



Зайцева Н.В.¹, Кирьянов Д.А.¹, Хисматуллин Д.Р.¹, Чигвинцев В.М.¹,
Мустафина И.З.²

Количественная оценка вклада факторов риска в формирование алиментарно-зависимых патологий у детей школьного возраста на основе нейросетевого моделирования

¹ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения», 614045, Пермь, Россия;

²ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Министерства здравоохранения Российской Федерации, 123995, Москва, Россия

РЕЗЮМЕ

Введение. Повышенный интерес государства к проблеме здорового питания определяет актуальность разработки методических подходов к количественной оценке вероятности возникновения алиментарно-обусловленных патологий и оценке рисков для здоровья.

Материалы и методы. В качестве источника информации выступали данные социологического исследования, проведенного Роспотребнадзором. Для анализа использованы 11 543 анкеты, характеризующие факторы питания школьников в регионах Российской Федерации. Ассоциированные связи между исследуемыми факторами и заболеваемостью получены путём проведения нейросетевого моделирования. Исследование вкладов факторов в формирование патологий проводилось на основе анализа симуляционной матрицы, содержащей 300 тыс. возможных сценариев питания.

Результаты. В ходе математического моделирования получены 12 нейросетевых моделей, описывающих зависимость дополнительной вероятности развития алиментарно-зависимых патологий от факторов питания, с высокой долей верных предсказаний (более 70%). Проанализированы вклады факторов в изменение вероятности развития ожирения как модели, обладающей высокой степенью достоверности параметров. Установлено, что факторами, влияющими в наибольшей степени на развитие ожирения, являются ежедневное употребление продуктов с высоким гликемическим индексом, высококалорийных кондитерских изделий в виде тортов и пирожных, сладких соков, употребление продуктов из вендингового аппарата (за исключением салатов и овощных блюд). Такой характер питания увеличивает вероятность развития ожирения с изначальных 0,033 до 0,98 для среднестатистического школьника.

Ограничения исследования. Исследование ограничено набором факторов, измеренных в результате социологического опроса и использованных при обучении нейросетевых моделей.

Заключение. Полученные в результате исследования нейросетевые модели и созданные на их основе информационные материалы позволили разработать инструментарий, дающий возможность оперативно формировать произвольные сценарии питания школьников, проводить вычисления дополнительной вероятности формирования алиментарно-обусловленных патологий.

Ключевые слова: население; питание; алиментарно-зависимые патологии; нейросетевое моделирование; анкетирование

Соблюдение этических стандартов. Статья одобрена этическим комитетом ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» (протокол заседания № 4 от 21.02.2023 г.).

Для цитирования: Зайцева Н.В., Кирьянов Д.А., Хисматуллин Д.Р., Чигвинцев В.М., Мустафина И.З. Количественная оценка вклада факторов риска в формирование алиментарно-зависимых патологий у детей школьного возраста на основе нейросетевого моделирования. *Гигиена и санитария*. 2024; 103(6): 577–583. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-6-577-583> <https://elibrary.ru/ovuyjj>

Для корреспонденции: Кирьянов Дмитрий Александрович, канд. техн. наук, рук. отд. математического моделирования систем и процессов ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения», 614045, Пермь. E-mail: kda@fcrisk.ru

Участие авторов: Зайцева Н.В. — концепция и дизайн исследования, написание текста; Кирьянов Д.А. — написание текста, математический анализ данных, редактирование; Хисматуллин Д.Р. — обработка данных, анализ данных, написание текста; Чигвинцев В.М. — анализ данных; Мустафина И.З. — обработка данных.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Финансирование. Исследование не имело финансовой поддержки.

Поступила: 03.04.2024 / Поступила после доработки: 06.06.2024 / Принята к печати: 19.06.2024 / Опубликовано: 17.07.2024

Nina V. Zaitseva¹, Dmitrii A. Kiryanov¹, Dmitrii R. Khismatullin¹, Vladimir M. Chigvintsev¹,
Irina Z. Mustafina²

Quantitative assessment of the contribution of risk factors to the formation of nutrition-dependent diseases based on neural network modelling in schoolchildren

¹Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, Perm, 614045, Russian Federation

²Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Moscow, 123995, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. The increased interest on the part of the state in the problem of healthy nutrition makes it urgent to develop methodological approaches to quantify the likelihood of the occurrence of nutrition-related diseases and assess health risks.

Materials and methods. The source of information was data obtained from a sociological study conducted by the Federal Service for Supervision in Protection of the Rights of Consumer and Man Wellbeing (Rospotrebnadzor). For the analysis, there were used eleven thousand five hundred forty three questionnaires, characterizing the nutritional factors of schoolchildren in the Russian Federation in the regions. Associated relationships between the studied factors and morbidity

were obtained through neural network modelling. The study of the contributions of factors to the formation of diseases was carried out based on the analysis of a simulation matrix containing 300 thousand possible nutrition scenarios.

Results. In the course of mathematical modelling, there were delivered 12 neural network models that describe the dependence of the additional probability of developing nutrition-dependent diseases on nutritional factors, characterized by a high proportion of correct predictions (more than 70%). The contributions of factors to changes in the probability of developing obesity were analyzed as a model with a high degree of reliability of parameters. The factors most influencing the development of obesity have been established to include daily consumption of foods with a high glycemic index, high-calorie confectionery in the form of cakes and pastries, sweet juices, consumption of products from a vending machine, excluding the purchase of salads and vegetable dishes. This type of diet increases the likelihood of developing obesity from the original 0.033 to 0.98 for the average schoolchild.

Limitations. The study is limited to a set of factors measured as a result of a sociological survey and used in training neural network models.

Conclusion. The neural network models obtained as a result of the study and the information materials created on their basis made it possible to develop tools that make it possible to quickly create arbitrary nutrition scenarios for schoolchildren and calculate the additional probability of the formation of nutrition-related diseases.

Keywords: population; nutrition; alimentary-dependent pathologies; neural network modeling; questioning

Compliance with ethical standards. The article was approved by the ethics committee of Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies (Protocol № 4 of 21.02.2023).

For citation: Zaitseva N.V., Kiryanov D.A., Khismatullin D.R., Chigvintsev V.M., Mustafina I.Z. Quantitative assessment of the contribution of risk factors to the formation of nutrition-related diseases based on neural network modelling in schoolchildren. *Gigiena i Sanitariya / Hygiene and Sanitation, Russian journal*. 2024; 103(6): 578–583. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-6-578-583> <https://elibrary.ru/ovyyjjj> (In Russ.)

