

НЕЙРОСЕТЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ДИАГНОСТИКЕ ЗАБОЛЕВАНИЙ (обзор)¹

М.В. Выучейская, И.Н. Крайнова*, А.В. Грибанов**

*Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова
(г. Архангельск)

Представлен анализ применения нейросетевых технологий для диагностики различных заболеваний в области кардиологии, онкологии, пульмонологии, гастроэнтерологии, неврологии, психологии и др. Цель – установить области, в которых наиболее эффективно используются нейросетевые технологии. При этом рассмотрены структуры, алгоритмы обучения и точность функционирования искусственных нейронных сетей. Анализ литературы показал, что наиболее оптимальной моделью искусственных нейронных сетей для решения задач медицинской диагностики и прогнозирования является многослойный персептрон, представляющий собой сеть прямого распространения, в которой нейроны одного слоя последовательно соединены с нейронами прилегающих слоев без рекуррентных связей. Выявлено также, что наиболее оптимальными алгоритмами обучения многослойного персептрона являются алгоритм обратного распространения ошибки и генетический алгоритм. Высокая точность функционирования нейросетевых диагностических моделей, описанных в литературе, свидетельствует о перспективности применения искусственных нейронных сетей в различных областях медицины для диагностики и прогнозирования заболеваний. Внедрение в клиническую практику нейросетевых диагностических моделей может оказать эффективную помощь в принятии врачебных решений, способствовать повышению качества и точности диагностики заболеваний, сократить время на обследование пациента. Стоит также отметить, что искусственные нейронные сети могут использоваться как математические модели рассматриваемой предметной области. Изменяя входные параметры нейросетевой модели, наблюдая за поведением выходных сигналов, можно изучать рассматриваемую предметную область, выявлять и исследовать медицинские закономерности, которые извлекла искусственная нейронная сеть при обучении. Полученные сведения позволяют расширить теоретические знания в различных областях медицины.

Ключевые слова: *искусственные нейронные сети, медицинская диагностика, математическое моделирование.*

¹Исследование выполнено при финансовой поддержке правительства Архангельской области (конкурс «Молодые ученые Поморья») в рамках научного проекта № 01-2018-03а «Искусственные нейронные сети в диагностике когнитивных нарушений у людей пожилого возраста».

Ответственный за переписку: Выучейская Мария Владиславовна, *адрес:* 163045, г. Архангельск, проезд Бадигина, д. 3; *e-mail:* m.viuchejskaya@narfu.ru

Для цитирования: Выучейская М.В., Крайнова И.Н., Грибанов А.В. Нейросетевые технологии в диагностике заболеваний (обзор) // Журн. мед.-биол. исследований. 2018. Т. 6, № 3. С. 284–294. DOI: 10.17238/issn2542-1298.2018.6.3.284

Одним из актуальных направлений ме-дикобиологических исследований является разработка и внедрение интеллектуальных систем для диагностики и прогнозирования современных заболеваний человека [1]. В основе подобного рода систем лежат различные математические методы и алгоритмы. Особенно эффективными для решения задач медицинской диагностики и прогнозирования являются системы, базирующиеся на математическом аппарате искусственных нейронных сетей (ИНС). ИНС представляют собой математические модели, а также их программные или аппаратные реализации, построенные по принципу организации и функционирования биологических нейронных сетей [2]. ИНС состоят из элементов, называемых математическими нейронами. Математический нейрон получает информацию, присваивает ей весовые коэффициенты, производит над ней вычисления и передает ее дальше. Соединенные и взаимодействующие между собой математические нейроны образуют нейронную сеть, способную решать достаточно сложные задачи. В настоящее время разработано несколько видов ИНС, наиболее часто используется многослойный персептрон. Далее будет рассмотрено применение ИНС в различных областях медицины, особое внимание уделено их архитектуре, алгоритмам обучения и точности их функционирования.

Наиболее эффективно ИНС используются в области *кардиологии*. Так, в работе Т.В. Чаши с соавторами [3] рассматривается возможность применения ИНС для прогнозирования течения постгипоксических нарушений сердечно-сосудистой системы у новорожденных детей. В данном исследовании созданы две трехслойные сети, на вход которых подавалась запись variability сердечного ритма в виде последовательности значений интервалов RR. Обучение сетей проводилось методом случайного поиска, генетическим алгоритмом и методом обратного распространения ошибки. Последний метод оказался наиболее эффективным: авторам удалось добиться точности распознавания

ST-T-нарушений и дисфункции миокарда в 91 и 82 % случаях соответственно.

