

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В ПРОГНОЗИРОВАНИИ СТЕПЕНИ РИСКА РАЗВИТИЯ ОЖИРЕНИЯ У ДЕТЕЙ

Т.В. Чубаров, О.А. Жданова, О.Г. Шаршова, М.В. Патрицкая, О.Г. Галда, К.С. Нифталиев

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный медицинский университет им. Н.Н. Бурденко» Минздрава России (Воронеж, Россия)

Для цитирования: Чубаров Т.В., Жданова О.А., Шаршова О.Г., Патрицкая М.В., Галда О.Г., Нифталиев К.С. Искусственный интеллект в прогнозировании степени риска развития ожирения у детей. *Аспирантский вестник Поволжья*. 2022;22(1):64-70. doi: 10.55531/2072-2354.2022.22.1.64-70.

■ Сведения об авторах

Чубаров Т.В. – канд. мед. наук, главный врач Воронежской детской клинической больницы, директор эндокринологического центра.

ORCID: 0000-0002-1352-7026 E-mail: chubarov25@yandex.ru

Жданова О.А. – д-р мед. наук, доцент кафедры клинической фармакологии. ORCID: 0000-0002-3917-0395 E-mail: olga.vr9@yandex.ru

Шаршова О.Г. – заведующая отделением эндокринологии Воронежской детской клинической больницы.

ORCID: 0000-0003-0412-7853 E-mail: genvgma@yandex.ru

Патрицкая М.В. – врач ультразвуковой диагностики Воронежской детской клинической больницы.

ORCID: 0000-0002-4498-0130 E-mail: doctorpatrikUZD@yandex.ru

Галда О.Г. – студентка 6 курса. ORCID: 0000-0003-2891-0906 E-mail: galda.ol@yandex.ru

Нифталиев К.С. – студент 4 курса. ORCID: 0000-0002-6996-4188 E-mail: niftaliev.s@yandex.ru

Рукопись получена: 26.04.2022

Рецензия получена: 01.06.2022

Решение о публикации: 06.06.2022

■ Аннотация

Цель – поиск эффективных методов выявления и профилактики ожирения в более раннем возрасте.

Материал и методы. С помощью искусственных нейронных сетей (ИНС), пакета прикладных программ Statistica Neural Networks обработан массив данных, включающий факторы, влияющие на ожирение детей. Использованы клинические наблюдения, полученные в результате лечения 30 пациентов. Обучена нейронная сеть, позволяющая прогнозировать степень риска развития ожирения у детей в зависимости от значений выбранных параметров: стандартное отклонение индекса массы тела от нормы, пол, возраст, ожирение у родителей, масса тела при рождении, длительность грудного вскармливания, отклонение содержания жировой ткани в организме от нормы, отклонение калорийности питания от рекомендуемых значений.

Результаты. После обучения выбрана нейронная сеть MLP-8-7-1 с высокими коэффициентами детерминации 0,999999; 0,999407; 0,984930 для обучающей, тестовой и контрольной выборок соответственно. Это свидетельствует о высокой производительности обученной ИНС, адекватность которой проверяли графическим методом, строя гистограмму остатков – разности введенных и полученных сетью значений степени риска развития ожирения у детей.

Вывод. Обученная нейронная сеть может быть применена для прогнозирования степени риска развития ожирения у детей и разработки необходимых профилактических мероприятий у пациентов из групп риска.

■ **Ключевые слова:** искусственная нейронная сеть, степень риска развития ожирения, дети.

■ **Конфликт интересов:** не заявлен.

ARTIFICIAL INTELLIGENCE PREDICTING THE RISK OF OBESITY IN CHILDREN

Timofei V. Chubarov, Olga A. Zhdanova, Olga G. Sharshova, Mariya V. Patrietskaya, Olga G. Galda, Kenan S. Niftaliev

Voronezh State Medical University named after N.N. Burdenko (Voronezh, Russia)

Citation: Chubarov TV, Zhdanova OA, Sharshova OG, Patrietskaya MV, Galda OG, Niftaliev KS. Artificial intelligence predicting the risk of obesity in children. *Aspirantskiy vestnik Povolzhiya*. 2022;22(1):64-70. doi: 10.55531/2072-2354.2022.22.1.64-70.

■ Information about authors

Timofei V. Chubarov – PhD, Chief Physician of the Voronezh Children's Clinical Hospital, Head of the Center for Endocrinology.

ORCID: 0000-0002-1352-7026 E-mail: chubarov25@yandex.ru

Olga A. Zhdanova – PhD, Associate professor, Department of Clinical Pharmacology. ORCID: 0000-0002-3917-0395 E-mail: olga.vr9@yandex.ru

Olga G. Sharshova – Head of the Department of Endocrinology of the Voronezh Children's Clinical Hospital.