For correspondence: Dmitrii A. Kiryanov, MD, PhD, Head of Department of Systems and Processes Mathematical Modelling, Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, Perm, 614045, Russian Federation E-mail: kda@fcrisk.ru

Contribution: Zaitseva N.V. — Concept and research design, writing text; Kiryanov D.A. — writing text, mathematical analysis of data, editing; Khismatullin D.R. — data processing, data analysis, text writing; Chigvintsev V.M., Mustafina I.Z. — data processing. All authors are responsible for the integrity of all parts of the manuscript and approval of the manuscript final version.

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

Acknowledgement. The study had no sponsorship.

Received: April 3, 2024 / Revised: June 6, 2024 / Accepted: June 19, 2024 / Published: July 17, 2024

Введение

Профилактика развития болезней является одним из приоритетов в минимизации нарушений здоровья населения, снижении демографических потерь, повышении трудового долголетия и ожидаемой продолжительности жизни. Важность ранней профилактики заболеваемости, особенно детского населения школьного возраста, подчёркивается в ряде национальных проектов, в том числе в национальном проекте «Демография». В соответствии с целями национальных проектов в области демографии и народосбережения особое внимание уделяется оптимизации школьного питания, направленной на снижение алиментарно-обусловленной заболеваемости.

Большинство алиментарно-зависимых патологий не характерно для детей школьного возраста, однако нарушения здоровья могут возникать уже в раннем возрасте. Например, формирование атеросклеротических бляшек и прочие патологии системы кровообращения могут начинаться уже в возрасте обучения в начальной школе [1]. Среди школьников широко распространены ожирение и избыточная масса тела. Доля детей с избыточной массой тела, по данным национальных исследовательских программ, увеличилась с 11,8% в 2005–2006 гг. [2] до 21,4% в 2018 г. [3] и продолжает увеличиваться. Одной из причин развития алиментарно-зависимых патологий может быть нерациональное питание [4, 5]. Проблема нерационального питания отражена в большинстве исследований регионального и федерального уровней [6–9]. Согласно данным Федерального исследовательского центра питания, биотехнологии и безопасности пищи, наблюдается смещение рациона питания в сторону избыточного потребления жиров и углеводов наряду с дефицитом пищевых волокон и некоторых минеральных веществ (кальций, фосфор, калий, железо, цинк, йод) [10].

Для профилактики алиментарно-зависимых патологий разработаны глобальные и региональные программы, направленные на пропаганду здорового питания. В мае 2018 г. Ассамблея ВОЗ приняла программу «Thirteenth general programme of work, 2019–2023. Geneva: World Health Organization; 2018», направленную на достижение целей в области здорового образа жизни и исключение трансжиров промышленного производства из состава пищевой продукции. В Российской Федерации в рамках национального проекта «Демография»

предусмотрено достижение глобальных целей по увеличению ожидаемой продолжительности жизни, суммарного коэффициента рождаемости, доли граждан, ведущих здоровый образ жизни, в том числе за счёт организации правильного питания. Федеральный проект «Формирование системы мотивации граждан к здоровому образу жизни, включая здоровое питание и отказ от вредных привычек» предусматривает комплекс работ по пропаганде здорового питания, в том числе путём исследования вкладов факторов в развитие алиментарно-зависимых болезней. В рамках федерального проекта проводится оценка заболеваемости школьников, связанной с пищевым фактором, актуализация значимости мониторинга питания и здоровья школьников, изучение структуры питания, пищевого поведения, а также условий реализации организованных форм питания [11].

Одним из наиболее эффективных методов решения аналитических задач по оценке закономерностей формирования алиментарно-зависимых болезней является применение методов системного анализа, машинного обучения и искусственного интеллекта на масштабных статистических данных, обеспечивающих учёт вариативности алиментарных факторов, условий проживания, образа жизни, особенности пищевого поведения и др. Использование нейросетевого метода анализа данных позволяет находить глубокие взаимосвязи факторов с учётом взаимовлияния сотен параметров и сохранением высокой степени предсказательной способности.

Использование машинного обучения искусственных нейронных сетей для прогнозирования заболеваемости населения широко применяется как в России [12], так и в других странах [13, 14]. В работе Lim H. и соавт. [15] была предложена модель прогнозирования риска ожирения в возрасте десяти лет с высокой степенью достоверности полученных моделей. В модели наряду с такими факторами, как пол ребёнка, привычки питания, активность, индекс массы тела, был учтён фактор самооценки матери. В результате прогнозирования материнская самооценка, которая ранее не исследовалась, оказалась значимым фактором развития детского ожирения.

В работе Alazwari A. и соавт. [16] установлено, что возникновение сахарного диабета I типа у детей связано с наличием данной патологии в анамнезе у родственников первой и второй линий, массой тела ребёнка при рождении больше 4 кг и кесаревым сечением при родоразрешении.

Работы, посвящённые оценке влияния факторов, связанных с нарушенным паттерном пищевого поведения, на возникновение алиментарно-обусловленных болезней, представленные в базах научных исследований, имеют в основном качественный характер, что в свою очередь делает актуальными задачи по разработке методических подходов к количественной оценке вероятности возникновения алиментарно-обусловленных патологий, оценке рисков для здоровья и прогнозированию отдалённых последствий в виде демографических потерь.

Цель исследования — количественная оценка вклада отдельных факторов рациона и условий питания школьников в изменение дополнительной вероятности развития алиментарно-обусловленных патологий с учётом сложившихся сценариев питания на основе использования моделей искусственных нейронных сетей.

Материалы и методы

Источником информации были данные, полученные при социологическом исследовании в рамках федерального проекта «Укрепление общественного здоровья» национального проекта «Демография». Масштабное социологическое исследование проводилось силами территориальных органов и организаций Роспотребнадзора в 2019–2021 гг.

Всего для анализа использованы данные 61 тыс. анкет, содержащие ответы на 134 вопроса, характеризующих различные факторы, связанные с вероятностью возникновения хронических болезней у детей. После подготовки данных и устранения грубых ошибок [17] для проведения моделирования причинно-следственных связей был сформирован массив из 11 543 анкет, полностью соответствующих условиям полноты и достоверности исходной информации.

Исследование одобрено комитетом по этике ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения».