Особое внимание уделяется использованию ИНС для диагностики ишемической болезни сердца. Так, А.Г. Сбоев с соавторами [4] показал, что многослойный персептрон с двумя скрытыми слоями является оптимальной топологией для диагностики ишемической болезни сердца. Обучение проводилось с использованием генетической оптимизации для количества нейронов в скрытых слоях. Полученная точность диагностики коронарного атеросклероза и ишемической болезни сердца составила 96 и 94 % соответственно, что превышает точность нейросетевой модели M. Colak et al. [5]. O.Yu. Atkov, S.G. Gorokhova et al. [6] в своем исследовании разработали несколько нейросетевых моделей, диагностическая точность которых варьировала от 64 до 94 %. Лучшей моделью оказался многослойный персептрон с двумя скрытыми слоями, обученный с помощью генетического алгоритма. Аналогичные показатели точности (95,5 %) диагностирования ишемической болезни сердца получены Н. Niranjana Murthy, М. Meenakshi [7]. Структура модели, используемая в этом исследовании, представляет собой многослойную архитектуру с 13 входными нейронами, 13 скрытыми нейронами и 1 выходным нейроном. В качестве функции активации была выбрана сигмоидная функция. Н. Moghaddasi et al. [8] в качестве нейросетевой модели для диагностики ишемии сердца использовали многослойный персептрон, обучение которого осуществлялось с помощью алгоритма Broyden–Fletcher–Goldfarb–Shanno (BFGS). Точность работы модели составила 73,39 %, при этом чувствительность – 93,44 % и специфичность – 28,34 %. Для повышения эффективности диагностики ишемической болезни сердца Z. Arabasadi et al. [9] предлагают гибридный метод, сочетающий генетический алгоритм и ИНС. Используя такую методологию, авторы данного исследования достигли точности 93,85 %, при этом чувствительность модели составила 97 %, а специфичность – 92 %.

С развитием нейросетевых технологий разрабатывались новые архитектуры ИНС, а также новые алгоритмы их обучения. В 2006 году появились технологии глубокого обучения сетей. Данный подход стал широко использоваться только после 2012 года. Так, в 2017 году ученые А. Caliskan и М. Yuksel [10] опубликовали научную работу, в которой описали возможность применения глубоких нейронных сетей в диагностике ишемической болезни сердца. Диагностика в данном исследовании рассматривалась как задача классификации пациентов по двум группам – «пациент здоров» и «пациент болен». Сеть обучалась в два этапа. В качестве обучающих параметров использовались возраст и пол пациента, а также показатели лабораторного анализа крови и ЭКГ. Нейронная сеть была обучена на двух наборах данных, в первом случае сеть классифицировала пациентов с точностью 87,6 %, во втором – с точностью 89,7 %.

Л.Н. Ясницким с соавторами [11] предложена нейросетевая модель, которая по 51 входному параметру, характеризующему пациента и его симптомы, позволяет выявить 9 заболеваний сердечно-сосудистой системы. На основе данной ИНС авторы разработали демонстрационный прототип диагностической системы, который размещен на сайте Пермской научной школы искусственного интеллекта (www.permai.ru). Эти же авторы в своем более позднем исследовании [12] модифицировали ранее разработанную нейросетевую систему, дополнив ее возможностью прогнозировать течение заболеваний в различные периоды их развития. Кроме того, было увеличено число входных параметров до 62, а количество возможных диагнозов уменьшено до 6. В качестве практической значимости разработанной нейросетевой системы авторы указывают возможность моделировать различные варианты прогноза развития заболевания для каждого обследуемого пациента.

В литературе также имеются примеры применения ИНС для анализа патологических изменений в кровеносных сосудах [13], про-

гнозирования риска развития артериальной гипертензии [14], диагностики заболевания сахарным диабетом [15, 16].

Большое количество исследований посвящено разработке и применению ИНС в *онкологии*. Нейросетевые технологии применяются для диагностики рака печени [17] и поджелудочной железы [18]; дифференциальной диагностики опухолей щитовидной железы [19]; диагностики опухолей головного мозга [20]; прогнозирования рака мочевого пузыря [21]; определения групп повышенного риска заболевания раком молочной железы [22]; выявления рака предстательной железы [23, 24]. F. Ahmed [25] описал опыт использования ИНС для диагностики и прогнозирования выживаемости при раке толстой кишки.