ORCID: 0000-0003-0412-7853 E-mail: genvgma@yandex.ru

Mariya V. Patrietskaya – ultrasound diagnostics doctor of the Voronezh Children's Clinical Hospital.

ORCID: 0000-0002-4498-0130 E-mail: doctorpatrikUZD@yandex.ru

Olga G. Galda – 6th year medical student. ORCID: 0000-0003-2891-0906 E-mail: galda.ol@yandex.ru

Kenan S. Niftaliev – 4th year medical student. ORCID: 0000-0002-6996-4188 E-mail: niftaliev.s@yandex.ru

Received: 26.04.2022

Revision Received: 01.06.2022

Accepted: 06.06.2022

■ Abstract

Aim – to find effective methods for detecting and preventing obesity at early age.

Material and methods. A dataset including the risk factors for child obesity was processed with artificial neural networks (ANN) and Statistica Neural Networks software. Clinical observations of 30 patients were used. The neural network was trained to predict the risk of obesity in children depending on the values of the selected parameters: standard deviation of body mass index from the norm, sex, age, obesity in parents, birth weight, duration of breastfeeding, deviation of body fat tissue content from the norm, and deviation of nutrition calories from the recommended values.

Results. After training, the neural network MLP-8-7-1 was selected due to its high coefficients of determination 0.999999; 0.999407; 0.984930 for the training, test and control samples, respectively. This indicates the high performance of the trained ANN, the adequacy of which was checked graphically by constructing a histogram of residuals – the difference between the entered and received by the network values of the risk of obesity development in children.

Conclusion. The trained neural network can be used to predict the degree of risk of obesity in children and develop the necessary preventive measures in patients from risk groups.

■ **Keywords:** artificial neural network, risk for obesity development, children.

■ **Conflict of interest:** *nothing to disclose.*

Введение

Ожирение – это группа заболеваний различной этиологии, объединяющим симптомом которых является избыточное накопление жировой ткани в организме. Чаще всего встречается конституционально-экзогенное ожирение, которое возникает при несоответствии калорийности поступающей в организм пищи и энергетических затрат на фоне наследственной предрасположенности [1, 2].

Детское ожирение имеет не только краткосрочные, но и долгосрочные неблагоприятные последствия, влияющие на физическое и психосоциальное развитие ребенка [3, 4]. Сопутствующий избыточный вес вызывает широкий спектр серьезных осложнений и повышает риск раннего развития множества заболеваний, таких как сахарный диабет, артериальная гипертензия, ишемическая болезнь сердца, гинекологические заболевания, заболевания печени и поражение опорно-двигательного аппарата [5–7]. Ожирение является фактором риска развития сердечно-сосудистых заболеваний и поражений почек, может вызывать или усугублять атопические заболевания, такие как астма, аллергия, атопический дерматит, снижать иммунный ответ на вакцины [8, 9].

На формирование ожирения влияют различные факторы, среди них выделяют немодифицируемые, такие как наследственность и социальный статус семьи, и потенциально модифицируемые – образ жизни, питание и пищевые привычки, физическая активность [10]. Критическими периодами для возникновения ожирения являются ранний детский и подростковый возраст [11]. Одним из факторов риска развития ожирения, особенно в пубертатном периоде, является мужской пол. В среднем по России избыточная масса тела и ожирение у мальчиков выявлены в 2,5%, у девочек – в 1,6% [12]. Нутритивный статус родителей имеет важное значение. Известно, что у детей с избыточной массой тела часто матери страдают ожирением [13, 14]. Ожирение у одного из родителей увеличивает риск ожирения у ребенка в 2–3 раза. Если ожирением страдают оба родителя, то риск возрастает до 15 раз [13].

Выявлена взаимосвязь между наличием ожирения и массой тела при рождении [15–17]. При преждевременных родах риск развития ожирения повышается вдвое [18]. Длительность грудного вскармливания в питании детей первого года жизни также является важным критерием с точки зрения пищевого программирования ожирения [19]. Естественное вскармливание снижает риск развития избыточной массы тела во взрослом состоянии, в то время как искусственное предрасполагает к нему [20].

Представленные данные подчеркивают важность выявления и профилактики ожирения на ранней стадии.

Цель исследования

Поиск эффективных методов прогнозирования и профилактики ожирения в более раннем возрасте.

