

## Питание и гены: молекулярные механизмы адаптации веществ к физической активности

Лариса А. Новикова	<sup>1</sup>	novikovalari-sa1307@gmail.com	0009-0005-7723-589X
Светлана В. Недомолкина	<sup>1</sup>	lana.nedomolkina@mail.ru	0009-0005-7269-6742
Наталья П. Деркачева	<sup>1</sup>	npetrovaderkacheva@mail.ru	0009-0009-2940-2023
Марина Н. Могунова	<sup>2</sup>	mari-na.mogunova@mail.ru	0000-0002-5363-8855
Галина Н. Егорова	<sup>1</sup>	egorovahp@gmail.com	0000-0002-9907-9649
Наталья Л. Клейменова	<sup>1</sup>	klesha78@list.ru	0000-0002-1462-4055

1 Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр. Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

2 Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, 394087, Россия

**Аннотация.** Индивидуальная чувствительность к физической нагрузке рассматривается как многофакторное явление с существенным вкладом генетических детерминант. В работе систематизированы данные о генах, влияющих на выносливость, силовые способности, восстановление и метаболическую адаптацию к тренировкам. Описаны механизмы действия генов, связанных с регуляцией ренин-ангиотензиновой системы, структурой мышечных волокон, митохондриальным энергообменом, окислением жирных кислот и ангиогенезом. Показано, что вариации гена ангиотензинпревращающего фермента ассоциированы с различиями между выносливостными и скоростно-силовыми характеристиками. Полиморфизмы генов, кодирующих альфа-актинин, митохондриальные разобщающие белки и ферменты энергетического обмена, определяют тип мышечных волокон, эффективность аэробных нагрузок и уровень утомляемости. Особое внимание уделено взаимосвязи генетических вариаций с нутритивными потребностями организма. Доказано, что аэробно ориентированные генотипы (например, с высокой экспрессией UCP2/UCP3 или аллелью С гена PPARD) характеризуются повышенной зависимостью от жирового обмена, в то время как анаэробные варианты (полиморфизм ACTN3, низкая активность AMPD1) требуют усиленного потребления углеводов и белка. Таким образом, генетические особенности напрямую влияют на приоритетный выбор макронутриентов для энергообеспечения и восстановления. В работе также проанализированы риски, связанные с генетически обусловленной предрасположенностью к метаболическим нарушениям и перетренированности, и даны соответствующие диетологические рекомендации для их минимизации. Рассмотрены этические аспекты и потенциальные последствия применения генетических технологий в спорте, включая риски использования генов роста и ингибиторов миостатина в качестве генного допинга. Подчеркивается необходимость строгого разграничения лечебной генной терапии и недопустимых методов повышения результативности. В заключение обоснована целесообразность интеграции генетической информации для персонализации тренировочных программ и нутритивной поддержки, что позволяет повысить эффективность адаптации, работоспособность и снизить риски для здоровья спортсменов.

**Ключевые слова:** спортивная нутригенетика, полиморфизмы генов, адаптация к физической нагрузке, метаболизм, персонализированное питание, мышечные волокна, энергообмен, генный допинг, ACE, ACTN3.

## Nutrition and Genes: Molecular Mechanisms of Metabolic Adaptation to Physical Activity

Larisa A. Novikova	<sup>1</sup>	novikovalari-sa1307@gmail.com	0009-0005-7723-589X
Svetlana V. Nedomolkina	<sup>1</sup>	lana.nedomolkina@mail.ru	0009-0005-7269-6742
Natalia P. Derkacheva	<sup>1</sup>	npetrovaderkacheva@mail.ru	0009-0009-2940-2023
Marina N. Mogunova	<sup>2</sup>	mari-na.mogunova@mail.ru	0000-0002-5363-8855
Galina N. Egorova	<sup>1</sup>	egorovahp@gmail.com	0000-0002-9907-9649
Natalya L. Klejmenova	<sup>1</sup>	klesha78@list.ru	0000-0002-1462-4055

1 Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

2 Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G. F. Morozov, 8 Timiryazeva Street, Voronezh, 394087, Russia