В области *пульмонологии* ИНС применяются для дифференциальной диагностики интерстициальных заболеваний легких [26, 27], острой тромбоэмболии легких [28, 29]. В работе Л.С. Макаровой и Е.Г. Семеряковой [30] представлены и проанализированы результаты дифференциальной диагностики бронхиальной астмы, полученные с помощью двух методов: нейронных сетей и дискриминантного анализа. В данном исследовании модель, построенная с помощью дискриминантного анализа, показала наилучшие результаты. Диагностирование пациентов на основе многослойного перцептрона дало неудовлетворительные результаты. Авторы связывают это с недостаточным количеством примеров в обучающей выборке. О.В. Алексеевой и соавторами [31, 32] предложен способ дифференциальной диагностики рецидивирующей бронхолегочной патологии у детей с помощью нейросетевого анализа. Тестирование разработанных авторами нейросетевых систем показало достаточно высокую их прогностическую способность – 95 и 92 % соответственно.

Нейросетевые технологии применяются для диагностики *заболеваний желудочно-кишечного тракта*. P. Maclin, J. Dempsey [33] и S. Kazmierczak et al. [34] использовали в своих исследованиях технологию нейронных сетей

для дифференциальной диагностики заболеваний печени. П.И. Мироновым с соавторами [35] исследованы возможности ИНС в прогнозировании развития абдоминального сепсиса у больных тяжелым острым панкреатитом. В работе использовалась трехслойная сеть, обученная с помощью алгоритма обратного распространения ошибки по данным 100 больных. При чувствительности 63,3 % ИНС продемонстрировала высокую специфичность – 88,2 %. Установлено, что используемая нейросетевая модель позволяет с высокой точностью прогнозировать развитие абдоминального сепсиса у данной категории больных.

Встречаются отдельные работы, посвященные анализу возможности применения ИНС для диагностики *заболеваний позвоночника и костной системы*. П.Н. Афонин с соавторами [36] использовали нейросетевые технологии для прогнозирования ближайших и отдаленных результатов лечения больных гематогенным остеомиелитом позвоночника. В обоих случаях сети по своей структуре представляли многослойный персептрон. В процессе построения ИНС был применен алгоритм генетического отбора входных признаков. В качестве исходных параметров сети для прогнозирования результатов лечения остеомиелита позвоночника (на момент выписки) было отобрано 5 показателей, для прогнозирования степени выраженности нарушения жизнедеятельности в отдаленном периоде – 18 показателей. Точность прогнозирования составила 92,3 % для ближайшего периода (момент выписки больного из стационара) и 90,6 % для отдаленного периода (через 1 год после завершения стационарного лечения). А.А. Ефимовым и соавторами [37] был предложен нейросетевой алгоритм классификации пациентов в зависимости от стадий остеопороза с точностью 95,2 %.

В *неврологии* ИНС применяются для диагностики и классификации нейродегенеративных расстройств, таких как болезни Альцгеймера, Паркинсона, Гентингтона, Пика. D. Mantzaris et al. [38] предложен метод оценки когнитивных нарушений при болезни Альцгей-

мера на основе анализа ЭЭГ с использованием ИНС в сочетании с генетическим алгоритмом. F. Bertè et al. [39] применяли различные архитектуры ИНС для диагностики типа деменции у пациентов. В данном исследовании выделено 6 типов деменции: умеренные когнитивные нарушения, болезнь Альцгеймера, лобно-височная деменция, сосудистые когнитивные нарушения, болезнь Альцгеймера с сосудистыми когнитивными нарушениями и лобно-височная деменция с сосудистыми когнитивными расстройствами. Моделью с лучшей предсказательной способностью оказалась вероятностная нейронная сеть, состоящая из входного (30 нейронов), скрытого (65 нейронов) и выходного (6 нейронов) слоев. Данная ИНС точно диагностировала тип деменции у пациентов в 97,25 % случаев. Стоит отметить, что нейронная сеть в виде многослойного персептрона также показала хороший результат: точность прогнозирования типа деменции составила 95,60 %.