В исследование вошли болезни согласно перечню МР 2.3.0237–21 «Подготовка и проведение мониторинга состояния питания обучающихся в общеобразовательных организациях», разработанных ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» и утверждённых руководителем Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. Систематизация выполнена по МКБ-10: анемия (D50–D53); болезни щитовидной железы (E00–E07); дефицит массы тела (E50–E64); избыточный вес (E68); нарушение осанки (M40–M43); ожирение (E66); болезни органов дыхания (J00–J99); болезни органов пищеварения (K00–K93); пищевая аллергия (L20, L27, L50.0, K52.2, T78.1); плоскостопие (M21.4); муковисцидоз (E84); нарушение остроты зрения (H53) сахарный диабет (E10–E14); болезни системы кровообращения (I00–I99).

Для выявления связей между вероятностью возникновения нарушений здоровья и алиментарными факторами риска был применён метод построения искусственных нейронных сетей. Построение нейронных сетей проводилось с использованием библиотеки *neuralnet* на языке R. При моделировании зависимостей в качестве базовой модели искусственной нейронной сети применяли многослойный персептрон, структура которого подбиралась по результатам проведения ROC-анализа, максимизируя показатель AUC, отражающий описательную способность модели. Моделирование выполняли в виде итерационного процесса, на каждом шаге которого проводили варьирование количеством внутренних слоёв от одного до трёх и количеством нейронов в каждом слое от двух до тридцати. Параметры чувствительности и специфичности определены при помощи построения матрицы классификации. В качестве критерия отбора точки отсечения при анализе матрицы классификации выступало равенство чувствительности и специфичности.

Исследование закономерностей формирования болезней проводили на основе анализа симуляционной матрицы, содержащей 300 тыс. сценариев, отражающих различные

сочетания значений факторов школьного питания, социально-экономического статуса семьи, генетической предрасположенности, пищевых предпочтений, особенностей пищевого поведения. Формирование симуляционной матрицы сценариев выполняли с применением метода Монте-Карло, предполагающего проведение численных экспериментов по прогнозированию вероятности формирования болезней у школьников по сценариям, сгенерированным случайным образом. Объём симуляционной матрицы обеспечил соблюдение статистических критериев значимости при выполнении расчётов дополнительной вероятности возникновения алиментарно-обусловленных патологий при любом произвольном сценарии.

Результаты

В результате использования процедуры машинного обучения были получены нейросетевые модели, характеризующиеся внешним входным слоем, равным количеству исследуемых факторов, внутренними слоями и выходным слоем, соответствующим вероятности формирования нозологии. ROC-анализ и анализ с использованием матрицы классификации дали возможность установить параметры качества модели (параметр AUC, чувствительность/специфичность), находящиеся в диапазоне между наихудшим (0) и наилучшим (1) значениями. В табл. 1 представлены параметры полученных нейросетевых моделей.

В ходе моделирования было формализовано влияние алиментарных факторов на 12 патологий, большинство из которых (ожирение, избыточный вес, дефицит массы тела, нарушения органов пищеварения, болезни щитовидной железы, болезни системы кровообращения, анемия, сахарный диабет) относятся к категории алиментарно-зависимых. При этом наилучшее качество продемонстрировала модель для ожирения, которая позволяет выполнять уверенный прогноз вероятного развития патологии с ошибкой менее 5%. Визуализация структуры полученной нейросетевой модели представлена на рис. 1 (см. на вклейке).

Полученная нейросетевая модель для прогнозирования развития ожирения у школьников в зависимости от совокупности исследуемых факторов содержит входной слой исходных показателей, два внутренних слоя нейронов (22 и 10) и выходной слой, характеризующий вероятность возникновения патологии.

На рис. 2 (см. на вклейке) приведены ROC-кривая и результаты расчёта показателей чувствительности и специфичности.

Большинство полученных моделей характеризуется высоким качеством долей верных предсказаний (более 70%). Для двух патологий (муковисцидоз и нарушение остроты зрения) получить модели, отвечающие статистическим критериям значимости, не удалось.

В результате проведения количественной оценки дополнительной вероятности возникновения алиментарно-обусловленных болезней было установлено, что избыточный вес отца и матери оказывает максимальное влияние на развитие ожирения, увеличивая его вероятность у ребёнка на 8,05%. Процент изменения вероятности возникновения патологии вследствие влияния исследуемых факторов определяли по отношению к среднестатистическому значению, равному 0,032.

В ходе численного эксперимента, сопряжённого с анализом симуляционной матрицы, было впервые показано, что наиболее чувствительной к развитию ожирения группой, зависимой от избыточного веса матери, являются мальчики младшей школы, вероятность развития ожирения у которых повышается на 11,05% при весе матери более 135 кг. Избыточный вес отца может оказывать наибольшее влияние на развитие ожирения у мальчиков, обучающихся в 10–11-м классах, повышая вероятность в группе на 20,06%. Стоит отметить, что избыточный вес отца ассоциирован с возникновением ожирения во всех исследуемых группах детей, в то

Таблица 1 / Table 1

Характеристики нейросетевых моделей, полученных для исследуемых патологий
Characteristics of neural network models delivered for the studied diseases

Заболевание Disease	Параметры нейронной сети (количество нейронов, распределение нейронов по слоям) The parameters of the neural network (the number of neurons, the distribution of neurons by layers)	Параметры качества модели / Model quality parameters	
		Параметр AUC AUC parameter	Чувствительность/специфичность Sensitivity/specificity
Ожирение / Obesity	32 (22; 10)	0.9615	0.91
Избыточный вес / Overweight	16 (14; 2)	0.868	0.77
Нарушение осанки / Violation of posture	8 (6; 2)	0.8621	0.79
Плоскостопие / Flat feet	19 (10; 7; 2)	0.8595	0.79
Дефицит массы тела / Body mass deficiency	3 (3)	0.7862	0.72
Нарушения органов пищеварения Diseases of the digestive system	21 (9; 8; 4)	0.7624	0.68
Болезни щитовидной железы / Thyroid diseases	25 (10; 8; 7)	0.7605	0.69
Пищевая аллергия / Food allergy	22 (9; 8; 5)	0.738	0.68
Болезни системы кровообращения Cardiovascular diseases	20 (15; 5)	0.7229	0.63
Анемия / Anemia	6 (6)	0.7085	0.64
Сахарный диабет / Diabetes	33 (15; 12; 5)	0.6768	0.66
Нарушения органов дыхания / Respiratory disorders	18 (7; 6; 5)	0.6767	0.62
Муковисцидоз / Cystic fibrosis	—	—	—
Нарушение остроты зрения / Violation of visual acuity	—	—	—

время как избыточный вес матери может не оказывать влияния на развитие ожирения у девочек, обучающихся в 5–9-м классах.