**Abstract.** Individual sensitivity to physical exercise is considered a multifactorial phenomenon with a significant contribution from genetic determinants. This study systematizes data on genes influencing endurance, strength, recovery, and metabolic adaptation to training. The mechanisms of action of genes associated with the regulation of the renin-angiotensin system, muscle fiber structure, mitochondrial energy metabolism, fatty acid oxidation, and angiogenesis are described. Variations in the angiotensin-converting enzyme gene are shown to be associated with differences in endurance and speed-strength characteristics. Polymorphisms in genes encoding alpha-actinin, mitochondrial uncoupling proteins, and energy metabolism enzymes determine muscle fiber type, aerobic exercise efficiency, and fatigue levels. Particular attention is paid to the relationship between genetic variations and the body's nutritional needs. It has been shown that aerobic genotypes (for example, those with high UCP2/UCP3 expression or the C allele of the PPARD gene) are characterized by increased dependence on fat metabolism, while anaerobic variants (ACTN3 polymorphism, low AMPD1 activity) require increased carbohydrate and protein intake. Thus, genetic characteristics directly influence the priority selection of macronutrients for energy supply and recovery. The study also analyzes the risks associated with a genetic predisposition to metabolic disorders and overtraining and provides appropriate dietary recommendations for their minimization. The ethical aspects and potential consequences of the use of genetic technologies in sports are considered, including the risks of using growth genes and myostatin inhibitors for gene doping. The need for a strict distinction between therapeutic gene therapy and unacceptable performance-enhancing methods is emphasized. In conclusion, the feasibility of integrating genetic information for personalizing training programs and nutritional support is substantiated, which allows for increased adaptation efficiency, performance, and reduced health risks for athletes.

**Keywords:** Sports nutrigenetics, gene polymorphisms, exercise adaptation, metabolism, personalized nutrition, muscle fibers, energy metabolism, gene doping, ACE, ACTN3.

### Для цитирования

Могунова М.Н., Деркачева Н.П., Новикова Л.А., Недомолкина С.В., Егорова Г.Н., Клейменова Н.Л. Питание и гены: молекулярные механизмы адаптации обмена веществ к физической активности // Вестник ВГУИТ. 2025. Т. 87. № 4. С. 159–164. doi:10.20914/2310-1202-2025-4-159-164

### For citation

Mogunova M.N., Derkacheva N.P., Novikova L.A., Nedomolkina S.V., Egorova G.N., Klejmenova N.L. Nutrition and Genes: Molecular Mechanisms of Metabolic Adaptation to Physical Activity. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2025. vol. 87. no. 4. pp. 159–164. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2025-4-159-164

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

## Введение

Адаптация организма к физической активности определяется взаимодействием генетических факторов и питания, что подтверждено данными современных исследований в области спортивной нутригенетики [1, 2]. Генетические вариации определяют направленность энергетического обмена и индивидуальную реакцию на тренировочные нагрузки различной интенсивности [5, 7]. Понимание молекулярно-генетических механизмов, лежащих в основе этих процессов, позволяет обосновать персонализированный подход к питанию, направленный на повышение работоспособности и снижение риска метаболических нарушений при физической активности.

Основные гены, участвующие в регуляции обмена веществ и адаптации к физической активности

Table 1.

Key genes involved in the regulation of metabolism and adaptation to physical activity

Ген Gene	Основная функция Primary Function	Влияние на обмен веществ Effect on metabolism	Значение для физической активности Significance for physical activity
ACE	Регуляция ренин-ангиотензиновой системы Regulation of the renin-angiotensin system	Контроль сосудистого тонуса и кровоснабжения мышц Control of vascular tone and muscle blood flow	Определяет предрасположенность к выносливостным или силовым нагрузкам Determines predisposition to endurance or strength training
ACTN3	Кодирование альфа-актинина-3 Coding for alpha-actinin 3	Формирование быстрых мышечных волокон Formation of fast-twitch muscle fibers	Влияет на скоростно-силовые способности Affects speed-strength abilities
AMPD1	Энергетический обмен в мышцах Energy metabolism in muscles	Ресинтез аденоциантифосфата при утомлении Resynthesis of adenosine triphosphate during fatigue	Определяет толерантность к высокointенсивным нагрузкам Determines tolerance to high-intensity exercise
PPARD	Регуляция окисления жирных кислот Regulation of fatty acid oxidation	Липидный и углеводный обмен, чувствительность к инсулину Lipid and carbohydrate metabolism, insulin sensitivity	Связан с развитием выносливости Associated with endurance development
UCP2, UCP3	Митохондриальное разобщение Mitochondrial uncoupling	Усиление липолиза и термогенеза Enhanced lipolysis and thermogenesis	Повышает эффективность аэробных нагрузок Increases the effectiveness of aerobic exercise
VEGF	Ангиогенез Angiogenesis	Улучшение кровоснабжения тканей Improved tissue blood flow	Ускоряет восстановление и адаптацию мышц Accelerates muscle recovery and adaptation