M. Quintana et al. [40] применяли ИНС для классификации пациентов по группам: здоровые, пациенты с умеренными когнитивными нарушениями, пациенты с болезнью Альцгеймера. В качестве классификатора использовался многослойный персептрон, который включал в себя 3 слоя: входной (12 нейронов), скрытый (4 нейрона) и выходной (1 нейрон). В качестве функции активации был выбран сигмоид. Обучение ИНС проводилось с помощью алгоритма обратного распространения ошибки. На первом этапе сеть была обучена на данных пациентов из всех трех групп. В результате было установлено, что персептрон корректно классифицирует пациентов в 66,67 % случаев. На втором этапе для обучения сети использовались данные пациентов из здоровой группы и группы с умеренными когнитивными нарушениями. В результате сеть точно классифицировала пациентов в 98,33 % случаев. На последнем этапе сеть обучали на данных здоровых пациентов и группы пациентов с болезнью Альцгеймера. В этом случае точность классификации составила 100 %. A. Lins et al. [41] применяли ИНС для выбора параметров,

позволяющих прогнозировать развитие умеренных когнитивных нарушений и деменции у лиц пожилого возраста. Авторами предложена нейросетевая модель, использующая в качестве диагностических факторов следующие параметры: пол, возраст, уровень образования, время обучения и баллы, полученные при тестировании.

Н.С. Резниченко [42] описан опыт применения ИНС для диагностики синдрома дефицита внимания с гиперактивностью. Сеть была обучена на данных психологических карт 25 детей. Точность диагностики составила 70 %. Автором был сделан вывод о перспективности использования разработанной нейросетевой модели в диагностике синдрома дефицита внимания с гиперактивностью. После увеличения объема обучающей выборки и повторного обучения данной сети Н.С. Резниченко и С.Н. Шиловым [43] были получены более точные показатели работы модели: ИНС выдавала правильный прогноз в 89 % случаев.

Нейросетевые технологии постепенно стали приходить в сферу *психологии*. Например, М.А. Беребиным и С.В. Пашковым [44] была исследована возможность применения ИНС для дифференциальной диагностики и прогноза нарушений психической адаптации у сотрудников силовых структур. В данной работе сеть была организована в виде трехслойного персептрона с сигмоидальными передаточными функциями нейронов. Первый слой сети состоял из 13 нейронов, второй (скрытый) – также из 13 нейронов, а выходной слой – из 2 нейронов, что соответствует числу диагностируемых классов уровня психической адап-

тации. После обучения ИНС была протестирована, точность прогнозирования составила 100 %.

Е.В. Славутской и Л.А. Славутским [45] предложен нейросетевой алгоритм для селективной оценки гендерных различий в эмоционально-волевой и интеллектуальной сферах школьников 10-11 лет. В данном исследовании авторы используют двухслойную сеть с прямой передачей сигнала и обратным распространением ошибки. Полученные результаты свидетельствуют об эффективности применения ИНС, т. к. данный подход позволяет достаточно точно выделять наиболее значимые психологические признаки, определяющие гендерные различия обследуемых.

Таким образом, подходящим типом структуры ИНС, предназначенной для решения задач медицинской диагностики и прогнозирования, является персептрон с сигмоидными активационными функциями, на вход которого подается информация о пациенте, а на выходе выводится диагноз заболевания. Алгоритм обратного распространения ошибки и генетический алгоритм наиболее часто используются для обучения многослойных персептронов при диагностике различных заболеваний.

Стоит отметить, что ИНС можно использовать как математические модели рассматриваемой предметной области. Изменяя входные параметры нейросетевой модели и наблюдая за поведением выходных сигналов, можно изучать предметную область, выявлять и исследовать медицинские закономерности, которые извлекла ИНС при обучении.

Список литературы

1. Грибанов А.В., Джос Ю.С. О стратегических направлениях медико-биологических исследований // Вестн. Сев. (Арктич.) федер. ун-та. Сер.: Мед.-биол. науки. 2013. № 1. С. 10–18.
2. 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 // Вестн. Рос. воен.-мед. акад. 2014. № 3(47). С. 150–154.

