

Использование искусственного интеллекта для диагностики заболеваний и прогнозирования их исходов у новорожденных

Н.В. Харламова, И.Ф. Ясинский, М.А. Ананьева, Н.А. Шилова, С.Б. Назаров, Е.А. Матвеева, А.В. Будалова, Ю.А. Иваненкова

ФГБУ «Ивановский научно-исследовательский институт материнства и детства им. В.Н. Городкова»
Минздрав России, Иваново, Россия

The use of artificial intelligence to diagnose diseases and predict their outcomes in newborns

N.V. Kharlamova, I.F. Yasinsky, M.A. Ananyeva, N.A. Shilova, S.B. Nazarov, E.A. Matveeva, A.V. Budalova, Yu.A. Ivanenkova

Gorodkov Ivanovo Research Institute of Maternity and Childhood, Ivanovo, Russia

В последние годы в клиническую практику успешно внедряются современные модели искусственного интеллекта, в том числе нейронных сетей, что обусловлено высокой точностью функционирования и перспективностью их использования для диагностики и прогнозирования различных заболеваний.

Цель исследования. Совершенствование процессов диагностики заболеваний и прогнозирования их исходов у новорожденных с помощью нейросетевых технологий.

Материалы и методы. Исследование основано на статистически достоверном сборе данных анамнеза пациентов, математическом анализе, теории нечеткой логики и нейросетевых систем.

Результаты. Разработаны нейросетевые программы для прогнозирования течения постгипоксических нарушений сердечно-сосудистой системы у новорожденных детей; определения вероятности возникновения у новорожденных таких тяжелых заболеваний, как церебральная лейкомаляция, внутримозговые кровоизлияния, гидроцефалия, некротизирующий энтероколит, бронхолегочная дисплазия, ретинопатия недоношенных, ранняя анемия недоношенных и их исходов; для прогнозирования физического и нервно-психического развития ребенка к возрасту одного года; для прогнозирования неблагоприятного исхода (смерть или формирование инвалидности со стойким нарушением здоровья) у детей, родившихся ранее 32 нед. Заключение. Разработанные искусственные нейросетевые программы могут быть использованы для персонализации лечебно-диагностического процесса и выхаживания новорожденных, в том числе глубоконедоношенных.

Ключевые слова: новорожденные, искусственная нейронная сеть, состояние здоровья, глубоконедоношенные, диагностика, прогнозирование.

Для цитирования: Харламова Н.В., Ясинский И.Ф., Ананьева М.А., Шилова Н.А., Назаров С.Б., Матвеева Е.А., Будалова А.В., Иваненкова Ю.А. Использование искусственного интеллекта для диагностики заболеваний и прогнозирования их исходов у новорожденных. Рос вестн перинатол и педиатр 2023; 68:(4): 108–XX. DOI: 10.21508/1027-4065-2023-68-4-108-XX

In recent years, modern models of artificial intelligence, including neural networks, have been successfully introduced into clinical practice, due to the high accuracy of functioning and the prospects of their use for the diagnosis and prediction of various diseases. Purpose. To improve the processes of predicting and diagnosing diseases and their outcomes in newborns using neural network intelligent technologies.

Material and methods. The study is based on statistically reliable collection of patient history data, mathematical analysis, fuzzy logic theory and principles of trainable neural network systems.

Results. Neural network programs have been developed to predict the course of posthypoxic disorders of the cardiovascular system in newborns; to determine the probability of occurrence and outcomes in newborns of such significant diseases as cerebral leukomalacia, intracranial hemorrhages, hydrocephalus, necrotizing enterocolitis, bronchopulmonary dysplasia, retinopathy of prematurity, early anemia of prematurity; to predict the physical and neuropsychiatric development of a child to age of one year; and also to predict an unfavorable outcome (death or disability with persistent health problems) of children born earlier than 32 weeks of gestation.

Conclusion. The developed artificial neural network programs can be used for personification of the therapeutic and diagnostic process and nursing of newborns, including very preterm ones.

Key words: newborns, artificial neural network, health status, very preterm, diagnosis, prognosis.