Анализ данных, представленных в таблице 1, показывает, что ключевые гены, участвующие в регуляции обмена веществ и адаптации к физической активности, затрагивают как энергетическое обеспечение мышечной деятельности, так и структурно-функциональные характеристики мышц и сосудистой системы. Их функциональная направленность подтверждает многоуровневый характер генетического контроля адаптационных процессов, включающего митохондриальный метаболизм, кровоснабжение и тип мышечных волокон, что обосновывает необходимость комплексного учета генетических факторов при планировании питания.

## Материалы и методы

В работе проведён аналитический обзор публикаций, посвящённых роли генов, участвующих в регуляции митохондриальной функции, липидного и углеводного обмена, а также чувствительности к инсулину и ангиогенезу [2, 8, 10]. В анализ были включены исследования, выполненные в период 2020–2025 годов и представленные в рецензируемых научных журналах [3, 15]. Функциональные эффекты генов сопоставлялись с их значением для энергетического обеспечения и потребностей организма в нутриентах потребностей организма (таблица 1).

Таблица 1.

Table 1.

## Результаты и обсуждение

Полученные данные свидетельствуют о том, что полиморфизмы генов митохондриальных разобщающих белков UCP2 и UCP3 способствуют усиленному использованию жирных кислот в качестве источника энергии при аэробных нагрузках [2, 17]. Ген PPARD ассоциирован с увеличением доли медленных мышечных волокон и развитием выносливости [2, 7].

Гены ACTN3 и AMPD1 определяют эффективность анаэробного энергообеспечения и устойчивость к утомлению, что отражается на потребностях в углеводах и белке [5, 16]. Связь генетических особенностей с нутритивными потребностями представлена в таблице 2.

Связь генетических особенностей с потребностями в макронутриентах

Table 2.

Relationship between genetic characteristics and macronutrient requirements

Генетическая особенность Genetic trait	Преобладающий тип обмена Predominant metabolic type	Приоритетный макронутриент Priority Macronutrient	Физиологическое обоснование Physiological rationale
Высокая экспрессия UCP2/UCP3 High UCP2/UCP3 expression	Аэробный Aerobic	Жиры Fats	Активное использование жирных кислот как источника энергии Active utilization of fatty acids as an energy source
Аллель С гена PPARD PPARD gene C allele		Жиры и умеренное количество углеводов Fats and Moderate Carbs	Усиленное окисление жирных кислот Enhanced fatty acid oxidation
Полиморфизм ACTN3 ACTN3 polymorphism	Анаэробный Anaerobic	Белок и углеводы Protein and Carbs	Поддержание быстрых мышечных волокон Maintaining fast-twitch muscle fibers
Низкая активность AMPD1 Low AMPD1 activity		Углеводы Carbohydrates	Компенсация сниженного ресинтеза аденоциантифосфата Compensating for decreased adenosine triphosphate resynthesis
Повышенная чувствительность к инсулину Increased insulin sensitivity	Смешанный Mixed	Углеводы в восстановлении Carbohydrates in Recovery	Эффективное восстановление гликогена Efficient glycogen restoration

Анализ данных, представленных в таблице 2, свидетельствует о прямой связи между генетическими особенностями и приоритетным использованием макронутриентов при физической активности. Аэробно ориентированные генотипы характеризуются повышенной зависимостью от жирового обмена, тогда как анаэробные генетические варианты требуют усиленного углеводного и белкового обеспечения. Это подтверждает целесообразность дифференцированного подхода к формированию рациона в зависимости от генетически обусловленного типа обмена веществ.