Среди ненаследственных факторов выделяется удовлетворённость порцией обеда, который выступает важной характеристикой, оказывающей влияние на изменение вероятности развития ожирения (табл. 2).

Для преобладающего большинства исследуемых групп школьников отсутствие чувства сытости после обеда ведёт к повышению вероятности развития ожирения в среднем на 12,2%. Исключением являются девочки старшей школы, для которых удовлетворённость порцией обеда не является фактором, повышающим вероятность развития патологии.

Частота употребления продуктов питания также оказывает прямое воздействие на изменение вероятности развития ожирения. Наибольший вклад в дополнительную вероятность вносит ежедневное употребление картофеля, особенно для мальчиков 10–11-го классов, увеличивая вероятность в этой группе на 19,05%, при этом девочки этой же возрастной группы менее восприимчивы к негативному

воздействию картофеля, повышающего дополнительную вероятность ожирения в группе на 5% (табл. 3).

Ежедневное употребление тортов и пирожных выделяется на фоне потребления всех высококалорийных продуктов питания наибольшим вкладом в развитие ожирения, увеличивая вероятность в среднем на 8,15% и на 14,37% в наиболее чувствительной группе – у мальчиков 10–11-х классов. При этом частое употребление тортов и пирожных оказывает меньшее влияние на девочек 1–4-го и 10–11-го классов. Распределение вероятности представлено в табл. 4.

Для наименее чувствительной группы к развитию алиментарно-зависимого ожирения – девочек 10–11-го классов – наибольшее негативное воздействие наблюдается при регулярном употреблении сладких соков, которое увеличивает вероятность развития патологии на 9,09%. Кроме того, в отличие от других исследуемых групп для девочек 10–11-го классов и мальчиков средней школы отсутствие овощей в рационе питания повышает вероятность развития нозологии на 6,15% при повышении вероятности ожирения не более чем на 5% для остальных групп.

Таблица 2 / Table 2

Вероятность развития ожирения, ассоциированная с удовлетворённостью порцией и составом обеда
Probability of developing obesity associated with satisfaction and composition of lunch

Вопрос Question	Ответ Answer	Среднестатистический школьник Average schoolchild	Начальная школа Primary School		Средняя школа Middle school		Старшая школа High school	
			девочки girls	мальчики boys	девочки girls	мальчики boys	девочки girls	мальчики boys
Хватает ли ребёнку порции, выданной в школьной столовой? Does the child have enough issued portion in the school dining room?	Да / Yes	0.030	0.029	0.030	0.030	0.030	0.030	0.033
	Не всегда / Not always	0.034	0.033	0.034	0.033	0.034	0.034	0.033
	Нет / No	0.036	0.036	0.037	0.035	0.037	0.035	0.037
Что чаще всего ест ваш ребёнок на обед в школе? What the child eats at school for lunch often of all?	Обед из трёх блюд Three course lunch	0.030	0.030	0.030	0.030	0.031	0.031	0.031

Таблица 3 / Table 3

Распределение вероятности развития ожирения от частоты употребления картофеля
Distribution of the probability of developing obesity from the frequency of potato eat

Частота употребления продукта The frequency of product use	Среднестатистический школьник Average schoolchild	Начальная школа Primary School		Средняя школа Middle school		Старшая школа High school	
		девочки girls	мальчики boys	девочки girls	мальчики boys	девочки girls	мальчики boys
Каждый день / Every day	0.036	0.036	0.035	0.035	0.036	0.035	0.040
Три-четыре раза в неделю / 3–4 times per week	0.034	0.033	0.035	0.035	0.034	0.034	0.035
Один раз в неделю / 1 time per week	0.034	0.033	0.036	0.033	0.033	0.034	0.036
Два-три раза в месяц / 2–3 times per month	0.033	0.032	0.034	0.033	0.034	0.033	0.032
Один раз в месяц / 1 time per month	0.032	0.033	0.032	0.031	0.031	0.030	0.031
Не употребляет / Doesn't eat	0.031	0.030	0.031	0.030	0.032	0.030	0.031

Таблица 4 / Table 4

Распределение вероятности развития ожирения от частоты употребления тортов и пирожных
Distribution of the probability of developing obesity from the frequency of consumption of cakes and pastries

Частота употребления продукта The frequency of product use	Среднестатистический школьник Average schoolchild	Начальная школа Primary School		Средняя школа Middle school		Старшая школа High school	
		девочки girls	мальчики boys	девочки girls	мальчики boys	девочки girls	мальчики boys
Каждый день / Every day	0.036	0.034	0.037	0.036	0.037	0.034	0.038
Три-четыре раза в неделю / 3–4 times per week	0.036	0.035	0.036	0.036	0.036	0.035	0.038
Один раз в неделю / 1 time per week	0.034	0.033	0.035	0.033	0.034	0.034	0.036
Два-три раза в месяц / 2–3 times per month	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032	0.033	0.032
Один раз в месяц / 1 time per month	0.032	0.032	0.033	0.030	0.032	0.031	0.031
Не употребляет / Doesn't eat	0.030	0.030	0.030	0.029	0.031	0.030	0.031

Обсуждение

В рамках настоящей статьи проанализированы вклады режима и условий питания в изменение вероятности развития алиментарно-зависимых патологий на примере ожирения, являющегося одним из наиболее распространённых нарушений здоровья, потенциально снижающим продолжительность жизни и характеризующимся нейросетевой моделью с максимальной степенью достоверности.

Полученные результаты отражают высокий уровень обусловленности формирования ожирения у школьников за счёт алиментарных факторов. Следовательно, при решении задач управления риском распространённости ожирения существует возможность количественно оценить влияние отдельных факторов для обоснования мер по оптимизации рационов и условий питания, пропаганды правильного питания и здорового образа жизни.