For citation: Kharlamova N.V., Yasinsky I.F., Ananyeva M.A., Shilova N.A., Nazarov S.B., Matveeva E.A., Budalova A.V., Ivanenkova Yu.A. The use of artificial intelligence to diagnose diseases and predict their outcomes in newborns. Ros Vestn Perinatol i PEDIATR 2023; 68:(4): 108–XX (in Russ). DOI: 10.21508/1027-4065-2023-68-4-108-XX

В последние годы набирает особую популярность внедрение искусственных нейронных сетей в клиническую медицинскую практику, что обусловлено высокой точностью функционирования современных нейросетевых моделей и перспективностью их использования в различных областях медицины для диагностики и прогнозирования заболеваний

[1–5]. В основе организации искусственных нейронных сетей лежит принцип работы биологических нейронных сетей: в искусственные нейроны поступают сигналы, которые суммируются, обобщаются, преобразуются и в дальнейшем выдают полученный результат. В зависимости от количества нейронов искусственные сети можно разделить на одно-

слойные, используемые для выполнения простых команд, и многослойные, обладающие значительно большей вычислительной способностью. Именно на основе многослойных искусственных нейронных сетей создаются различные автоматизированные системы диагностики и прогнозирования, системы автоматической классификации, анализа и сверки информации [4].

Преимущества использования искусственных нейронных сетей обусловлены их способностью к обучению и восприятию после обучения только необходимой и важной информации, способностью к фильтрации посторонних шумов, возможностью анализировать несколько параметров одновременно и работать с большим объемом данных. Кроме того, во время выполнения работы искусственная нейронная сеть находится в состоянии самообучения, что лежит в основе ее адаптации. В приложении к медицинской практике применение искусственных нейронных сетей позволяет значительно повысить специфичность метода, не снижая его чувствительность [1, 5, 6]. Таким образом, активное внедрение в клиническую медицинскую практику искусствен-

ных нейронных сетей способствует повышению точности диагностики заболеваний и прогноза, оказывает значительную дополнительную помощь в принятии врачебных решений.

В настоящее время в литературе имеется большое количество публикаций по использованию нейросетевых технологий в различных отраслях медицины: кардиологии, онкологии, пульмонологии, перинатологии, неврологии [7–15]. В педиатрии применение искусственных нейронных сетей не так обширно, как в других областях медицины. Тем не менее в доступной литературе имеются работы, показывающие высокую точность диагностики и прогнозирования определенных заболеваний детского возраста. Так, О.В. Алексеевой и соавт. [16] разработана программа нейросетевого анализа для дифференциальной диагностики рецидивирующей бронхолегочной патологии у детей. Тестирование разработанных авторами искусственных нейронных сетей показало их высокую точность. Диагностическая и прогностическая способность программы составили 95 и 92% соответственно.

Н.С. Резниченко и соавт. [17] использовали искусственные нейронные сети с целью диагностики синдрома дефицита внимания с гиперактивностью, при этом точность прогноза составила 89%. Е.В. Славутская и соавт. [18] использовали искусственные нейронные сети для селективной оценки гендерных различий в эмоционально-волевой и интеллектуальной сферах детей в возрасте 10–11 лет. Авторы исследования использовали двухслойную сеть с прямой передачей сигнала и обратным распространением ошибки. Полученные результаты показали высокую эффективность применения нейронной сети, поскольку такой подход достаточно точно выделяет наиболее значимые психологические признаки, определяющие половые различия обследуемых детей.

Использование искусственных нейронных сетей в области неонатологии очень ограничено, что, несомненно, делает актуальным разработку и практическое внедрение данных технологий в этот раздел педиатрии.

Цель исследования: совершенствование процессов диагностики заболеваний и прогнозирования их исходов у новорожденных с помощью нейросетевых технологий.

Методология работы

Исследование основано на статистически достоверном сборе данных анамнеза пациентов, математическом анализе, теории нечеткой логики и принципах обучаемых нейросетевых систем. Необходимость применения интеллектуальных решений при информационном анализе обосновывается выраженным эмпирическим характером медицинской диагностики, а также нечетким установлением причинно-следственных связей между факторами, влияю-

© Коллектив авторов, 2023

Адрес для корреспонденции: Шилова Наталья Александровна — к.м.н., доц., ст. науч. сотр. отдела неонатологии и клинической неврологии детского возраста, доцент кафедры акушерства и гинекологии, неонатологии, анестезиологии и реаниматологии Ивановского научно-исследовательского института материнства и детства им. В.Н. Городкова, ORCID: 0000–0001–9623–2575
e-mail: shilova37@gmail.com