3. 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 // Вестн. ИГЭУ. 2009. Вып. 4. С. 57–59.
4. Сбоев А.Г., Горохова С.Г., Черный Н.Н. Разработка нейросетевой методики раннего диагностирования ишемической болезни сердца и коронарного атеросклероза // Вестн. ВГУ. Сер.: Химия. Биология. Фармация. 2011. № 2. С. 204–213.
5. Colak M.C., Colak C., Kocatiürk H., Sağıroğlu S., Barutçu I. Predicting Coronary Artery Disease Using Different Artificial Neural Network Models // *Anadolu Kardiyol. Derg.* 2008. Vol. 8, № 4. P. 249–254.
6. Atkov O.Yu., Gorokhova S.G., Sboev A.G., Generozov E.V., Muraseyeva E.V., Moroshkina S.Y., Cherniy N.N. Coronary Heart Disease Diagnosis by Artificial Neural Networks Including Genetic Polymorphisms and Clinical Parameters // *J. Cardiol.* 2012. Vol. 59, № 2. P. 190–194.
7. Niranjana Murthy H.S., Meenakshi M. ANN Model to Predict Coronary Heart Disease Based on Risk Factors // *Bonfring. Int. J. Man Mach. Interface.* 2013. Vol. 3, № 2. P. 13–18.
8. Moghaddasi H., Mahmoudi I., Sajadi S. Comparing the Efficiency of Artificial Neural Network and Gene Expression Programming in Predicting Coronary Artery Disease // *J. Health Med. Inform.* 2017. Vol. 8, № 2.
9. Arabasadi Z., Alizadehsani R., Roshanzamir M., Moosaei H., Yarifard A.A. Computer Aided Decision Making for Heart Disease Detection Using Hybrid Neural Network-Genetic Algorithm // *Comput. Methods Programs Biomed.* 2017. Vol. 141. P. 19–26.
10. Caliskan A., Yüksel M.E. Classification of Coronary Artery Disease Data Sets by Using a Deep Neural Network // *EuroBiotech J.* 2017. Vol. 1, № 4. P. 271–277.
11. Ясницкий Л.Н., Думлер А.А., Полещук А.Н., Богданов К.В., Черепанов Ф.М. Нейросетевая система экспресс-диагностики сердечно-сосудистых заболеваний // *Перм. мед. журн.* 2011. Т. XXVIII, № 4. С. 77–86.
12. Ясницкий Л.Н., Думлер А.А., Богданов К.В., Полещук А.Н., Черепанов Ф.М., Макурина Т.В., Чугайнов С.В. Диагностика и прогнозирование течения заболеваний сердечно-сосудистой системы на основе нейронных сетей // *Мед. техника.* 2013. № 3(279). С. 42–44.
13. Аравин О.И. Применение искусственных нейронных сетей для анализа патологий в кровеносных сосудах // *Рос. журн. биомеханики.* 2011. Т. 15, № 3(53). С. 45–51.
14. Оленко Е.С., Киричук В.Ф., Кодочигова А.И., Колопкова Т.А., Демина Т.А., Субботина В.Г., Сулковская Л.С., Букоткина Е.А. Использование искусственных нейронных сетей в прогнозировании риска развития артериальной гипертензии у пенитенциарных субъектов // *Междунар. журн. приклад. и фундам. исследований.* 2009. № 5. С. 119. URL: <https://www.applied-research.ru/ru/article/view?id=200> (дата обращения: 22.11.2017).
15. Мустафаев А.Г. Применение искусственных нейронных сетей для ранней диагностики заболевания сахарным диабетом // *Кибернетика и программирование.* 2016. № 2. С. 1–7.
16. Soltani Z., Jafarian A. A New Artificial Neural Networks Approach for Diagnosing Diabetes Disease Type II // *Int. J. Adv. Comput. Sci. Appl.* 2016. Vol. 7, № 6.
17. Maclin P.S., Dempsey J. How to Improve a Neural Network for Early Detection of Hepatic Cancer // *Cancer Lett.* 1994. Vol. 77, № 2-3. P. 95–101.
18. Sanoob M.U., Madhu A., Ajesh K., Varghese S.M. Artificial Neural Network for Diagnosis of Pancreatic Cancer // *IJCI.* 2016. Vol. 5, № 2.
19. Полоз Т.Л., Шкурупий В.А., Полоз В.В., Демин А.В. Результаты количественного цитологического анализа строения фолликулярных опухолей щитовидной железы с помощью компьютерных и нейросетевых технологий // *Вестн. РАМН.* 2006. № 8. С. 7–10.
20. Кирсанова А.В., Дмитриев Г.А. Нейросетевая система диагностики внутричерепных образований // *Програм. продукты и системы.* 2009. № 3. С. 123–125.
21. Ганцев Ш.Х., Зимичев А.А., Хрисанов Н.Н., Климентьева М.С. Применение нейронной сети в прогнозировании рака мочевого пузыря // *Мед. вестн. Башкортостана.* 2010. № 3. С. 44–47.
22. Есин С.В., Осипов В.В., Памурзин И.Л., Поддубная Н.Н. Нейросетевой скрининг в определении групп повышенного риска заболевания раком молочной железы // *Альм. клин. медицины.* 2007. № 16. С. 65–68.
23. Snow P.B., Smith D.S., Catalona W.J. Artificial Neural Networks in the Diagnosis and Prognosis of Prostate Cancer: A Pilot Study // *J. Urol.* 1994. Vol. 152, № 5. P. 1923–1926.