Моделирование показало, что наследственность может определять существенный негативный фон развития ожирения и усиливать влияние факторов питания школьников. В некоторых исследованиях устанавливается вклад наследственного фактора в увеличение индекса массы тела на уровне 25–40% [18, 19]. Считается, что такие факторы, как распределение жировой ткани, основной обмен веществ, изменение энергозатрат, инсулин-стимулированный синтез глициридов, базальный липолиз и некоторые аспекты пищевого поведения, могут наследоваться ребёнком [20].

Обнаружена закономерность между отсутствием сытости после обеда и повышением вероятности развития ожирения, что может быть связано с тем, что нехватку обеда школьники могут восполнять употреблением высококалорийных продуктов, снеков. Этим может объясняться и то, что наилучшим для снижения вероятности развития ожирения является обед из трёх блюд, уменьшающий вероятность развития ожирения у всех групп детей на 11,26%.

Регулярное употребление картофеля характерно для детей с наличием избыточного веса [21, 22] за счёт высокого значения гликемического индекса продукта. Рацион питания, содержащий большое количество сладких напитков, может вызвать развитие ожирения [23], при этом нет различия в употреблении сладких газированных напитков или соков [24].

Ограничения исследования. Исследование факторов, влияющих на развитие заболеваемости, охватывало исключительно те из них, на которых нейросетевая модель обучалась. При расширении перечня факторов необходимо провести процедуру повторного обучения модели. Следует отметить, что добавление новых факторов приведёт к увеличению прогностической силы модели, при этом направленность и значения влияния ранее описанных факторов принципиально не изменятся.

Заключение

В результате моделирования причинно-следственных связей было выполнено обучение нейросетевых моделей. Наибольшую адекватность продемонстрировали модели для прогнозирования вероятности возникновения ожирения, избыточного веса, нарушения осанки и плоскостопия. Согласно проведённому ROC-анализу, для указанных патологий наблюдается ярко выраженная зависимость от исследуемой системы факторов.

В ходе выполнения формализации процессов формирования алиментарно-зависимых патологий вследствие особенностей организации питания школьников были сформированы базовые информационные материалы, позволяющие проводить адекватные биомедицинские обобщения и давать количественные оценки возможных негативных и позитивных эффектов. Материалы представлены в виде симуляционной матрицы сценариев сочетаний значений факторов,

сгенерированных случайным образом (300 тыс. сценариев), для которых на основе построенных моделей выполнены расчёты вероятности возникновения патологий.

Согласно результатам нейросетевого моделирования, наихудшим является рацион питания с ежедневным употреблением картофеля, тортов и пирожных, соков при отсутствии белого мяса. Употребление на обед высококалорийных продуктов питания из вендингового аппарата и (или) буфета (исключая приобретение салатов и овощных блюд) может повысить вероятность развития ожирения с изначальных 0,033 до 0,98 для среднестатистического ребёнка, то есть возникновение ожирения будет практически достоверным событием. Для наиболее чувствительной к воздействию факторов группы — мальчики 10–11-го классов — данная вероятность стремится к 0,99. С другой стороны, оптимальный рацион питания, исключающий употребление указанных продуктов, практически полностью предотвращает возникновение ожирения, снижая вероятность с 0,033 до 0,000021.

Полученные результаты как в количественном отношении, так и с точки зрения биологического правдоподобия

показывают адекватность используемых концептуальных и методологических подходов и расширяют представление о вероятных масштабах возникновения патологических явлений у школьников вследствие воздействия алиментарных факторов.

Полученная в результате моделирования симуляционная матрица большого объёма в совокупности с разработанными программными средствами даёт возможность оперативно формировать практически произвольные сценарии условий и особенностей питания школьников, проводить вычисления дополнительной вероятности формирования алиментарно-обусловленных патологий. В дальнейших исследованиях планируется проведение подробного анализа сочетаний факторов с выделением комбинаций, вносящих наибольший вклад в риск для здоровья школьников.

Полученные результаты могут быть использованы в качестве информационно-аналитического инструментария для обоснования региональных программ, направленных на снижение распространённости алиментарно-зависимых патологий и минимизирующих дополнительную вероятность их возникновения.

Литература

(п.п. 13–16, 18, 19, 23, 24 см. References)