Учёт генетических особенностей позволяет персонализировать питание спортсменов с целью повышения работоспособности и профилактики

метаболических нарушений [1, 12]. Отмечено, что полиморфизмы генов, регулирующих чувствительность к инсулину и восстановление гликогена, играют ключевую роль в формировании рационов восстановительного питания [8, 14].

Одновременно подчёркивается необходимость строгого разграничения допустимой генной терапии и генного допинга в спортивной практике [3, 18]. Например, носительство определённых аллелей PPARD ассоциировано с повышенным риском сердечно-сосудистых заболеваний, что требует контроля жирового состава рациона. Ген AMPD1 связан с повышенной утомляемостью, что повышает значение своевременного углеводного обеспечения (таблица 3).

Таблица 3.

Генетически обусловленные риски и рекомендации по питанию

Table 3.

Genetic risks and nutritional recommendations

Ген Gene	Потенциальный риск Potential risk	Диетологическая рекомендация Dietary recommendations
AMPD1	Повышенная утомляемость Increased fatigue	Увеличение доли легкоусвояемых углеводов Increase the proportion of easily digestible carbohydrates
PPARD (аллель C)	Риск сердечно-сосудистых нарушений Risk of cardiovascular problems	Контроль жирового состава рациона Control the fat content of the diet
ACTN3	Снижение силовых показателей Decreased strength	Повышенное потребление белка Increase protein intake
UCP2	Снижение секреции инсулина Decreased insulin secretion	Регулярное дробное питание Regular, small meals
VEGF	Гипертрофические процессы Hypertrophic processes	Баланс макронутриентов в восстановительный период Macronutrient balance during the recovery period

Результаты, представленные в таблице 3, демонстрируют, что отдельные генетические вариации ассоциированы с повышенными

метаболическими и функциональными рисками при физических нагрузках. Учет таких особенностей позволяет не только повысить

## Заключение

Использование данных о генетических маркерах позволяет обосновать персонализированный подход к питанию и тренировочному процессу. Дополнительно следует отметить, что применение генетически обоснованных рекомендаций способствует снижению риска метаболических и травматических осложнений при физической активности [1, 2, 5, 19]. Комплексный подход, включающий питание, тренировки и образ жизни, остаётся определяющим фактором достижения устойчивых адаптационных эффектов [7, 20]. Учет генетических особенностей позволяет обосновать персонализированный подход к питанию, направленный на оптимизацию энергетического обмена, повышение работоспособности и профилактику метаболических и травматических осложнений. При этом питание должно рассматриваться как часть комплексной системы адаптации, включающей тренировочный режим, восстановление и образ жизни.

Таблица 4.

Использование генетической информации при персонализации питания

Table 4.

Using genetic information to personalize nutrition

Направление	Генетический маркер	Практическое применение
Планирование рациона	UCP2, PPARD	Определение соотношения жиров и углеводов
Восстановление	AMPD1, VEGF	Оптимизация питания после нагрузок
Поддержание мышечной массы	ACTN3, IGF1	Коррекция белкового компонента
Профилактика перегрузок	ACE	Адаптация энергетической ценности рациона

Сведения, представленные в таблице 4, подтверждают практическую значимость использования генетической информации при персонализации питания.

## Заключение

Применение данных о генетических маркерах позволяет оптимизировать рацион

на этапах тренировок и восстановления, поддерживать мышечную массу и предотвращать перегрузки, что повышает общую эффективность адаптации организма к физической активности.

