц Э.Э., Кобелькова И.В., Камбаров А.О., и др.** Изучение ассоциации полиморфизмов rs993609 гена FTO и rs659366 гена UCP2 с ожирением у населения Арктической зоны Российской Федерации. *Вопросы питания.* 2017;86(3):32–39. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2017-00042>

13. **Zdrojowy-Wełna A., Bednarek-Tupikowska G., Zatońska K., Kolačkov K., JokieliRokita A., Bolanowski M.** The association between FTO gene polymorphism rs9939609 and obesity is sex-specific in the population of PURE study in Poland. *Adv. Clin. Exp. Med.* 2020;29(1):25–32. <https://doi.org/10.17219/acem/111811>

14. **Xie C., Hua W., Zhao Y., Rui J., Feng J., Chen Y., et al.** The ADRB3 rs4994 polymorphism increases risk of childhood and adolescent overweight/obesity for East Asia’s population: an evidence-based meta-analysis. *Adipocyte.* 2020;9(1):77–86. <https://doi.org/10.1080/21623945.2020.1722549>

15. **Daghestani M.H., Warsy A., Daghestani M.H., Al-Odaib A.N., Eldali A., Al-Eisa N.A., et al.** Arginine 16 glycine polymorphism in β 2-adrenergic receptor gene is associated with obesity, hyperlipidemia, hyperleptinemia, and insulin resistance in Saudis. *Int. J. Endocrinol.* 2012;2012:945608. <https://doi.org/10.1155/2012/945608>

16. **Тимашева Я.Р., Насибуллин Т.Р., Имаева Э.Б., Мирсаева Г.Х., Мустафина О.Е.** Полиморфизм генов бета-адренорецепторов и риск эссенциальной гипертензии. *Артериальная гипертензия.* 2015;21(3):259–266. <https://doi.org/10.18705/1607-419X-2015-21-3-259-266>

letics Federations Consensus Statement 2019: Nutrition for Athletics. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 2019;29(2):73–84. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.2019-0065>

4. **Castell L.M., Nieman D.C., Bermon S., Peeling P.** Exercise-induced illness and inflammation: Can immunonutrition and iron help? *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 2019;29(2):181–188. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.2018-0288>

5. **Peeling P., Binnie M.J., Goods P.S.R., Sim M., Burke L.M.** Evidence-Based Supplements for the Enhancement of Athletic Performance. *J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 2018; 8(2):178–187. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.2017-0343>

6. **Montero D., Lundby C.** Refuting the myth of non-response to exercise training: Non-responders do respond to higher dose of training. *J. Physiol.* 2017;595(11):3377–3387. <https://doi.org/10.1113/JP273480>

7. **Stapley P.J., McAndrew D.J., Walsh J.A., Kellis, E., Mickel C., Paoli A.** The “Journal of functional morphology and kinesiology” Journal club series: Highlights on recent papers in strength and conditioning. *J. Funct. Morphol. Kinesiol.* 2017; 2(4):36. <https://doi.org/10.3390/jfmk2040036>

8. **Willems M., Parktin N., Widjaja W., Ajijaporn A.** Effect of new zealand blackcurrant extract on physiological responses at rest and during brisk walking in southeast asian men: A randomized, double-blind, placebo-controlled, crossover study. *Nutrients.* 2018;10(11):1732. <https://doi.org/10.3390/nu10111732>

9. **Tutelyan V.A., Nikityuk D.B., editors.** The nutrition science and clinical nutrition: national guide. Moscow: GEOTAR-Media; 2020. 632 p. (In Russ.).

10. **Yang Q, Xiao T., Guo J., Su Z.** Complex Relationship between Obesity and the Fat Mass and Obesity Locus. *Int. J. Biol. Sci.* 2017;13(5):615–629. <https://doi.org/10.7150/ijbs.17051>

11. **Baturin A.K., Sorokina E.Yu., Pogozheva A.V., E. Peskova V., Makurina O.N., Tutelyan V.A.** Study of the combined effect of genetic polymorphisms rs9939609 of the FTO gene and rs4994 of the ADRD3 gene on the risk of obesity. *Voprosy pitaniia = Problems of Nutrition.* 2016;85(4):29–35. (In Russ.).