Харламова Наталья Валерьевна — д.м.н., доц., зав. отделом неонатологии и клинической неврологии детского возраста, проф. кафедры акушерства и гинекологии, неонатологии, анестезиологии и реаниматологии Ивановского научно-исследовательского института материнства и детства им. В.Н. Городкова, ORCID: 0000–0003–2867–1693

Ясинский Игорь Федорович — к.т.н., мл. науч. сотр. отдела неонатологии и клинической неврологии детского возраста Ивановского научно-исследовательского института материнства и детства им. В.Н. Городкова, ORCID: 0000–0002–3551–5923

Ананьева Мария Александровна — к.м.н., науч. сотр. отдела неонатологии и клинической неврологии детского возраста Ивановского научно-исследовательского института материнства и детства им. В.Н. Городкова, ORCID: 0000–0002–8854–2642.

Назаров Сергей Борисович — д.м.н., проф., зам. дир. по научной работе, зав. лабораторией клинической биохимии и генетики Ивановского научно-исследовательского института материнства и детства им. В.Н. Городкова, ORCID: 0000–0003–1545–7655

Матвеева Екатерина Александровна — к.м.н., ученый секретарь, врач-педиатр кабинета катамнеза Ивановского научно-исследовательского института материнства и детства им. В.Н. Городкова, ORCID: 0000–0002–2366–610X

Будалова Анастасия Владимировна — врач анестезиолог-реаниматолог отделения реанимации и интенсивной терапии новорожденных, асс. кафедры акушерства и гинекологии, неонатологии, анестезиологии и реаниматологии. Ивановского научно-исследовательского института материнства и детства им. В.Н. Городкова, ORCID: 0000–0003–0499–9440

Иваненкова Юлия Андреевна — к.м.н., мл. науч. сотр. отдела неонатологии и клинической неврологии детского возраста Ивановского научно-исследовательского института материнства и детства им. В.Н. Городкова, ORCID: 0000–0001–6504–2664

153045 Иваново, ул. Победы, д. 20

щими на формирование точного прогноза развития болезни. Важным инструментом выполненных проектов служит технология сжатия данных с помощью нейросетевого автоэнкодера, позволяющая заменить вычислительно сложный метод главных компонент для выделения существенных информационных факторов анамнеза.

Первостепенное значение в работе имеет теория оптимизации функций. Задача обучения нейронной сети представляет собой процедуру поиска оптимального вектора весов нейронных связей. Чаще всего для этого используются различные версии алгоритма обратного распространения ошибки, являющегося реализацией метода градиента применительно к нейронным сетям. Серьезным недостатком градиентного способа, как известно, служит его неспособность выбираться из локальных экстремумов целевой функции. При этом рассмотрение многомерных пространств, образуемых параметрами медицинских задач, свидетельствует о значительном количестве таких локальных «ловушек». Эффективными способами преодоления возникающих препятствий признаны специализированные методы, а именно разработанный автором комбинированный метод глобальной оптимизации.

Результаты и обсуждение

В отделе неонатологии и клинической неврологии детского возраста Ивановского научно-исследовательского института материнства и детства им. В.Н. Городкова разработано несколько нейросетевых моделей для диагностики различных заболеваний и прогнозирования их исходов у новорожденных.

В 2009 г. разработана первая технология для прогнозирования течения постгипоксических нарушений сердечно-сосудистой системы у новорожденных детей. Важный метод диагностики сердечно-сосудистых нарушений — оценка вариабельности ритма сердца. Метод основан на математическом анализе различных регистрируемых вариантов изменений ритма сердца. Частота ритма — чувствительный маркер состояния вегетативного равновесия, который быстро изменяется при адаптации новорожденного ко внеутробной жизни, физиологических нагрузках или патологических состояниях. Новорожденным с клиническими проявлениями нарушений сердечно-сосудистой системы на 3–4-е сутки жизни проводили электро- и эхокардиографическое исследование. Электрокардиограмму регистрировали на протяжении 5 мин во II стандартном отведении с последующей оценкой вариабельности ритма сердца. В динамике первого года жизни (в возрасте 6 мес и 1 года) на базе консультативно-диагностической поликлиники этим детям выполняли контрольные электрокардиографию и эхокардиографию. Конечными точками были восстановление функции сердечно-сосудистой

системы либо сохранение постгипоксических нарушений, в том числе нарушения реполяризации миокарда левого желудочка [19].