24. Соловов В.А., Фролова И.Г. Использование логистических регрессий и нейронных сетей в выявлении рака предстательной железы // Сиб. онкол. журн. 2006. № 1(17). С. 14–17.
25. Ahmed F.E. Artificial Neural Networks for Diagnosis and Survival Prediction in Colon Cancer // Mol. Cancer. 2005. Vol. 4, № 29.
26. Asada N., Doi K., MacMahon H., Montner S.M., Giger M.L., Abe C., Wu Y. Potential Usefulness of an Artificial Neural Network for Differential Diagnosis of Interstitial Lung Diseases: Pilot Study // Radiology. 1990. Vol. 177, № 3. P. 857–860.
27. Abe H., Ashizawa K., Li F., Matsuyama N., Fukushima A., Shiraishi J., MacMahon H., Doi K. Artificial Neural Networks (ANNs) for Differential Diagnosis of Interstitial Lung Disease: Results of a Simulation Test with Actual Clinical Cases // Acad. Radiol. 2004. Vol. 11, № 1. P. 29–37.
28. Patil S., Henry J.W., Rubenfire M., Stein P.D. Neural Network in the Clinical Diagnosis of Acute Pulmonary Embolism // Chest. 1993. Vol. 104, № 6. P. 1685–1689.
29. Eng J. Predicting the Presence of Acute Pulmonary Embolism: A Comparative Analysis of the Artificial Neural Network, Logistic Regression, and Threshold Models // AMJ. Am. J. Roentgenol. 2002. Vol. 179, № 4. P. 869–874.
30. Макарова Л.С., Семерякова Е.Г. Разработка решающих правил для системы поддержки принятия решений дифференциальной диагностики бронхиальной астмы // Вестн. науки Сибири. 2012. № 3(4). С. 162–167.
31. Алексеева О.В., Россиев Д.А., Ильенкова Н.А. Применение искусственных нейронных сетей в дифференциальной диагностике рецидивирующего бронхита у детей // Сиб. мед. обозрение. 2010. № 6. С. 75–79.
32. Алексеева О.В., Ильенкова Н.А., Россиев Д.А., Соловьева Н.А. Оптимизация дифференциальной диагностики рецидивирующей бронхолегочной патологии у детей // Сиб. мед. журн. 2013. № 2. С. 37–41.
33. MacLain P.S., Dempsey J. Using an Artificial Neural Network to Diagnose Hepatic Masses // J. Med. Syst. 1992. Vol. 16, № 5. P. 215–225.
34. Kazmierczak S.C., Catrou P.G., Van Lente F. Diagnostic Accuracy of Pancreatic Enzymes Evaluated by Use of Multivariate Data Analysis // Clin. Chem. 1993. Vol. 39, № 9. P. 1960–1965.
35. Миронов П.И., Лутфарахманов И.И., Ишмухаметов И.Х., Тиммербулатов В.М. Искусственные нейронные сети в прогнозировании развития сепсиса у больных тяжелым острым панкреатитом // Анналы хирург. гепатологии. 2008. Т. 13, № 2. С. 85–89.
36. Афонин П.Н., Афонин Д.Н., Дору-Товт В.П. Применение искусственных нейронных сетей для прогнозирования нарушений жизнедеятельности больных гематогенным остеомиелитом позвоночника // Вестн. новых мед. технологий. 2007. Т. 14, № 3. С. 42–44.
37. Ефимов А.А., Журова О.В., Коровин Е.Н., Родионов О.В. Анализ и моделирование процесса диагностики стадий остеопороза на основе нейронных сетей // Вестн. Воронеж. гос. техн. ун-та. 2006. Т. 2, № 12. С. 13–16.
38. Mantzaris D., Vrizas M., Trougakos S., Priska E., Vadikolias K. Artificial Neural Networks for Estimation of Dementias Types // Artif. Intell. Appl. 2014. Vol. 1, № 1. P. 74–82.
39. Bertè F., Lamponi G., Calabrò R.S., Bramanti P. Elman Neural Network for the Early Identification of Cognitive Impairment in Alzheimer's Disease // Funct. Neurol. 2014. Vol. 29, № 1. P. 57–65.
40. Quintana M., Guàrdia J., Sánchez-Benavides G., Aguilar M., Molinuevo J.L., Robles A., Barquero M.S., Antúnez C., Martínez-Parra C., Frank-García A., Fernández M., Blesa R., Peña-Casanova J., Neuronorma Study Team. Using Artificial Neural Networks in Clinical Neuropsychology: High Performance in Mild Cognitive Impairment and Alzheimer's Disease // J. Clin. Exp. Neuropsychol. 2012. Vol. 34, № 2. P. 195–208.
41. 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. Vol. 152. P. 93–104.
42. Резниченко Н.С. Нейросетевой подход при решении медико-биологических проблем // Вестн. КГПУ им. В.П. Астафьева. 2013. № 4(26). С. 279–283. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/neyrosetevoy-podhod-pri-reshenii-mediko-biologicheskikh-problem> (дата обращения: 22.11.2017).
43. Резниченко Н.С., Шилов С.Н. Использование нейросетевой системы для диагностики синдрома дефицита внимания с гиперактивностью // Вестн. Сев. (Арктич.) федер. ун-та. Сер.: Мед.-биол. науки. 2014. № 1. С. 48–54.
44. Беребин М.А., Пашков С.В. Опыт применения искусственных нейронных сетей для целей дифференциальной диагностики и прогноза нарушений психической адаптации // Вестн. ЮУрГУ. Сер.: Компьютер. технологии, управление, радиоэлектроника, вып. 4. 2006. № 14(69). С. 41–45.