12. **Baturin A.K., Sorokina E.I., Pogozheva A.V., Keshabyants E.E., Kobelkova I.V., Kambarov A.O., et al.** The association of polymorphisms of the rs993609 fto gene and rs659366 UCP2 gene with obesity in the population of the Arctic zone of the Russian Federation. *Voprosy pitaniia = Problems of Nutrition.* 2017;86(3):32–39. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2017-00042>. (In Russ.).

13. **Zdrojowy-Wełna A., Bednarek-Tupikowska G., Zatońska K., Kolačkov K., JokieliRokita A., Bolanowski M.** The association between FTO gene polymorphism rs9939609 and obesity is sex-specific in the population of PURE study in Poland. *Adv. Clin. Exp. Med.* 2020;29(1):25–32. <https://doi.org/10.17219/acem/111811>

14. **Xie C., Hua W., Zhao Y., Rui J., Feng J., Chen Y., et al.** The ADRB3 rs4994 polymorphism increases risk of childhood and adolescent overweight/obesity for East Asia’s population: an evidence-based meta-analysis. *Adipocyte.* 2020;9(1):77–86. <https://doi.org/10.1080/21623945.2020.1722549>

15. **Daghestani M.H., Warsy A., Daghestani M.H., Al-Odaib A.N., Eldali A., Al-Eisa N.A., et al.** Arginine 16 glycine polymorphism in β 2-adrenergic receptor gene is associated with obesity, hyperlipidemia, hyperleptinemia, and insulin resistance in Saudis. *Int. J. Endocrinol.* 2012;2012:945608. <https://doi.org/10.1155/2012/945608>

16. **Timasheva Ya.R., Nasibullin T.R., Имаева Э.Б., Mirsayeva G.H., Mustafina O E.** Polymorphism of beta-adrenergic receptor genes and the risk of essential hypertension. *Arterial'naya Gipertenziya = Arterial Hypertension.* 2015;21(3):259–266. <https://doi.org/10.18705/1607-419X-2015-21-3-259-266> (In Russ.).

17. Козлов А.И., Вершубская Г.Г., Негашева М.А. Полиморфизм гена рецептора витамина D (VDR) в выборках населения Европейской России и Приуралья. Перм. мед. журн. 2016;XXXIII(5):60–66.

18. Погожева А.В., Сорокина Е.Ю., Сокольников А.А. Ассоциации ожирения с обеспеченностью витамином D в зависимости от полиморфизмов rs2228570 гена VDR и rs9939609 гена FTO у жителей средней полосы и Крайнего Севера. Альманах клинической медицины. 2019;47(2):112–119. <https://doi.org/10.18786/2072-0505-2019-47-015>

19. Jiang L., Chao Zhang C., Zhang Yu, Ma F., Yi Guan Yi. Associations between polymorphisms in VDR gene and the risk of osteoporosis: a meta-analysis. Arch. Physiol. Biochem. 2020 Aug 6:1–8. <https://doi.org/10.1080/13813455.2020.1787457>

20. Сорокина Е.Ю., Погожева А.В., Аристархова Т.В., Батурин А.К., Тутельян В.А. Оценка обеспеченности фолиевой кислотой населения Москвы в зависимости от сочетанного влияния полиморфизма генов MTHFR и FTO. Вопросы питания. 2018;87(2):17–23. https://doi.org/10.24411/0042-8833-2018-10014_459

21. Meng Y., Xiaoling Liu, Kai Ma, Lili Zhang, Mao Lu, Minsu Zhao, et al. Association of MTHFR C677T polymorphism and type 2 diabetes mellitus (T2DM) susceptibility. Mol. Genet. Genomic Med. 2019;7(12):e1020. <https://doi.org/10.1002/mgg3.1020>

22. National Center. For Biotechnology Information [Internet]. Available at: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/snp/rs1042713#frequency_tab

23. Сорокина Е.Ю., Денисова Н.Н., Кешабянц Э.Э. Особенности питания спортсменов юношеского спорта в зависимости от полиморфизма генов. В: Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием по спортивной науке: «Подготовка спортивного резерва». М.: ГКУ «ЦСТиСК» Москомспорта; 2020, с. 450–459.