С целью выявления патологии сердечно-сосудистой системы были созданы две специализированные трехслойные нейронные сети (рис. 1). Для обучения и тестирования интеллектуальной нейронной сети оценивали вариабельность ритма сердца у 50 новорожденных детей. В последующем записи (в виде последовательности интервалов RR) доставляли для анализа на входной слой сети (в виде компьютерной программы). Выходной слой содержит один нейрон, который определяет, принадлежит пациент группе с данным типом расстройства или не принадлежит.

Обучение искусственных нейронных сетей состоит в нахождении оптимальных весовых коэффициентов связей между нейронами, погрешность ответа сети при которых стремится к нулю [12]. Обучение нейронной сети проводили комбинированным методом глобальной оптимизации, который включает генетический поиск с использованием каст, инерционную минимизацию, градиентный спуск, случайный поиск с памятью и улучшенный случайный поиск. Точность распознавания нарушений ST–T и других сохраняющихся к году жизни нарушений сердечно-сосудистой системы при использовании данного метода обучения искусственных нейронных сетей составила 91 и 82% соответственно.

В 2018 г. была разработана новая «Нейросетевая программная система прогнозирования состояния новорожденных» — Neuro_prognosis. Эта искусственная нейронная сеть функционирует по тому же принципу: после этапа обучения на основе извлеченной из базы данных заданной необходимой информации нейронная сеть определяет вероятность возникновения у новорожденных определенных групп заболеваний, а также прогнозирует исход этих заболеваний. Информация, подающаяся на вход нейронной сети, разделена на 3 блока: 1) состояние здоровья матери (анамнез жизни, течение беременности, родов) — 30 показателей; 2) состояние здоровья новорожденного ребенка — 15 показателей; 3) социально-бытовые

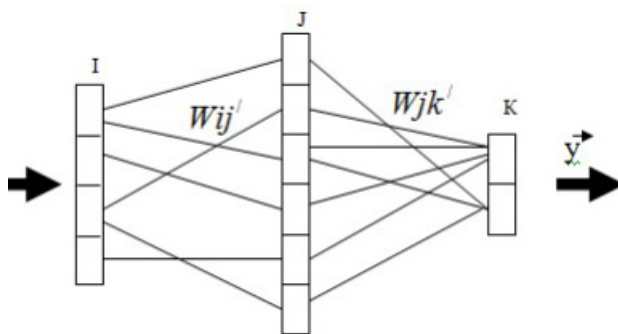


Рис. 1. Схема нейронной сети.

Fig. 1. Schematic representation of a neural network.

условия семьи — 5 показателей. На основе глубокого математического анализа введенных данных в специальных полях интерфейсной формы программы искусственная нейронная сеть оценивает вероятность развития у новорожденных таких тяжелых заболеваний, как церебральная лейкомаляция, внутричерепные кровоизлияния, гидроцефалия, некротизирующий энтероколит, бронхолегочная дисплазия, ретинопатия недоношенных. Эта программа позволяет также прогнозировать исход заболеваний (частичное или полное выздоровление или смерть). В зависимости от качества обучения соответствующих нейросетей точность распознавания заболеваний находится в диапазоне от 90 до 97% точных ответов.

В 2020 г. была разработана программа «Прогнозирование отклонений физического и нервно-психического развития глубоконедоношенных детей» (Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020619257). Эта искусственная нейронная сеть осуществляет анализ данных о новорожденном с целью формирования прогноза о состоянии здоровья ребенка к году жизни. Первый этап программы включает обучение весовых коэффициентов нейронной сети методом глобальной оптимизации и обратного распространения ошибки с использованием предварительно подготовленных образов пациентов. На втором этапе (рабочий режим программы) выполняется непосредственно прогноз состояния здоровья новорожденного. Входные данные, которые вводятся для анализа в специальных полях программы, включают массу тела, гестационный возраст, оценку по шкале Апгар, вид респираторной терапии, а также исследование вариабельности ритма сердца. Результат анализа выводится в виде заключения о задержке или нормальном физическом и нервно-психическом развитии (рис. 2). При заложенной максимальной погрешности реакции сигмоидальной функции 0,01 и 5000 эпох обучения удалось добиться точности прогнозирования на уровне 95,8%. При высокой вероятности задержки нервно-психического развития осуществляется указание характера отклонения — речевого или моторного. Архитектурно система является программной реализацией обученной искусственной нейронной сети со скрытыми слоями, осуществляющими прямое распространение и обработку входных сигналов.