Материал и методы

Использованы клинические наблюдения, полученные в результате наблюдения 30 пациентов в возрасте от 8 до 16 лет. Дети находились на лечении в эндокринологическом и кардиологическом отделениях Воронежской детской клинической больницы ВГМУ им. Н.Н. Бурденко с 2020 по 2021 гг. Медиана возраста пациентов – 14 лет, 25 и 75 квартили – 10,5 и 14,5 года соответственно. Мальчиков и девочек – по 15 человек (50%). У 24 детей диагностирован избыток массы тела (SDS ИМТ от +1,0 до +2,0), 6 пациентов имели ожирение (SDS ИМТ от +2,4 до +3,0). Всем детям, включенным в исследование, проводились антропометрия, вычисление ИМТ, SDS ИМТ, биоимпедансный анализ состава тела, оценивались анамнестические данные.

Биоимпедансный анализ выполнялся на приборе «Диамант-АИСТ», (производство ООО «Диамант», г. Санкт-Петербург). Метод исследования – импедансометрия. Способ измерения – тетраполярный. Измерение импеданса: 10–500 Ом. Частоты зондирующего тока: 28 кГц, 115 кГц, 460 кГц. Измерения проводились у пациентов после 10-минутного покоя в состоянии лежа с наложенными по инструкции электродами. Предупреждали пациента

Таблица 1 / Table 1

Входные параметры и их числовые значения
Input parameters and their numerical values

№	Параметр	Числовое значение	Баллы
1	Стандартное отклонение индекса массы	1–1,3 1,4–1,6 1,7–1,9	0 1 2
2	Пол: – мужской – женский	1 2	1 0
3	Возраст*	7–10 лет 11–13 лет старше 14 лет	2 1 0
4	Ожирение у родителей: – да, у одного – нет – да, у двух	1 2 3	1 0 2
5	Отклонения жировой ткани от нормы, %	50 более 50 более 100 более 150	1 2 3 4
6	Вес при рождении, г	менее 3000 более 4000	1 2
7	Длительность грудного вскармливания, количество месяцев	менее 12 и более менее 6 0 (или смешанное)	0 1 2
8	Калорийность питания, %	Норма Дефицит: – менее 50 – более 50	0 1 2

Таблица 2 / Table 2

Сравнительная характеристика критериев
Comparative characteristics of the criteria

1 балл	10 баллов
Один из следующих критериев: • SDS IMT 1,4–1,6 • мужской пол • возраст 11–13 лет • ожирение у одного родителя • процент отклонения жировой ткани от нормы по БИ менее 50% • вес при рождении 3000 г и менее • грудное вскармливание менее 6 месяцев • процент отклонения калорийности питания от нормы менее 50%	Сумма всех следующих критериев: • SDS IMT 1,7–1,9 • мужской пол • 7 лет и младше • ожирение у обоих родителей • процент отклонения жировой ткани от нормы по БИ 150% и более • вес при рождении 4000 г и более • отсутствие грудного вскармливания или смешанное • процент отклонения калорийности питания от нормы 50% и более

о необходимости лежать спокойно и расслабленно, дышать естественно, без форсирования дыхания.

Все стадии исследования соответствовали законодательству Российской Федерации, международным этическим нормам, одобрены этическим комитетом ФГБОУ ВО ВГМУ им. Н.Н. Бурденко Минздрава России (протокол № 4 от 25.09.2019 г.). От всех пациентов или их законных представителей было получено информированное согласие.

Для обработки экспериментальных данных применяли метод машинного обучения – искусственную нейронную сеть (ИНС) [21].

В качестве входных параметров использовали показатели, которые отражают наиболее значимые факторы риска развития ожирения у детей.

Стандартное отклонение индекса массы тела от нормы (SDS IMT) рассчитывали в программе, рекомендованной ВОЗ (WHO AnthroPlus) на основании значений длины, массы тела, возраста и пола пациентов. Согласно рекомендациям ВОЗ, избыток массы тела диагностировали при значениях SDS IMT от +1,0 до +2,0, ожирение – +2,0 и выше.

Учитывали пол детей (мальчики и девочки) и возраст пациентов. Из данных анамнеза получали сведения о наличии ожирения у одного или обоих родителей, массе тела при рождении и длительности грудного вскармливания (в месяцах). Процент отклонения жировой ткани от нормы для ребенка соответствующего возраста и пола получали из данных биоимпедансного анализа.

При расчете калорийности питания анализировали пищевые дневники, которые вели пациенты в течение трех дней, рассчитывали среднее количество калорий, потребляемое пациентом в течение суток. Среднюю норму потребления калорий в сутки для ребенка соответствующего возраста и пола вычисляли по формулам ВОЗ [22]. Определяли процент отклонения калорийности питания от нормы.

Используя балльную оценку факторов, присваивали полученным показателям от 0 до 4 баллов, где 0 – риск отсутствует, 4 – максимально высокий риск.