17. Kozlov A.I., Vershubskaya G.G., Negasheva M.A. Polymorphism of the vitamin D receptor gene (VDR) in samples of the population of European Russia and the Urals. Permskii meditsinskii zhurnal = Perm Medical Journal. 2016;XXXIII(5):60–66. (In Russ.).

18. Pogozeva A.V., Sorokina E.Yu., Sokolnikov A.A. Associations of obesity with vitamin D availability depending on polymorphisms rs2228570 of the VDR gene and rs9939609 of the FTO gene in residents of the Middle zone and the Far North. Almanakh klinicheskoi meditsiny = Almanac of Clinical Medicine. 2019;47(2):112–119. <https://doi.org/10.18786/2072-0505-2019-47-015>. (In Russ.).

19. Jiang L., Chao Zhang C., Zhang Yu, Ma F., Yi Guan Yi. Associations between polymorphisms in VDR gene and the risk of osteoporosis: a meta-analysis. Arch. Physiol. Biochem. 2020 Aug 6:1–8. <https://doi.org/10.1080/13813455.2020.1787457>

20. Sorokina E.Yu., Pogozeva A.V., Aristarkhova T.V., Baturin A.K., Tutelyan V.A. Assessment of folic acid availability in the Moscow population depending on the combined effect of MTHFR and FTO gene polymorphism. Voprosy pitaniia = Problems of Nutrition. 2018;87(2):17–23. https://doi.org/10.24411/0042-8833-2018-10014_459. (In Russ.).

21. Meng Y., Xiaoling Liu, Kai Ma, Lili Zhang, Mao Lu, Minsu Zhao, et al. Association of MTHFR C677T polymorphism and type 2 diabetes mellitus (T2DM) susceptibility. Mol. Genet. Genomic Med. 2019;7(12):e1020. <https://doi.org/10.1002/mgg3.1020>

22. National Center. For Biotechnology Information [Internet]. Available at: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/snp/rs1042713#frequency_tab

23. Sorokina E.Yu., Denisova N.N., Keshabyants E.E. Nutrition features of youth sports athletes depending on gene polymorphism. In: Materials of the IV All-Russian scientific and practical Conference with international participation in sports science: “Preparation of the sports reserve”. Moscow: State Treasury Institution of the City of Moscow “Center for Sports Innovative Technologies and Training of National Teams” of the Moscow Department of Sports; 2020, pp. 450–459. (In Russ.).

Информация об авторах:

Сорокина Елена Юрьевна, к.м.н., ведущий научный сотрудник лаборатории эпидемиологии питания и генодиагностики алиментарно-зависимых заболеваний ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи» Федерального агентства научных организаций, 109240, Россия, Москва, Устьинский проезд, 2/14. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6530-6233>

Погожева Алла Владимировна*, д.м.н., ведущий научный сотрудник лаборатории эпидемиологии питания и генодиагностики алиментарно-зависимых заболеваний ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи» Федерального агентства научных организаций, 109240, Россия, Москва, Устьинский проезд, 2/14. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4619-291X> (+7 (916) 884-23-15; allapogozheva@yandex.ru)

Никитюк Дмитрий Борисович, д.м.н., чл.-корр. РАН, профессор, директор ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи» Федерального агентства научных организаций, 109240, Россия, Москва, Устьинский проезд, 2/14. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4968-4517>

Information about the authors:

Elena Yu. Sorokina, M.D., Ph.D. (Medicine), Leading researcher of the Laboratory of Epidemiology of Nutrition and Genodiagnosics of Alimentary-dependent Diseases of the Federal Researcher Centre of Nutrition and Biotechnology, 2/14, Ustinski travel, Moscow, 109240, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6530-6233>

Alla V. Pogozeva*, M.D., D.Sc. (Medicine), Professor, Leading Researcher of the Laboratory of Epidemiology of Nutrition and Genodiagnosics of Alimentary-Dependent Diseases of the Federal Research Centre of Nutrition and Biotechnology, 2/14, Ustinski travel, Moscow, 109240, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4619-291X> (+7 (916) 884-23-15; allapogozheva@yandex.ru)

Dmitriy B. Nikityuk, M.D., D.Sc. (Medicine), Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Director of the Federal Research Centre of Nutrition and Biotechnology, 2/14, Ustinski travel, Moscow, 109240, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4968-4517>

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author