В 2021 г. разработана автоматизированная интеллектуальная программа для прогнозирования неблагоприятного исхода у глубоконедоношенных детей, родившихся до 32-й недели гестации (Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2021663180). После предварительного обучения искусственной нейронной сети на заданном количестве образов в интерфейсной форме рабочего режима программы в специальных полях вводится информация о пациенте, которая включает клинико-анамнестические данные: наличие врожден-

ной пневмонии, срок гестации, наличие длительного безводного периода, оценка по шкале Апгар в конце 1-й и 5-й минут жизни, оценка тяжести дыхательных нарушений по шкале Сильверман, параметры физического развития при рождении, длительность искусственной вентиляции легких (ИВЛ), наличие гемодинамически значимого функционирующего артериального протока. После заполнения всех полей запускается рабочий режим программы и выдается оценка риска неблагоприятного исхода у глубоко-недоношенных новорожденных (летальный исход или формирование инвалидности со стойким нарушением здоровья). При получении оценки менее 0,5 прогнозируется низкий риск наступления неблагоприятного исхода, при этом точность результата выше, если оценка ближе к 0. При получении оценки более 0,5 прогнозируется высокий риск неблагоприятного исхода, при этом точность результата выше, если оценка ближе к 1 (рис. 3). Двадцать тысяч итераций обучения в выборке 138 случаев позволили получить распознаваемость в 86,3%.

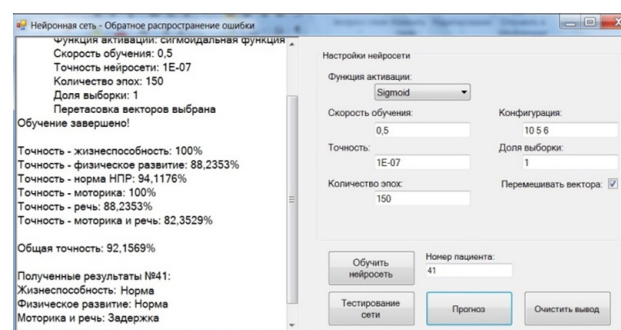


Рис. 2. Электронный вид нейросетевой программы по прогнозированию развития детей, родившихся глубоконедоношенными, в возрасте 1 года.

Fig. 2. Electronic form of a neural network program for predicting the development of children born preterm at the age of 1 year.

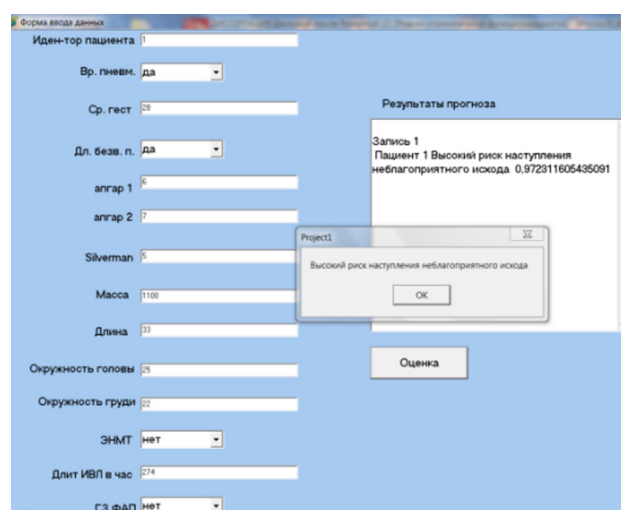


Рис. 3. Пример оценки риска (высокий риск) развития неблагоприятного исхода.

Fig. 3. An example of risk assessment (high risk) of the development of an unfavorable outcome in deeply premature newborns.

В 2021 г. также была разработана и внедрена в клиническую практику нейросетевая программа «Прогнозирование развития внутрижелудочковых кровоизлияний у глубококондоношенных детей» (Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2021614986). Данная искусственная нейронная сеть осуществляет глубокий математический анализ входных данных о состоянии глубококондоношенного новорожденного при рождении и в течение первых суток жизни с целью формирования прогноза развития внутрижелудочковых кровоизлияний в раннем неонатальном периоде. Данная компьютерная программа также проходит 2 этапа работы: предварительное обучение искусственной нейронной сети на заданном количестве случаев и выполнение анализа с формированием заключения о вероятности развития внутрижелудочкового кровоизлияния после ввода необходимых данных у конкретного пациента. Входные клинические данные включают оценку по шкале Апгар в конце 5-й минуты жизни, гестационный возраст, длительность первичной реанимации в родильном зале, концентрацию нейромодулина (GAP-43, нг/мл) в крови и показатели амплитудно-интегрированной электроэнцефалографии в первые 7 дней жизни. Если определяется высокая вероятность развития внутрижелудочкового кровоизлияния, то программа указывает на наиболее вероятную степень тяжести кровоизлияния (I, II или III–IV; рис. 4). Наличие внутрижелудочкового кровоизлияния распознается с достоверностью 92,5%, а степень его тяжести — 76,9%.