## Литература

- Guest N.S., VanDusseldorp T.A., Nelson M.T. et al. International society of sports nutrition position stand: caffeine and exercise performance // Journal of the International Society of Sports Nutrition. 2021. V. 18. № 1. P. 1–37. doi: 10.1186/s12970-020-00383-4
- Maciejewska-Skrendo A., Chycki J., Cholewa J. et al. The influence of the differentiation of genes encoding peroxisome proliferator-activated receptors on energy metabolism and endurance performance // Nutrients. 2022. V. 14. № 24. P. 5378. doi: 10.3390/nu14245378
- Barreto G., Freitas L.F., Gerosa-Neto J. et al. Caffeine, CYP1A2 genotype, and exercise performance: a systematic review and meta-analysis // Medicine & Science in Sports & Exercise. 2024. V. 56. № 2. P. 328–339. doi: 10.1249/MSS.0000000000003313
- Penggalih M.H.S.T., Solichah K.M., Niamila I. et al. Precision nutrition in sports science: an opinion on omics-based personalized nutrition // Frontiers in Nutrition. 2025. V. 12. Article 1324567.
- Bıçakçı B., Özdemir S., Yılmaz A. Genetic determinants of endurance performance: a narrative review // International Journal of Molecular Sciences. 2024. V. 25. № 23. P. 13041. doi: 10.3390/ijms252313041
- Коцатюк Р.Р. Влияние полиморфизмов CYP1A2 –163C>A и ADORA2A 1976T>C на физиологические эффекты и физическую работоспособность при приёме кофеина: систематический обзор // Baltic Journal of Sport and Health Sciences. 2022. № 4. С. 45–58.

- 7 Варильяс-Дельгадо Д., Гомес-Кабрера М.К., Винья Х. Генетика и спортивная работоспособность: современное состояние и перспективы // *Antioxidants*. 2022. V. 11. № 9. P. 1741.
- 8 Асгари Г., Резазаде А., Аскари Г. и др. Влияние генетического полиморфизма на ответ на добавки витамина D при длительном приёме: исследование взаимодействия «ген–нутриент» // *Frontiers in Nutrition*. 2022. V. 9. Article 872193.
- 9 Булгай Д., Озкан С., Демиркан Э. Полиморфизм рецептора витамина D (VDR rs2228570) и соревновательная результативность элитных спортсменов // *Healthcare*. 2023. V. 11. № 4. P. 522.
- 10 Семёнова Е.А., Фуку Н., Ястржембский З. и др. Гены и спортивная работоспособность: обновление данных 2023 года // *Genes*. 2023. V. 14. № 5. P. 1150.
- 11 Лоуэри Л.М., Джой Дж.М., Дудек Дж.Е. и др. Кофе и физическая работоспособность: роль нутригенетики и индивидуальной вариабельности // *Nutrients*. 2023. V. 15. № 6. P. 1398.
- 12 Амауи А., Аль-Касассбех М., Аль-Шорман А. Питательные потребности спортсменов: обзор требований к результативности, восстановлению и здоровью // *Nutrients*. 2024. V. 16. № 2. P. 312.
- 13 Рахими М.Р., Корди М.Р., Фанаеи Х. Полиморфизм гена ADORA2A и острый приём кофеина: влияние на гормональные и физиологические ответы // *Journal of Sports Sciences*. 2024. V. 42. № 3. P. 245–253.
- 14 Wang Z., Li Z., Zhang Y. Is the ergogenic effect of caffeine dependent on genotype? A meta-analysis of genetic moderators. *Sports Medicine*. 2024. vol. 54. no. 1. pp. 67–82.
- 15 Akhmetov I.I., Egorova E.S., Gabdrakhmanova L.Zh. Genomic predictors of physical activity and sports traits. *Sports Medicine*. 2024. vol. 54. no. 5. pp. 1031–1045.
- 16 Della Guardia L., Codella R. The role of the UCP3 protein in regulating skeletal muscle energy metabolism and substrate selection. *Metabolism*. 2024. vol. 150. article 155755.
- 17 Gabdulkayum A., Akhmetov I.I., Zhumagulova S. VDR gene polymorphisms, vitamin D levels and injury predisposition in elite athletes. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*. 2025. vol. 65. no. 1. pp. 45–54.
- 18 Хребтова А.Ю., Кузин А.И., Камерер О.В. и др. Стратегические горизонты персонализированного питания в спорте // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. 2020. № 9 (187). С. 400–408.
- 19 Максимычева Т.Ю., Кондратьева Е.И., Попова В.М. Молекулярно-генетические основы энергетического обмена и физических качеств человека. Перспективы исследований // Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология. 2023. № 9 (217). С. 222–230.
- 20 Напольский И.Н., Попова П.В. Персонализированное питание для профилактики и лечения метаболических заболеваний: возможности и перспективы // Российский журнал персонализированной медицины. 2022. Т. 2. № 1. С. 15–34. doi: 10.18705/2782-3806-2022-2-1-15-34