1. Хабриев Р.У., Ягудина Р.И., Рашид М.А., Аринина Е.Е. Факторы риска для здоровья подростков: результаты массового опроса. *Российский вестник перинатологии и педиатрии*. 2020; 65(3): 91–9. <https://doi.org/10.21508/1027-4065-202065-3-91-99> <https://elibrary.ru/dtdqtk>
2. Федяева В.К., Богова Е.А., Петеркова В.А., Реброва О.Ю. Метаанализ эффективности вмешательств для профилактики и коррекции избыточного веса и ожирения у детей 7–8 лет. *Ожирение и метаболизм*. 2020; 17(2): 1115–24. <https://doi.org/10.14341/omet12120> <https://elibrary.ru/tahehm>
3. Огрызко Е.В., Шелепова Е.А., Тюрина Е.М. Статистика ожирения у детей в Российской Федерации за 2014–2018 годы. *Менеджер здравоохранения*. 2020; (4): 37–42. <https://elibrary.ru/yhozqz>
4. Новикова И.И., Шевкун И.Г., Яновская Г.В., Гавриш С.М., Сорокина А.В. Роль мониторинга качества организации питания детей школьного возраста в снижении риска заболеваний, связанных с пищевым фактором. *Здоровье населения и среда обитания* — *ЗНУСО*. 2022; 30(2): 31–6. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2022-30-2-31-36> <https://elibrary.ru/sszptg>
5. Мартинчик А.Н., Батурин А.К., Камбаров А.О. Анализ ассоциации структуры энергии рациона по макронутриентам и распространения избыточной массы тела и ожирения среди населения России. *Вопросы питания*. 2020; 89(3): 40–53. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10028> <https://elibrary.ru/holtxi>
6. Ткачук Е.А., Глобенко Н.Э. Оценка стереотипов питания, физического развития и заболеваемости детей младшего школьного возраста. *Тихоокеанский медицинский журнал*. 2023; (1): 90–3. <https://doi.org/10.34215/1609-1175-2023-1-90-93> <https://elibrary.ru/riaqst>
7. Сизова Е.П., Лобкис М.А., Романенко С.П., Гавриш С.М., Сорокина А.В. Оценка фактического питания детей по результатам мониторинговых мероприятий на примере Республики Татарстан. *Здоровье населения и среда обитания* — *ЗНУСО*. 2022; 30(2): 37–46. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2022-30-2-37-46> <https://elibrary.ru/klhjdt>
8. Ефимова Н.В., Мыльникова И.В., Туров В.М. Питание школьников, проживающих на городских и сельских территориях Иркутской области. *Экология человека*. 2020; (3): 23–30. <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2020-3-23-30> <https://elibrary.ru/gtlhrs>
9. Зайцева Н.В., Лир Д.Н. Мониторинг питания в общеобразовательных организациях. *Вопросы питания*. 2022; 91(5): 56–64. <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2022-91-5-56-64> <https://elibrary.ru/dxbpvt>
10. Тутельян В.А. Здоровое питание для общественного здоровья. *Общественное здоровье*. 2021; 1(1): 56–64. <https://doi.org/10.21045/2782-1676-2021-1-1-56-64> <https://elibrary.ru/mommxj>
11. Погожева А.В., Смирнова Е.А. К здоровью нации через многоуровневые образовательные программы для населения в области оптимального питания. *Вопросы питания*. 2020; 89(4): 262–72. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10060> <https://elibrary.ru/mpogej>
12. Швеиц Д.А., Поветкин С.В. Сравнительный обзор использования методов машинного обучения для прогнозирования сердечно-сосудистого риска. *Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание*. 2020; (5): 74–82. <https://doi.org/10.24411/2075-4094-2020-16711> <https://elibrary.ru/lmfmwx>
13. Игнатенко А.М., Макарова И.Л., Копырин А.С. Методы подготовки данных к анализу слабоструктурированных временных рядов. *Программные системы и вычислительные методы*. 2019; (4): 87–94. <https://doi.org/10.7256/2454-0714.2019.4.31797> <https://elibrary.ru/aegjwr>
14. Чубаров Т.В., Бессонова А.В., Жданова О.А., Артюшенко А.И., Шаршова О.Г. Факторы риска развития ожирения в различные периоды детства. *Ожирение и метаболизм*. 2021; 18(2): 163–8. <https://doi.org/10.14341/omet12756> <https://elibrary.ru/hepawf>
15. Шарманов Т.Ш., Салханова А.Б., Датхабаева Г.К. Сравнительная характеристика фактического питания детей в возрасте 9–10 лет. *Вопросы питания*. 2018; 87(6): 28–41. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2018-10064> <https://elibrary.ru/jrwxfr>
16. Самодурова Н.Ю., Мамчик Н.П., Истомин А.В., Клепиков О.В., Соколенко Г.Г. Определение территорий риска по уровню алиментарно-зависимых заболеваний с учетом региональных особенностей структуры питания населения. *Вестник Российского государственного медицинского университета*. 2018; (5): 42–7. <https://doi.org/10.24075/vrgmu.2018.056> <https://elibrary.ru/ytnqzv>

References

1. Khabriev R.U., Yagudina R.I., Rashid M.A., Arinina E.E. Risk factors of adolescent health: mass poll results. *Rossiiskii vestnik perinatologii i pediatrii*. 2020; 65(3): 91–9. <https://doi.org/10.21508/1027-4065-202065-3-91-99> <https://elibrary.ru/dtdqtk> (in Russian)
2. Fedyaeva V.K., Bogova E.A., Peterkova V.A., Rebrova O.Yu. Efficacy of interventions for prevention and correction of overweight and obesity in children 7–8 years old: a meta-analysis. *Ozhirenie i metabolism*. 2020; 17(2): 1115–24. <https://doi.org/10.14341/omet12120> <https://elibrary.ru/tahehm> (in Russian)
3. Ogrzyzko E.V., Shelepova E.A., Tyurina E.M. Statistics of obesity in children in the Russian Federation for 2014–2018 years. *Menedzher zdravookhraneniya*. 2020; (4): 37–42. <https://elibrary.ru/yhozqz> (in Russian)
4. Novikova I.I., Shevkun I.G., Yanovskaya G.V., Gavriush S.M., Sorokina A.V. The role of monitoring the quality of school meals in reducing the risk of nutrition-related diseases. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya* — *ZNISO*. 2022; 30(2): 31–6. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2022-30-2-31-36> <https://elibrary.ru/sszptg> (in Russian)
5. Martinchik A.N., Baturin A.K., Kambarov A.O. Analysis of the association of diet energy from macronutrients and prevalence of overweight and obesity among the Russian population. *Voprosy pitaniya*. 2020; 89(3): 40–53. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10028> <https://elibrary.ru/holtxi> (in Russian)
6. Tkachuk E.A., Globenko N.E. Evaluating nutrition, physical development and morbidity in primary school-aged children. *Tikhookeanskii meditsinskii zhurnal*. 2023; (1): 90–3. <https://doi.org/10.34215/1609-1175-2023-1-90-93> <https://elibrary.ru/riaqst> (in Russian)
7. Sizova E.P., Lobkis M.A., Romanenko S.P., Gavriush S.M., Sorokina A.V. Assessment of actual nutrition of schoolchildren in the Republic of Tatarstan based on the results of monitoring activities. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya* — *ZNISO*. 2022; 30(2): 37–46. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2022-30-2-37-46> <https://elibrary.ru/klhjdt> (in Russian)
8. Efimova N.V., Mylnikova I.V., Turov V.M. Hygienic conditions of supplementary educational organizations and health of children. *Ekologiya cheloveka*. 2020; (3): 23–30. <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2020-3-23-30> <https://elibrary.ru/gtlhrs> (in Russian)
9. Zaitseva N.V., Lir D.N. Nutrition monitoring in secondary education institutions. *Voprosy pitaniya*. 2022; 91(5): 56–64. <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2022-91-5-56-64> <https://elibrary.ru/dxbpvt> (in Russian)