Результаты

На начальном этапе планирования эксперимента отбирались параметры, которые оказывают значимое влияние на степень риска развития ожирения у детей.

Входные параметры для обучения нейронной сети – стандартное отклонение индекса массы тела от нормы, пол, возраст, ожирение у родителей, отклонения жировой ткани от нормы (%), вес при рождении (г), длительность грудного вскармливания (количество месяцев), калорийность питания (% отклонения от нормы). Входные параметры кодировались, и им присваивались числовые значения (таблица 1).

Функцией отклика (выходным параметром) являлась степень риска развития ожирения у детей в баллах по шкале от 1 до 10.



Рисунок 1. Гистограмма зависимости остатков от числа наблюдений.

Figure 1. Histogram of the dependence of residuals on the number of observations.

Выходной параметр принимал значения от 7 до 10 баллов – если риск развития ожирения у детей высокий, 4–6 баллов – риск умеренный, до 4 баллов – минимальный. В таблице 2 приведена сравнительная характеристика критериев в зависимости от присвоенных баллов.

С целью прогнозирования степени риска развития ожирения у детей закодированные входные параметры были обработаны с использованием пакета прикладных программ Statistica Neural Networks и получены нейросетевые модели. В качестве стратегии построения моделей была выбрана автоматизированная нейронная сеть со следующими настройками: тип сети – многослойный персептрон, минимальное и максимальное количество скрытых нейронов – 4 и 12 соответственно.

После обучения выбрана нейронная сеть MLP-8-7-1 с высокими коэффициентами детерминации 0,999999; 0,999407; 0,984930 для обучающей, тестовой и контрольной выборки. Такие коэффициенты свидетельствуют о высокой производительности обученной сети. Ошибка обучения составила 0,000006, был выбран алгоритм обучения второго порядка точности – BFGS. Функция активации скрытых и выходных нейронов – тождественная.

Адекватность обученной нейронной сети проверяли графическим методом. Для этого строили гистограмму остатков, то есть разности введенных и полученных сетью значений степени риска развития ожирения у детей (рисунок 1).

Видно, что имеются выбросные элементы, то есть отклонения некоторых введенных значений степени риска развития ожирения у детей от значений обученной сети. Эти остатки составляют 1,5; 2,5; 3,5; 4,5; 6,5; 7,5. Основная масса сосредоточена в небольшом интервале остатков от 1,5 до 4,5.

При прогнозировании степени риска развития ожирения целесообразно учитывать граничные условия действия факторов. Для этого изучено попарное

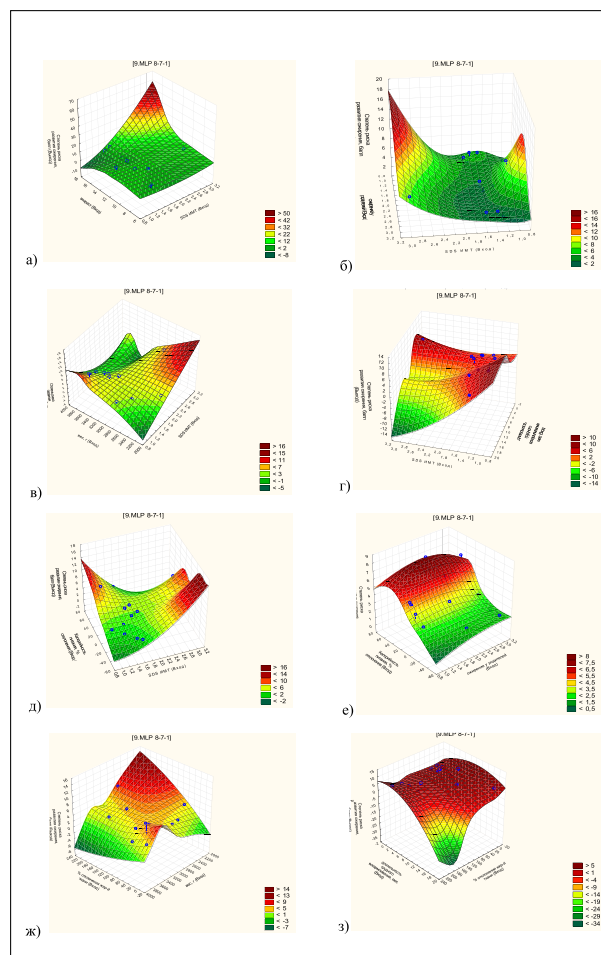


Рисунок 2. Поверхность отклика степени риска развития ожирения от попарного влияния факторов: а) SDS IMT и возраст, лет; б) SDS IMT и ожирение у родителей; в) SDS IMT и вес при рождении; г) SDS IMT и длительность грудного вскармливания, мес.; д) SDS IMT и калорийность питания, % отклонения; е) ожирение у родителей и калорийность питания, % отклонения; ж) % отклонения жировой ткани и вес; г) % отклонения жировой ткани и длительность грудного вскармливания, мес.