Вслед за этой разработкой в 2022 г. создана программа для ЭВМ «Прогнозирование риска развития тяжелых внутрижелудочковых кровоизлияний у глубококондоношенных новорожденных (нейронная сеть)» преимущественно с учетом качественных параметров тромбоцитов крови (Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2022664020). Принцип работы этой искусственной нейронной сети аналогичен принципу предыдущей разработки. Показатели, которые вводятся перед анализом, включают срок гестации, наличие родовой кровопотери при преждевременной отслойке нормально расположенной плаценты, предлежание плаценты, массу и длину тела при рождении, оценку по шкале Апгар на 1-й и 5-й минутах жизни, факт проведения ИВЛ в родильном зале и концентрацию кислорода при ее проведении, а также количество лейкоцитов в крови в 1-е сутки жизни, концентрацию С-реактивного белка в крови в 1-е сутки жизни, количество больших форм тромбоцитов (Large Plt, 10^3 cells), количество тромбоцитов в крови (PLT, 10^3 cells) в 1–3-и сутки, среднюю концентрацию компонентов тромбоцитов (MPC, g/dl), ширину распределения тромбоцитов по объему (PDW, %). Прогноз формируется с точностью 98% (рис. 5).

В 2022 г. также разработана и зарегистрирована программа для ЭВМ «Прогнозирование развития ран-

Рис. 4. Процедура анализа по прогнозированию риска развития внутрижелудочкового кровоизлияния у глубококондоношенных новорожденных (второй этап работы искусственной нейронной сети).

Fig. 4. The procedure for performing an analysis to predict the risk of intraventricular hemorrhage in deeply premature newborns (Stage 2 of the artificial neural network).

Рис. 5. Ввод данных и выполнение анализа по прогнозированию риска развития тяжелых внутрижелудочковых кровоизлияний у глубококондоношенных новорожденных.

Fig. 5. Data entry and analysis for predicting the risk of severe intraventricular hemorrhages in deeply premature newborns.

Рис. 6. Ввод данных и выполнение анализа по прогнозированию риска развития ранней анемии у глубококондоношенных детей.

Fig. 6. Data entry and analysis for predicting the risk of early anemia in preterm infants.

ней анемии у глубоконедоношенных детей (нейронная сеть)» (Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2022614345). После предварительного обучения искусственной нейронной сети (первый этап работы) в специально заданных полях на интерфейсной форме программы вводятся данные о пациенте: гестационный возраст, оценка по шкале Апгар на 1-й и 5-й минутах жизни, окружность груди и головы, наличие дыхательной недостаточности и ряд лабораторных показателей (уровень гемоглобина на 3–5-е сутки, уровень белка-3, связывающего инсулиноподобный фактор роста, на 3–5-е сутки, растворимый рецептор трансферина на 3–5-е сутки). При переходе в рабочий режим (второй этап работы) в результате обработки полученной информации про-

грамма выдает заключение о вероятности развития ранней анемии у глубоконедоношенных новорожденных в раннем неонатальном периоде (рис. 6). Прогнозирование ранней анемии недоношенных нейросетевым способом показывает точность 71,7%.

Заключение

Таким образом, разработанные группой наших сотрудников нейросетевые программы имеют важное значение для прогнозирования нарушений состояния здоровья новорожденных детей, в том числе родившихся с экстремально низкой и очень низкой массой тела, что имеет большое значение для оптимизации и персонификации ведения пациентов, в том числе с ранних этапов их развития.