## References

- Guest N.S., VanDusseldorp T.A., Nelson M.T. et al. International society of sports nutrition position stand: caffeine and exercise performance. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*. 2021. vol. 18. no. 1. article 1. doi: 10.1186/s12970-020-00383-4.
- Maciejewska-Skrendo A., Chycki J., Cholewa J. et al. The influence of the differentiation of genes encoding peroxisome proliferator-activated receptors on energy metabolism and endurance performance. *Nutrients*. 2022. vol. 14. no. 24. article 5378. doi: 10.3390/nu14245378.
- Barreto G., Freitas L.F., Gerosa-Neto J. et al. Caffeine, CYP1A2 genotype, and exercise performance: a systematic review and meta-analysis. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2024. vol. 56. no. 2. pp. 328–339. doi: 10.1249/MSS.0000000000003313.
- Penggalih M.H.S.T., Solichah K.M., Niamilia I. et al. Precision nutrition in sports science: an opinion on omics-based personalized nutrition. *Frontiers in Nutrition*. 2025. vol. 12. article 1324567.
- Biçaklı B., Özdemir S., Yılmaz A. Genetic determinants of endurance performance: a narrative review. *International Journal of Molecular Sciences*. 2024. vol. 25. no. 23. article 13041. doi: 10.3390/ijms252313041.
- Kotsatyrk R.R. The influence of CYP1A2 –163C>A and ADORA2A 1976T>C polymorphisms on physiological effects and physical performance during caffeine intake: a systematic review. *Baltic Journal of Sport and Health Sciences*. 2022. no. 4. pp. 45–58. (in Russian).
- Varillas-Delgado D., Gomez-Cabrera M.K., Viña J. Genetics and sports performance: current state and prospects. *Antioxidants*. 2022. vol. 11. no. 9. article 1741. doi: 10.3390/antiox11091741 (in Russian).
- Asgari G., Rezazadeh A., Askari G. et al. The effect of genetic polymorphism on the response to vitamin D supplementation during long-term intake: a “gene-nutrient” interaction study. *Frontiers in Nutrition*. 2022. vol. 9. article 872193. doi: 10.3389/fnut.2022.872193 (in Russian).
- Bulgay D., Ozkan S., Demirkan E. Vitamin D receptor polymorphism (VDR rs2228570) and competitive performance of elite athletes. *Healthcare*. 2023. vol. 11. no. 4. article 522. doi: 10.3390/healthcare11040522 (in Russian).
- Semenova E.A., Fuku N., Yastrzhembskiy Z. et al. Genes and sports performance: 2023 update. *Genes*. 2023. vol. 14. no. 5. article 1150. doi: 10.3390/genes14051150 (in Russian).
- Lowery L.M., Joy J.M., Dudeck J.E. et al. Coffee and physical performance: the role of nutrigenetics and individual variability. *Nutrients*. 2023. vol. 15. no. 6. article 1398. doi: 10.3390/nu15061398 (in Russian).
- Amaoui A., Al-Kasassbeh M., Al-Shorman A. Nutritional needs of athletes: a review of performance, recovery and health requirements. *Nutrients*. 2024. vol. 16. no. 2. article 312. doi: 10.3390/nu16020312 (in Russian).
- Rahimi M.R., Kordi M.R., Fanaei H. ADORA2A gene polymorphism and acute caffeine intake: effects on hormonal and physiological responses. *Journal of Sports Sciences*. 2024. vol. 42. no. 3. pp. 245–253. doi: 10.1080/02640414.2023.2291218 (in Russian).
- Wang Z., Li Z., Zhang Y. Is the ergogenic effect of caffeine dependent on genotype? A meta-analysis of genetic moderators. *Sports Medicine*. 2024. vol. 54. no. 1. pp. 67–82.