Figure 2. Response surface of obesity risk degree from the paired effect of the factors: а) BMI-SDS and age, years; б) BMI-SDS and parental obesity; в) BMI-SDS and birth weight; г) BMI-SDS and duration of breastfeeding, months; д) BMI-SDS and caloric intake, deviation percentage; е) parental obesity and caloric intake, deviation percentage; г) deviation percentage of fat tissue and weight, g; ж) deviation percentage of fat tissue and duration of breastfeeding, months.

влияние параметров на степень риска развития ожирения.

На рисунке 2 представлена поверхность отклика выходного параметра (степени риска развития ожирения) в зависимости от попарного влияния различных факторов.

Как видно из графиков, степень риска развития ожирения увеличивалась при возрастании стандартного отклонения индекса массы тела, возраста и наличия ожирения у обоих родителей (рисунки 2а, 2б).

Анализируя поверхность отклика (рисунок 2в), наблюдали неравномерность попарного влияния, даже при минимальном весе при рождении, но с IMT

Таблица 3/ Table 3

Тестовые значения
Test values

Входные параметры								Выходной параметр
Стандартное отклонение индекса массы тела от нормы	Пол	Возраст	Ожирение у родителей	% отклонения жировой ткани от нормы	Вес при рождении, г	Длительность грудного вскармливания, месяцев	Калорийность питания, % отклонения от нормы	Степень риска развития ожирения по шкале от 1 до 10
+1,52	1	17,5	2	39,40	3600	6	-43,8	2
+1,10	1	16,5	2	7,16	2200	6	-22,7	5
+1,70	1	14,4	1	172,60	3450	3	0,4	3
+1,0	2	12,3	1	23,90	2800	1,5	-18,4	3
+1,60	2	13,2	3	179,10	3100	1	73,5	3
+1,39	1	7,4	3	3,18	3750	18	-0,8	3
+1,60	1	13,5	2	70,60	3500	11	-6,0	4
+1,27	2	13,7	3	168,00	3450	6	-29,0	2
+1,10	2	12,5	2	25,70	3580	7,5	46,7	8
+3,00	1	10,5	3	230,10	2750	2,5	38,0	7
+2,43	2	9,3	1	98,40	2800	6	59,4	7
+2,53	1	12,5	1	207,00	3700	6	28,3	7
+3,04	1	12,2	1	242,00	3200	3	70,2	3
+1,50	2	11,2	1	49,80	3300	3	6,6	5

более 2,6 степень риска развития ожирения составляла свыше 11 баллов. При калорийности питания более 50% и ИМТ менее 1,6 степень риска развития ожирения возрастала (рисунки 2д).

Грудное вскармливание защищает детей от развития ожирения. Даже при высоком ИМТ степень риска развития ожирения получала оценку не более 10 баллов (рисунки 2г), а при значительном проценте отклонения жировой ткани не превышала 5 баллов (рисунки 2з).

Таблица 4 / Table 4

Предсказанные значения. Нейросеть: MLP 8-7-1 (тестовая выборка)
Predicted values. Neural network: MLP 8-7-1 (test set)

Степень риска развития ожирения, балл	Степень риска развития ожирения, балл – выход	Степень риска развития ожирения, балл – абс. ост.	Степень риска развития ожирения, балл – квадраты ост.
Целевая	1.MLP 8-7-1	1.MLP 8-7-1	1.MLP 8-7-1
2,000000	1,999918	0,000082	0,000000
5,000000	4,395151	0,604849	0,36584
3,000000	2,995177	0,004823	0,000002
3,000000	3,000657	0,000657	0,000000
3,000000	3,002012	0,002012	0,000000
3,000000	3,002460	0,002460	0,000001
4,000000	3,996290	0,003710	0,000001
2,000000	2,002471	0,002471	0,000001
8,000000	7,980806	0,019194	0,00037
7,000000	7,001200	0,001200	0,000000
7,000000	6,891739	0,108261	0,01172
7,000000	6,761591	0,238409	0,05684
3,000000	2,956803	0,043197	0,00187
5,000000	5,000347	0,000347	0,000000

По данным поверхности отклика (рисунки 2е) установлено, что ожирение у родителей незначительно влияло на степень риска развития ожирения у детей, и при калорийности питания свыше 50% данный показатель не превышал значение в 8 баллов.