ЛИТЕРАТУРА (REFERENCES)

1. Выхулейская М.В., Крайнова И.Н., Грибанов А.В. Нейросетевые технологии в диагностике заболеваний (обзор). Журнал медико-биологических исследований 2018; 6(3): 284–294. [Vyucheyetskaya M.V., Krainova I.N., Gribanov A.V. Neural network technologies in the diagnosis of diseases (review). Zhurnal mediko-biologicheskikh issledovaniy 2018; 6(3): 284–294. (in Russ.)] DOI: 10.17238/issn25421298.2018.6.3.284
2. Басова Л.А., Карякина О.Е., Мартынова Н.А., Кочорова Л.В. Прогнозирование послеоперационных осложнений на основе нейросетевых технологий. Вестник новых медицинских технологий 2015; 22(4): 117–121. [Basova L.A., Karyakina O.E., Martynova N.A., Kochorova L.V. Prediction of postoperative complications based on neural network technologies. Vestnik novykh meditsinskikh tehnologii 2015; 22(4): 117–121. (in Russ.)] DOI: 10.12737/17035
3. Кравченко В.О. Методы использования искусственных нейронных сетей в медицине. Устойчивое развитие науки и образования 2018; 6: 266–270. [Kravchenko V.O. Methods of using artificial neural networks in medicine. Ustoichivoe razvitie nauki i obrazovaniya 2018; 6: 266–270. (in Russ.)].
4. Головинова В.Ю., Киреев С.Г., Котенко П.К., Минаев Ю.Л., Штамбург И.Н., Кузьмин С.Г. Нейросетевые модели прогнозирования заболеваемости в организованных коллективах. Вестник Российской военно-медицинской академии 2014; 3(47): 150–154. [Golovinova V.Yu., Kireev S.G., Kotenko P.K., Minaev Yu.L., Shtamburg I.N., Kuzmin S.G. Neural network models of morbidity prediction in organized collectives. Vestnik Rossiiskoi voenno-meditsinskoi akademii 2014; 3(47): 150–154. (in Russ.)]
5. Фаустова К.И. Нейронные сети: применение сегодня и перспективы развития. Территория науки 2017; 4: 83–87. [Faustova K.I. Neural networks: application today and prospects for development. Territoriya nauki 2017; 4: 83–87. (in Russ.)]
6. Мелихова О.А., Вепринцева О.В., Чумичев В.С., Джамбинов С.В., Гайдуков А.Б. Режимы обучения в искусственных нейронных сетях. Инновации в науке 2016; 1(50): 17–22. [Melikhova O.A., Veprintseva O.V., Chumicheva V.S., Dzhambinov S.V., Gaidukov A.B. Learning modes in artificial neural networks. Innovatsii v nauke 2016; 1(50): 17–22. (in Russ.)]
7. Caliskan A., Yuksel M.E. Classification of Coronary Artery Disease Data Sets by Using a Deep Neural Network. Euro Biotech J 2017; 1(4): 271–277.
8. Ясницкий Л.Н., Думлер А.А., Богданов К.В., Поleshchuk А.Н., Черепанов Ф.М., Макурина Т.В., Чугайнов С.В. Диагностика и прогнозирование течения заболеваний сердечно-сосудистой системы на основе нейронных сетей. Медицинская техника 2013; 3(279): 42–44. [Yasnitskiy L.N., Dumler A.A., Bogdanov K.V., Poleshchuk A.N., Cherepanov F.M., Makurina T.V., Chugainov S.V. Diagnosis and prediction of the course of diseases of the cardiovascular system based on neural networks. Meditsinskaya tekhnika 2013; 3(279): 42–44. (in Russ.)]
9. Sanoob M.U., Madhu A., Ajesh K., Varghese S.M. Artificial Neural Network for Diagnosis of Pancreatic Cancer. IJCI 2016; 5 (2): 41–49. DOI: 10.5121/ijci.2016.5205
10. Ганцев Ш.Х., Зимичев А.А., Хрисанов Н.Н., Климентьева М.С. Применение нейронной сети в прогнозировании рака мочевого пузыря. Медицинский вестник Башкортостана 2010; 3: 44–47. [Gantsev Sh.Kh., Zimichev A.A., Khrisanov N.N., Klimentyeva M.S. The use of a neural network in predicting bladder cancer. Meditsinskii vestnik Bashkortostana 2010; 3: 44–47. (in Russ.)]
11. Макарова Л.С., Семерякова Е.Г. Разработка решающих правил для системы поддержки принятия решений дифференциальной диагностики бронхиальной астмы. Вестник науки Сибири 2012; 3(4): 162–167. [Makarova L.S., Semeryakova E.G. Development of decisive rules for the decision support system of differential diagnosis of bronchial asthma. Vestnik nauki Sibiri 2012; 3(4): 162–167. (in Russ.)]
12. Панова И.А., Рокотьянская Е.А., Ясинский И.Ф., Малышкина А.И., Назаров С.Б., Парейшвили В.В., Богатова И.К. Использование нейросетевой технологии для прогнозирования преэклампсии у беременных с хронической артериальной гипертензией. Современные технологии в медицине 2018; 10(4): 151–158. [Panova I.A., Rokotyanskaya E.A., Yasinsky I.F., Malyschkina A.I., Nazarov S.B., Pareishvili V.V., Bogatova I.K. The use of neural network technology to predict preeclampsia in pregnant women with chronic arterial hypertension. Sovremennye tehnologii v meditsine 2018; 10(4): 151–158. (in Russ.)] DOI: 10.17691/stm2018.10.4.18
13. Рокотьянская Е.А., Панова И.А., Малышкина А.И., Фетисова И.Н., Фетисов Н.С., Харламова Н.В., Кулигина М.В. Технологии прогнозирования преэклампсии. Современные технологии в медицине. 2020; 12(5): 78–86. [Rokotyanskaya E.A., Panova I.A., Malyschkina A.I., Fetisova I.N., Fetisov N.S., Kharlamova N.V., Kuligina M.V. Technologies for predicting preeclampsia. Sovremennye tekhn