45. Славутская Е.В., Славутский Л.А. Использование искусственных нейронных сетей для анализа гендерных различий младших подростков // Психол. исследования. 2012. Т. 5, № 23. С. 4. URL: <http://psystudy.ru.0421200116/0028> (дата обращения: 11.11.2017).

References

1. Gribanov A.V., Dzhos Yu.S. O strategicheskikh napravleniyakh mediko-biologicheskikh issledovaniy [Strategic Areas of Medical and Biological Research]. *Vestnik Severnogo (Arkticheskogo) federal'nogo universiteta. Ser.: Mediko-biologicheskije nauki*, 2013, no. 1, pp. 10–18.
2. Golovinova V.Yu., Kireev S.G., Kotenko P.K., Minaev Yu.L., Shtamburg I.N., Kuz'min S.G. Neyrosetevye modeli prognozirovaniya zaboлеваemosti v organizovannykh kollektivakh [Neural Network Models for Prediction of Morbidity in Organized Personnel Groups]. *Vestnik Rossiyskoy voenno-meditsinskoy akademii*, 2014, no. 3, pp. 150–154.
3. Chasha T.V., Kharlamova N.V., Klimova O.I., Yasinskiy F.N., Yasinskiy I.F. Primenenie neyronnykh setey dlya prognozirovaniya techeniya postgipoksicheskikh narusheniy serdechno-sosudistoy sistemy u novorozhdennykh detey [The Use of Neural Networks to Predict the Course of Posthypoxic Cardiovascular Disorders in Newborns]. *Vestnik IGEU*, 2009, no. 4, pp. 57–59.
4. Sboev A.G., Gorokhova S.G., Cherniy N.N. Razrabotka neyrosetevoy metodiki rannego diagnostirovaniya ishemicheskoy bolezni serdtsa i koronarnogo ateroskleroza [Developing Artificial Neural Network Techniques for Diagnosing Early Ischaemic Heart Disease and Coronary Atherosclerosis]. *Vestnik VGU. Ser.: Khimiya. Biologiya. Farmatsiya*, 2011, no. 2, pp. 204–213.
5. Colak M.C., Colak C., Kocatürk H., Sağiroğlu S., Barutçu I. Predicting Coronary Artery Disease Using Different Artificial Neural Network Models. *Anadolu Kardiyol. Derg.*, 2008, vol. 8, no. 4, pp. 249–254.
6. Atkov O.Yu., Gorokhova S.G., Sboev A.G., Generozov E.V., Muraseyeva E.V., Moroshkina S.Y., Cherniy N.N. Coronary Heart Disease Diagnosis by Artificial Neural Networks Including Genetic Polymorphisms and Clinical Parameters. *J. Cardiol.*, 2012, vol. 59, no. 2, pp. 190–194.
7. Niranjana Murthy H.S., Meenakshi M. ANN Model to Predict Coronary Heart Disease Based on Risk Factors. *Bonfring Int. J. Man Mach. Interface*, 2013, vol. 3, no. 2, pp. 13–18.
8. Moghaddasi H., Mahmoudi I., Sajadi S. Comparing the Efficiency of Artificial Neural Network and Gene Expression Programming in Predicting Coronary Artery Disease. *J. Health Med. Inform.*, 2017, vol. 8, no. 2.
9. Arabasadi Z., Alizadehsani R., Roshanzamir M., Moosaei H., Yarifard A.A. Computer Aided Decision Making for Heart Disease Detection Using Hybrid Neural Network-Genetic Algorithm. *Comput. Methods Programs Biomed.*, 2017, vol. 141, pp. 19–26.
10. Caliskan A., Yuksel M.E. Classification of Coronary Artery Disease Data Sets by Using a Deep Neural Network. *EuroBiotech J.*, 2017, vol. 1, no. 4, pp. 271–277.
11. Yasnitskiy L.N., Dumler A.A., Poleshchuk A.N., Bogdanov K.V., Cherepanov F.M. Neyrosetevaya sistema ekspress-diagnostiki serdechno-sosudistyykh zabolevaniy [Neuronetwork System of Cardiovascular Diseases Express-Diagnosis]. *Permskiy meditsinskiy zhurnal*, 2011, vol. 28, no. 4, pp. 77–86.
12. Yasnitskiy L.N., Bogdanov K.V., Cherepanov F.M., Makurina T.V., Dumler A.A., Chugaynov S.V., Poleshchuk A.N. Diagnosis and Prognosis of Cardiovascular Diseases on the Basis of Neural Networks. *Biomed. Eng.*, 2013, vol. 47, no. 3, pp. 160–163.
13. Aravin O.I. Primenenie iskusstvennykh neyronnykh setey dlya analiza patologiy v krovenosnykh sosudakh [Application of Artificial Neural Networks to Analyze Abnormalities in Blood Vessels]. *Rossiyskiy zhurnal biomekhaniki*, 2011, vol. 15, no. 3, pp. 45–51.
14. Olenko E.S., Kirichuk V.F., Kodochigova A.I., Kolopkova T.A., Demina T.A., Subbotina V.G., Sulkovskaya L.S., Bukotkina E.A. Ispol'zovanie iskusstvennykh neyronnykh setey v prognozirovanii riska razvitiya arterial'noy gipertenzii u penitentsiarnyykh sub'ektov [The Use of Artificial Neural Networks in Predicting the Risk of Developing Arterial Hypertension in Penitentiary Subjects]. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy*, 2009, no. 5, p. 119. Available at: <https://www.applied-research.ru/ru/article/view?id=200> (accessed 22 November 2017).
15. Mustafaev A.G. Primenenie iskusstvennykh neyronnykh setey dlya ranney diagnostiki zabolevaniya sakharnym diabetom [The Use of Artificial Neural Networks for Early Diagnosis of Diabetes Mellitus]. *Kibernetika i programirovanie*, 2016, no. 2, pp. 1–7.