Имея вес при рождении менее 3000 г и отклонение жировой ткани от нормы свыше 120%, степень риска развития ожирения составляла не более 9 баллов (рисунки 2ж).

Анализировали тестовые данные (14 значений), которые не использовали для обучения нейронной сети (таблица 3).

После анализа запустили модель по новым введенным данным. Сгенерировали аналогичную выборку, загрузили сохраненную модель с идентификатором сети MLP 8-7-1, которая ранее была выбрана как лучшая. Небольшое значение среднеквадратичной ошибки свидетельствовало о хорошем качестве построенной модели на введенных новых данных (таблица 4).

В таблице 4 в первом столбце представлены оценки степени риска развития ожирения, полученные в ходе обследования врачом-эндокринологом, во втором – предсказанные нейронной сетью MLP 8-7-1 значения выходного параметра. При сравнении этих данных рассчитаны значения абсолютного отклонения, которые по всей выборке не превышали 0,604849 (третий столбец). Также получены значения относительного отклонения. Сумма квадратов остатков (остаточная сумма квадратов) минимальна и колебалась в диапазоне от 0 до 0,36584. Вероятность точного прогнозирования – 99,8%.

Обсуждение

Полученные результаты свидетельствуют о высокой точности прогнозирования степени развития ожирения у детей.

Похожие научные работы крайне малочисленны. Результаты исследований, проведенных по всему миру, доказывают, что отложение жира и скорость этого процесса зависят от влияния множества разнонаправленных факторов, взаимодействующих друг с другом, основным из которых является наследственный (генетический и эпигенетический).

Авторы предлагают способ прогнозирования риска развития ожирения в детском возрасте, основанный на расчете по приведенной формуле [23]. Но данные о происхождении уравнения, статистической обработке, достоверности полученных результатов отсутствуют. Не приведена точность прогнозирования, хотя в качестве факторов риска использованы 6 параметров.

Есть исследования, в которых предлагается многомерная математическая модель для прогнозирования ожирения у детей школьного возраста, в которой используются следующие показатели: физическая активность, частота перекусов между приемами пищи, индекс массы тела матери и продолжительность грудного вскармливания [24]. Незначительное количество параметров и несерьезный характер некоторых из них, на наш взгляд, не позволяют достичь высокой точности прогнозирования – 80%.

В основе работ по прогнозированию риска развития ожирения у детей лежат генетические исследования [25–27]. Они более точны (95% и выше), но трудоемки, продолжительны и основаны на дорогостоящих лабораторных анализах (в некоторых случаях требуется до 15 исследований).

Интересным представляется возможность прогнозирования ожирения исходя из типа жировой ткани. Например, предлагается выявить соотношение белой, бурой и бежевой жировых тканей и по ним установить предрасположенность к набору веса. Показано, что активность бурого жира сильно снижена у людей, страдающих ожирением, и обратно пропорциональна весу тела, ИМТ, жировой массе, уровню подкожного и висцерального жираотложения [28]. К сожалению, исследования, связанные с отбором образцов жировой ткани, достаточно сложные, анализ занимает несколько недель.

Также представлены результаты анализа клинико-генеалогических, синдромологических и некоторых патогенетически значимых биохимических параметров (определение характера гликемических кривых на фоне стандартного глюкозотолерантного теста, оценка динамики уровней в крови лактата и пирувата, динамика концентраций в крови у испытуемых свободных форм жирных кислот), характеризующих конституционально-экзогенное ожирение у детей. Анализ полученных данных позволил диагностировать патологию у ребенка на самом

начальном ее этапе, еще до полного развертывания синдрома комплекса болезни [29]. Основной недостаток предлагаемого способа – длительность подготовительного периода, связанного с установлением некоторых параметров, используемых в прогнозировании, в динамике.

По сравнению с известными способами разработанная нами методика позволяет быстро, с высокой точностью и минимальными затратами прогнозировать риск развития ожирения у детей с применением искусственного интеллекта.

Выводы

С высокой вероятностью обученная нейронная сеть может быть применена для прогнозирования степени риска развития ожирения у детей разного возраста, что позволит своевременно начать профилактические мероприятия.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Литература / References