Original article

10. Tutel'yan V.A. Healthy food for public health. *Obshchestvennoe zdorov'e*. 2021; 1(1): 56–64. <https://doi.org/10.21045/2782-1676-2021-1-1-56-64> <https://elibrary.ru/mommxi> (in Russian)
11. Pogozheva A.V., Smirnova E.A. To the health of the nation through multi-level educational programs for the population in the field of optimal nutrition. *Voprosy pitaniya*. 2020; 89(4): 262–72. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10060> <https://elibrary.ru/mpogej> (in Russian)
12. Shvets D.A., Povetkin S.V. Comparative review of the use of machine learning methods for predicting cardiovascular risk. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologii. Elektronnnoe izdanie*. 2020; (5): 74–82. <https://doi.org/10.24411/2075-4094-2020-16711> <https://elibrary.ru/lmfmwx> (in Russian)
13. Orozco Torres J.A., Medina Santiago A., Villegas Izaguirre J.M., Amador García M., Delgado Hernández A. Hypertension diagnosis with backpropagation neural networks for sustainability in public health. *Sensors (Basel)*. 2022; 22(14): 5272. <https://doi.org/10.3390/s22145272>
14. Rost T.B., Slaughter L., Nytrø Ø., Muller A.E., Vist G.E. Using neural networks to support high-quality evidence mapping. *BMC Bioinformatics*. 2021; 22(Suppl. 11): 496. <https://doi.org/10.1186/s12859-021-04396-x>
15. Lim H., Lee H., Kim J. A prediction model for childhood obesity risk using the machine learning method: a panel study on Korean children. *Sci. Rep.* 2023; 13(1): 10122. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-37171-4>
16. Alazwari A., Johnstone A., Tafakori L., Abdollahian M., AlEidan A.M., Alfuhigi K., et al. Predicting the development of T1D and identifying its Key Performance Indicators in children; a case-control study in Saudi Arabia. *PLoS One*. 2023; 18(3): e0282426. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0282426>
17. Ignatenko A.M., Makarova I.L., Kopyrin A.S. Methods for preparing data for the analysis of poorly structured time series. *Programmye sistemy i vychislitel'nye metody*. 2019; (4): 87–94. <https://doi.org/10.7256/2454-0714.2019.4.31797> <https://elibrary.ru/aegjwr> (in Russian)
18. Ahrens W., Pigeot I., Pohlabein H., De Henauw S., Lissner L., Molnár D., et al. Prevalence of overweight and obesity in European children below the age of 10. *Int. J. Obes. (Lond.)*. 2014; 38(Suppl. 2): S99–107. <https://doi.org/10.1038/ijo.2014.140>
19. Ng M., Fleming T., Robinson M., Thomson B., Graetz N., Margono C., et al. Global, regional, and national prevalence of overweight and obesity in children and adults during 1980–2013: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2013. *Lancet*. 2014; 384(9945): 766–81. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(14\)60460-8](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(14)60460-8)
20. Chubarov T.V., Bessonova A.V., Zhdanova O.A., Artyushchenko A.I., Sharshova O.G. Risk factors for obesity development in different periods of childhood. *Ozhirenie i metabolizm*. 2021; 18(2): 163–8. <https://doi.org/10.14341/omet12756> <https://elibrary.ru/hepawf> (in Russian)
21. Sharmanov T.Sh., Salkhanova A.B., Datkhabeva G.K. A comparative analysis of actual nutrition of children aged 9–10 years. *Voprosy pitaniya*. 2018; 87(6): 28–41. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2018-10064> <https://elibrary.ru/ywxfwr> (in Russian)
22. Samodurova N.Yu., Mamchik N.P., Istomin A.V., Klepikov O.V., Sokolenko G.G. Identification of districts at risk of nutrient-related diseases based on the local diet. *Vestnik Rossiiskogo gosudarstvennogo meditsinskogo universiteta*. 2018; (5): 35–9. <https://doi.org/10.24075/brsmu.2018.056> <https://elibrary.ru/yxnlrz>
23. Malik V.S., Hu F.B. The role of sugar-sweetened beverages in the global epidemics of obesity and chronic diseases. *Nat. Rev. Endocrinol.* 2022; 18(4): 205–18. <https://doi.org/10.1038/s41574-021-00627-6>
24. Pepin A., Stanhope K.L., Imbeault P. Are fruit juices healthier than sugar-sweetened beverages? A review. *Nutrients*. 2019; 11(5): 1006. <https://doi.org/10.3390/nu11051006>

Информация об авторах

Зайцева Нина Владимировна, доктор мед. наук, профессор, академик РАН, науч. руководитель ФБУН «ФНЦ МПТ УРЗН», 614045, Пермь, Россия. E-mail: znv@fcrisk.ru

Кирьянов Дмитрий Александрович, канд. техн. наук, рук. отд. математического моделирования систем и процессов ФБУН «ФНЦ МПТ УРЗН», 614045, Пермь, Россия. E-mail: kda@fcrisk.ru

Хисматуллин Дмитрий Расулович, мл. науч. сотр. отд. математического моделирования систем и процессов ФБУН «ФНЦ МПТ УРЗН», 614045, Пермь, Россия. E-mail: hisdr@fcrisk.ru

Чигвинцев Владимир Михайлович, канд. физ.-мат. наук, науч. сотр. отд. математического моделирования систем и процессов ФБУН «ФНЦ МПТ УРЗН», 614045, Пермь, Россия. E-mail: hisdr@fcrisk.ru

Мустафина Илина Закариевна, канд. мед. наук, координатор-консультант РМАПО, 123995, Москва, Россия

Information about authors

Nina V. Zaitseva, MD, PhD, DSci., Professor, Academician of the RAS, Scientific Director of the Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, Perm, 614045, Russian Federation; Russian Academy of Sciences, Moscow, 119991, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0003-2356-1145> E-mail: znv@fcrisk.ru

Dmitrii A. Kiryanov, MD, PhD, Head of Department of Systems and Processes Mathematical Modelling, Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, Perm, 614045, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-5406-4961> E-mail: kda@fcrisk.ru

Dmitrii R. Khismatullin, junior researcher, Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, Perm, 614045, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-7615-6816> E-mail: hisdr@fcrisk.ru

Vladimir M. Chigvintsev, MD, PhD, researcher, Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, Perm, 614045, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-0345-3895> E-mail: cvm@fcrisk.ru

Irina Z. Mustafina, MD, PhD, coordinator-consultant, Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, 123995, Moscow, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-3960-6830>

К статье Н.В. Зайцевой и соавт.