- nologii v meditsine 2020; 12(5): 78–86. (in Russ.)] DOI: 10.17691/stm2020.12.5.09
14. Mantzaris D., Vrizas M., Trougakos S., Priska E., Vadikoulas K. Artificial Neural Networks for Estimation of Dementias Types. *Artif Intell Appl* 2014; 1(1): 74–82.
 15. Lins A.J.C.C., Muniz M.T.C., Garcia A.N.M., Gomes A.V., Cabral R.M., Bastos-Filho C.J.A. Using Artificial Neural Networks to Select the Parameters for the Prognostic of Mild Cognitive Impairment and Dementia in Elderly Individuals. *Comput Methods Programs Biomed* 2017; 152: 93–104. DOI: 10.1016/j.cmpb.2017.09.013
 16. Алексеева О.В., Россиев Д.А., Ильенкова Н.А. Применение искусственных нейронных сетей в дифференциальной диагностике рецидивирующего бронхита у детей. *Сибирское медицинское обозрение* 2010; 6: 75–79. [Alekseeva O. V., Rossiev D.A., Ilyenkova N.A. The use of artificial neural networks in the differential diagnosis of recurrent bronchitis in children. *Sibirskoe meditsinskoe obozrenie* 2010; 6: 75–79. (in Russ.)]
 17. Резниченко Н.С., Шилов С.Н. Использование нейросетевой системы для диагностики синдрома дефицита внимания с гиперактивностью. *Медико-биологические науки* 2014; 1: 48–54. [Reznichenko N.S., Shilov S.N. Using a neural network system to diagnose attention deficit hyperactivity disorder. *Mediko-biologicheskie nauki* 2014; 1: 48–54. (in Russ.)]
 18. Славутская Е.В., Славутский Л.А. Использование искусственных нейронных сетей для анализа гендерных различий младших подростков. *Психологические исследования* 2012; 5(23): 4. [Slavutskaya E.V., Slavutsky L.A. Using artificial neural networks to analyze gender differences in younger adolescents. *Psikhologicheskie issledovaniya* 2012; 5(23): 4. (in Russ.)]
 19. Чаша Т.В., Харламова Н.В., Климова О.И., Ясинский Ф.Н., Ясинский И.Ф. Применение нейронных сетей для прогнозирования течения постгипоксических нарушений сердечно-сосудистой системы у новорожденных детей. *Вестник Ивановского государственного энергетического университета* 2009; 4: 57–59. [Chasha T.V., Kharlamova N.V., Klimova O.I., Yasinsky F.N., Yasinsky I.F. The use of neural networks to predict the course of posthypoxic disorders of the cardiovascular system in newborns. *Vestnik Ivanovskogo gosudarstvennogo energeticheskogo universiteta* 2009; 4: 57–59. (in Russ.)]

Поступила: 21.03.23

Received on: 2023.03.21

Конфликт интересов:

Авторы данной статьи подтвердили отсутствие конфликта интересов и финансовой поддержки, о которых необходимо сообщить.

Conflict of interest:

The authors of this article confirmed the lack of conflict of interest and financial support, which should be reported.