1. Peterkova VA, Bezlepina OB, Bolotova NV, et al. Clinical guidelines "Obesity in children". *Problems of Endocrinology*. 2021;67(5):67-83. (In Russ.). [Петеркова В.А., Безлепкина О.Б., Болотова Н.В., и др. Клинические рекомендации «Ожирение у детей». *Проблемы эндокринологии*. 2021;67(5):67-83]. doi: 10.14341/probl12802
2. Adiyeva MK, Aukenov NE, Kazymov MS. Prevalence and risk factors of obesity among adolescents. *Science & Healthcare*. 2021;1(23):21-29. (In Russ.). [Адиева М.К., Аукинов Н.Е., Казымов М.С. Распространенность и факторы риска ожирения среди подростков. *Наука и здравоохранение*. 2021;1(23):21-29]. doi: 10.34689/SH.2021.23.1.003
3. Dakhilgova KhT. Childhood obesity: the current state of the problem. *Pediatric Nutrition*. 2019;17(5):47-53. (In Russ.). [Дахкильгова Х.Т. Детское ожирение: современное состояние проблемы. *Вопросы детской диетологии*. 2019;17(5):47-53]. doi: 10.20953/1727-5784-2019-5-47-53
4. United Nations Children's Fund (UNICEF), World Health Organization, International Bank for Reconstruction and Development/The World Bank. Levels and trends in child malnutrition: Key Findings of the 2020 Edition of the Joint Child Malnutrition Estimates. Geneva: World Health Organization; 2020. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
5. Posokhova NV, Bolotova NV. Obesity as a forming factor of arterial hypertension in children and adolescents. *Pediatrics named after G.N. Speransky*. 2015;94(5):127-131. (In Russ.). [Посохова Н.В., Болотова Н.В. Ожирение как фактор формирования артериальной гипертензии у детей и подростков. *Педиатрия. Журнал им. Г.Н. Сперанского*. 2015;94(5):127-131].
6. Bokova TA. Lipid profile of obese children with metabolic syndrome. *Experimental and Clinical Gastroenterology*. 2021;1(1):75-81. (In Russ.). [Бокова Т.А. Липидный профиль детей с ожирением и метаболическим синдромом. *Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология*. 2021;1(1):75-81]. doi: 10.31146/1682-8658-ecg-185-1-75-81
7. Kostrova GN, Malyavskaya SI, Lebedev AV. Vitamin D deficiency and carbohydrate metabolism in obese children and adolescents. *Problems of Nutrition*. 2021;90(1):57-64. (In Russ.). [Кострова Г.Н., Малавская С.И., Лебедев А.В. Недостаточность витамина D и параметры углеводного обмена у детей и подростков с ожирением. *Вопросы*