«Количественная оценка вклада факторов риска в формирование алиментарно-зависимых патологий у детей школьного возраста на основе нейросетевого моделирования»

To the article by Nina V. Zaitseva et al. "Quantitative assessment of the contribution of risk factors to the formation of nutrition-dependent diseases based on neural network modelling in schoolchildren"

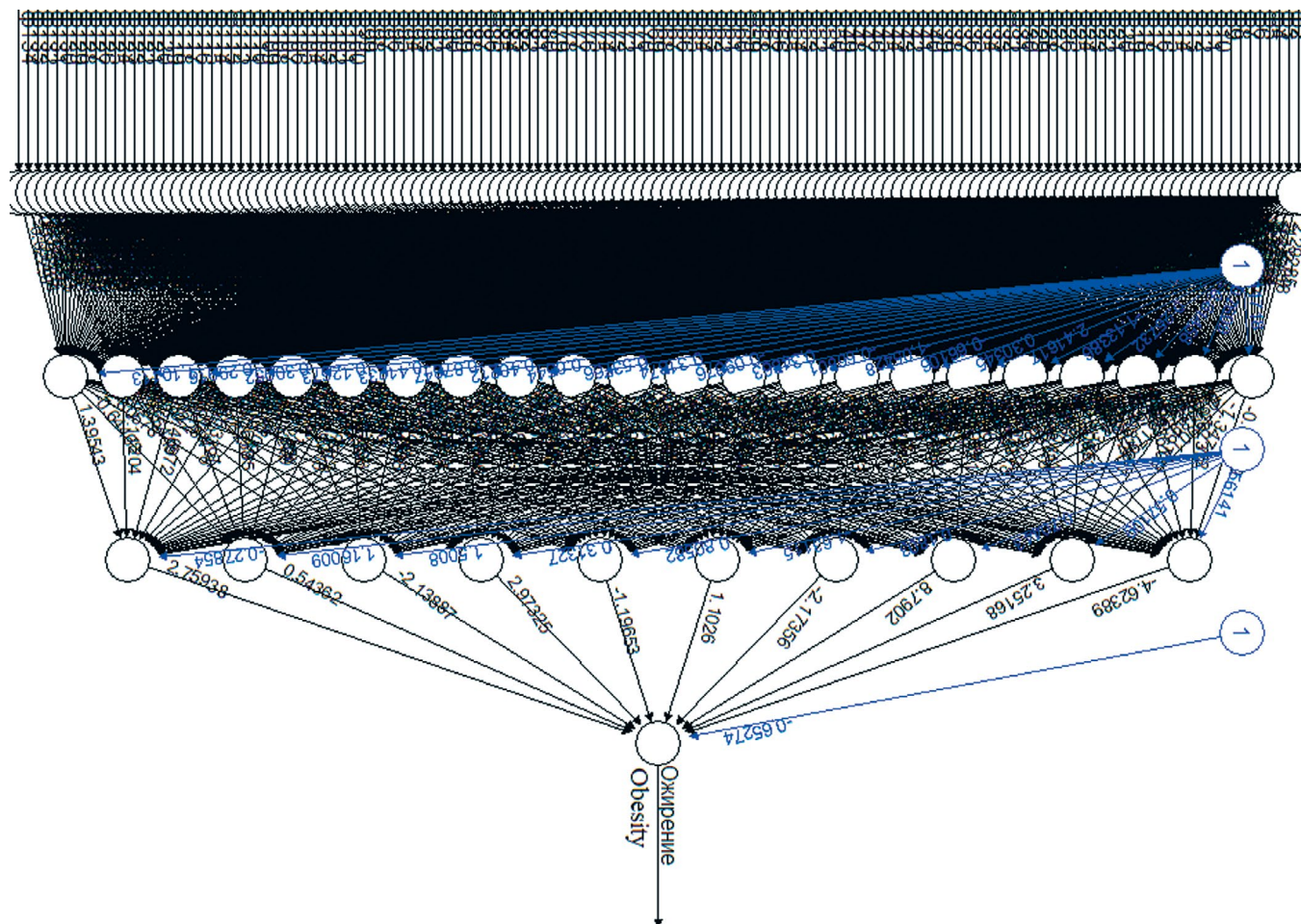


Рис. 1. Структура нейросетевой модели развития ожирения у школьников в зависимости от совокупности исследуемых факторов.

Fig. 1. The structure of the neural network of the development of obesity in schoolchildren, depending on the totality of the studied factors.

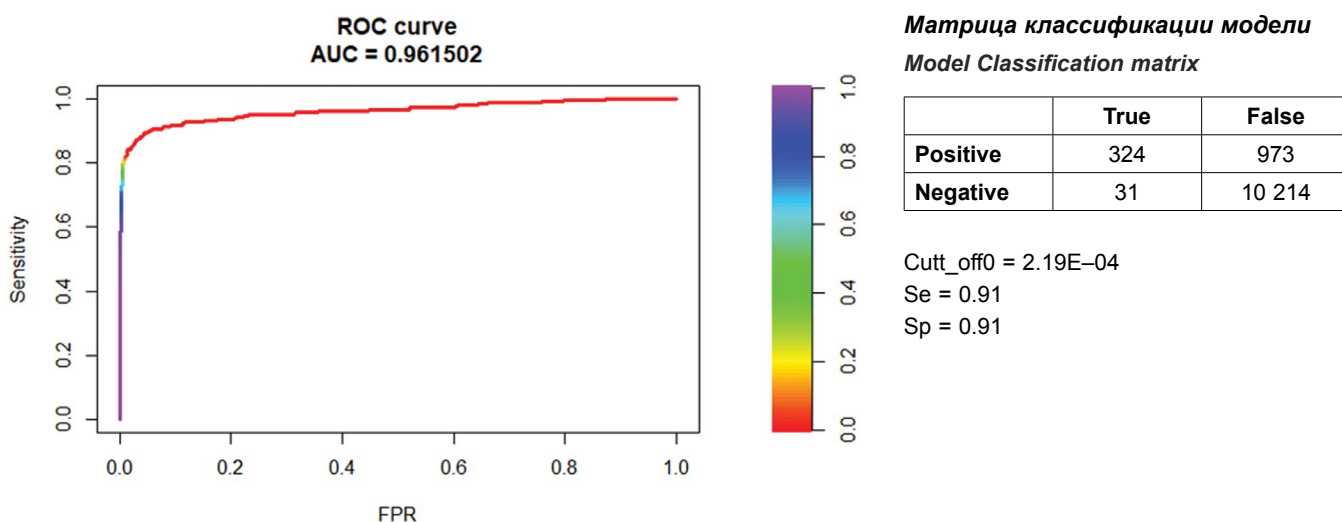


Рис. 2. Результаты ROC-анализа нейросетевой модели развития ожирения у школьников.

Fig. 2. The results of ROC analysis of a neural network model of obesity in schoolchildren.