- 15 Akhmetov I.I., Egorova E.S., Gabdrakhmanova L.Zh. Genomic predictors of physical activity and sports traits. Sports Medicine. 2024. vol. 54. no. 5. pp. 1031–1045
- 16 Della Guardia L., Codella R. The role of the UCP3 protein in regulating skeletal muscle energy metabolism and substrate selection. Metabolism. 2024. vol. 150. article 155755.
- 17 Gabdulkayum A., Akhmetov I.I., Zhumagulova S. VDR gene polymorphisms, vitamin D levels and injury predisposition in elite athletes. Journal of Sports Medicine and Physical Fitness. 2025. vol. 65. no. 1. pp. 45–54.
- 18 Khrebo A.Yu., Kuzin A.I., Kamerer O.V. et al. Strategic horizons of personalized nutrition in sports. Uchenye Zapiski Universiteta Imeni P.F. Lesgafta. 2020. no. 9 (187). pp. 400–408. (in Russian).
- 19 Maksimycheva T.Yu., Kondratieva E.I., Popova V.M. Molecular-genetic bases of energy metabolism and human physical qualities. Research prospects. Experimental and Clinical Gastroenterology. 2023. no. 9 (217). pp. 222–230. (in Russian).
- 20 Napolksky I.N., Popova P.V. Personalized nutrition for the prevention and treatment of metabolic diseases: opportunities and prospects. Russian Journal of Personalized Medicine. 2022. vol. 2. no. 1. pp. 15–34. doi: 10.18705/2782-3806-2022-2-1-15-34 (in Russian)

**Сведения об авторах**

**Лариса А. Новикова** старший преподаватель, кафедра физической культуры и спорта, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, novikovalari-sa1307@gmail.com  
 <https://orcid.org/0009-0005-7723-589X>

**Светлана В. Недомолкина** старший преподаватель, кафедра физической культуры и спорта, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394000, Россия, lana.nedomolkina@mail.ru

 <https://orcid.org/0009-0005-7269-6742>

**Наталья П. Деркачева** старший преподаватель, кафедра физической культуры и спорта, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394000, Россия, nptrovaderkacheva@mail.ru

 <https://orcid.org/0009-0009-2940-2023>

**Марина Н. Могунова** доцент, кафедра физического воспитания, Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, 394087, Россия, mari-na.mogunova@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-5363-8855>

**Галина Н. Егорова** к.п.н., доцент, кафедра промышленной экологии и техносферной безопасности, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394000, Россия, egorovahp@gmail.com  
 <https://orcid.org/0000-0002-9907-9649>

**Наталья Л. Клейменова** к.т.н., доцент, кафедра информационных и управляемых систем, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, klesha78@list.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-1462-4055>

**Вклад авторов**

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за plagiat

**Конфликт интересов**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Information about authors**

**Larisa A. Novikova** senior lecturer, physical culture and sports department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, novikovalari-sa1307@gmail.com  
 <https://orcid.org/0009-0005-7723-589X>

**Svetlana V. Nedomolkina** senior lecturer, physical culture and sports department , Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Ave., 19, Voronezh, 394000, Russia, lana.nedomolkina@mail.ru  
 <https://orcid.org/0009-0005-7269-6742>

**Natalia P. Derkacheva** senior lecturer, physical culture and sports department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Ave., 19, Voronezh, 394000, Russia, nptrovaderkacheva@mail.ru  
 <https://orcid.org/0009-0009-2940-2023>

**Marina N. Mogunova** assistant professor, Physical Education Department, Voronezh State Forestry University named after G. F. Morozov, 8 Timiryazeva Street, Voronezh, 394087, Russia, mari-na.mogunova@mail.ru  
 <https://orcid.org/0000-0002-5363-8855>

**Galina N. Egorova** Cand. Sci. (Ped.), associate professor, industrial ecology and technosphere safety department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Ave., 19, Voronezh, 394000, Russia, egorovahp@gmail.com  
 <https://orcid.org/0000-0002-9907-9649>

**Natalya L. Klejmenova** Cand. Sci. (Engin.), associate professor, Department of Information and Control Systems, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Ave., 19, Voronezh, 394000, Russia, klesha78@list.ru  
 <https://orcid.org/0000-0002-1462-4055>

**Contribution**

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

**Conflict of interest**

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 01/10/2025	После редакции 18/10/2025	Принята в печать 24/11/2025
Received 01/10/2025	Accepted in revised 18/10/2025	Accepted 24/11/2025