- питания. 2021;90(1):57-64]. doi: 10.33029/0042-8833-2021-90-1-57-64
8. Ding W, Cheung WW, Mak RH. Impact of obesity on kidney function and blood pressure in children. *World J Nephrol.* 2015;4(2):223-229. doi: 10.5527/wjn.v4.i2.223
 9. Kelishadi R, Roufarshabaf M, Soheili S, et al. Association of Childhood Obesity and the Immune System: A Systematic Review of Reviews. *Child Obes.* 2017;13(4):332-346. doi: 10.1089/chi.2016.0176
 10. Razina AO, Runenko SD, Achkasov EE. Obesity: Current Global and Russian Trends. *Annals of the Russian Academy of Medical Sciences.* 2016;71(2):154-159. (In Russ.). [Разина А.О., Руненко С.Д., Ачкасов Е.Е. Проблема ожирения: современные тенденции в России и в мире. *Вестник РАМН.* 2016;71(2):154-159]. doi: 10.15690/vramn655
 11. Inchley J, Currie D, Budisavljevic S, et al. *Spotlight on adolescent health and well-being. Findings from the 2017/2018 Health Behaviour in School-aged Children (HBSC) survey in Europe and Canada. International report. Volume 1. Key findings.* Copenhagen: WHO Regional Office for Europe; 2020. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
 12. Kon IYa, Volkova LYu, Korosteleva MM, et al. Incidence of obesity in children of preschool and school age in the Russian Federation. *Voprosy detskoy dietologii.* 2011;9(4):5-8. (In Russ.). [Конь И.Я., Волкова Л.Ю., Коростелева М.М., и др. Распространенность ожирения у детей дошкольного и школьного возраста в Российской Федерации. *Вопросы детской диетологии.* 2011;9(4):5-8]. doi: 10.20953/1727-5784-2011-4-5-8
 13. Weihrach-Blüher S, Wiegand S. Risk Factors and Implications of Childhood Obesity. *Curr Obes Rep.* 2018;7:254-259. doi: 10.1007/s13679-018-0320-0
 14. Martínez-Villanueva J, González-Leal R, Argente J, Martos-Moreno GÁ. Parental obesity is associated with the severity of childhood obesity and its comorbidities. *An Pediatr.* 2019;90(4):224-231. doi: 10.1016/j.anpedi.2018.06.013
 15. Zou Z, Yang Z, Yang Z, et al. Association of high birth weight with overweight and obesity in Chinese students aged 6-18 years: a national, cross-sectional study in China. *BMJ Open.* 2019;9:e024532. doi: 10.1136/bmjopen-2018-024532
 16. Rito AI, Buoncristiano M, Spinelli A, et al. Association between Characteristics at Birth, Breastfeeding and Obesity in 22 Countries: The WHO European Childhood Obesity Surveillance Initiative – COSI 2015/2017. *Obes Facts.* 2019;12:226-243. doi: 10.1159/000500425
 17. Lee JW, Lee M, Lee J, et al. The Protective Effect of Exclusive Breastfeeding on Overweight/Obesity in Children with High Birth Weight. *J Korean Med Sci.* 2019;34(10):e85. doi: 10.3346/jkms.2019.34.e85
 18. Wallby T, Lagerberg D, Magnusson M. Relationship Between Breastfeeding and Early Childhood Obesity: Results of a Prospective Longitudinal Study from Birth to 4 Years. *Breastfeed Med.* 2017;12:48-53. doi: 10.1089/bfm.2016.0124
 19. Arenz S, Rückerl R, Koletzko B. Breast-feeding and childhood obesity – a systematic review. *Int J Obes.* 2004; 28:1247-1256. doi: 10.1038/sj.ijo.0802758
 20. Brenner BM, Chertow GM. Congenital oligonephropathy: an inborn cause of adult hypertension and progressive renal injury? *Curr Opin Nephrol Hypertens.* 1993;2(5):691-5. PMID: 7922212
 21. Yacim JA, Boshoff DGB. Impact of Artificial Neural Networks Training Algorithms on Accurate Prediction of Property Values. *Journal of Real Estate Research.* 2018;40(3):375-418. doi: 10.1080/10835547.2018.12091505
 22. Energy and protein requirements. Report of a joint FAO/WHO/UNU Expert Consultation. *World Health Organ Tech Rep Ser.* 1985;724:1-206. PMID: 3937340
 23. Kovtun OP, Ustyuzhanina MA. *A method for predicting the risk of developing obesity in childhood.* 2019. Patent RU 2696446 C1. (In Russ.). [Ковтун О.П., Устюжанина М.А. Способ прогнозирования риска развития ожирения в детском возрасте. 2019. Патент RU 2696446 C1].
 24. Anufriyeva EV, Shershnev VN, Kovtun OP. Classification trees for predicting obesity in school-aged children. *Profilakticheskaya medicina.* 2021;24(7):30-36. (In Russ.). [Ануфриева Е.В., Шершнева В.Н., Ковтун О.П. Деревья классификации как метод прогнозирования ожирения у детей школьного возраста. *Профилактическая медицина.* 2021;24(7):30-36]. doi: 10.17116/profmed20212407130
 25. Walley AJ, Blakemore AIF, Froguel Ph. Genetics of obesity and the prediction of risk for health. *Human molecular genetics.* 15. 2006;2:124-130. doi: 10.1093/hmg/ddl215
 26. Simmonds M, Burch J, Llewellyn A, et al. The use of measures of obesity in childhood for predicting obesity and the development of obesity-related diseases in adulthood: a systematic review and meta-analysis. *Health technology assessment.* 2015;19(43):1-336. doi: 10.3310/hta19430
 27. Seral-Cortes M, Sabroso-Lasa S, Miguel-Etayo D, et al. Development of a Genetic Risk Score to predict the risk of overweight and obesity in European adolescents from the HELENA study. *Scientific reports.* 2021;11(1):1-11. doi: 10.1038/s41598-021-82712-4
 28. Saito M, Okamatsu-Ogura Y, Matsushita M, et al. High incidence of metabolically active brown adipose tissue in healthy adult humans: effects of cold exposure and adiposity. *Diabetes.* 2009;58(7):1526-1531. doi: 10.2337/db09-0530
 29. Kartelishev AV. Issues of early diagnosis of children's predisposition to constitutional-exogenous obesity. *Pediatrics named after G.N. Speransky.* 2006;85(4):7-10. (In Russ.). [Картелишев А.В. Вопросы ранней диагностики предрасположенности детей к конституционально-экзогенному ожирению. *Педиатрия. Журнал им. Г.Н. Сперанского.* 2006; 85(4):7-10].

Список сокращений

ИНС – искусственная нейронная сеть; ИМТ – индекс массы тела.

■ Автор для переписки

Нифталиев Кенан Сабухиевич
Адрес: Воронежская детская клиническая больница,
пер. Здоровья, 16, г. Воронеж, Россия, 394024.

■ Corresponding Author

Kenan S. Niftaliev
Address: Voronezh Children's Clinical Hospital, 16 Zdorovya lane,
Voronezh, Russia, 394024.

E-mail: niftaliev.s@yandex.ru