16. Soltani Z., Jafarian A. A New Artificial Neural Networks Approach for Diagnosing Diabetes Disease Type II. *Int. J. Adv. Comput. Sci. Appl.*, 2016, vol. 7, no. 6.
17. Maclin P.S., Dempsey J. How to Improve a Neural Network for Early Detection of Hepatic Cancer. *Cancer Lett.*, 1994, vol. 77, no. 2-3, pp. 95–101.
18. Sanoob M.U., Madhu A., Ajesh K., Varghese S.M. Artificial Neural Network for Diagnosis of Pancreatic Cancer. *IJCI*, 2016, vol. 5, no. 2, pp. 41–49.
19. Poloz T.L., Shkurupiy V.A., Poloz V.V., Demin A.V. Rezul'taty kolichestvennogo tsitologicheskogo analiza stroeniya follikulyarnykh opukholey shchitovidnoy zhelezy s pomoshch'yu komp'yuternykh i neyrosetevykh tekhnologiy [The Results of Quantitative Cytological Analysis of the Structure of Follicular Thyroid Tumors Using Computer and Neural Network Technologies]. *Vestnik RAMN*, 2006, no. 8, pp. 7–10.
20. Kirsanova A.V., Dmitriev G.A. Neyrosetevaya sistema diagnostiki vnutricherepnykh obrazovaniy [Neuronet Diagnostic System for Intracranial Formations]. *Programmnye produkty i sistemy*, 2009, no. 3, pp. 123–125.
21. Gantsev Sh.Kh., Zimichev A.A., Khrisanov N.N., Kliment'eva M.S. Primenenie neyronnoy seti v prognozirovanii raka mochevogo puzrya [The Use of Neural Network to Predict Bladder Cancer]. *Meditsinskiy vestnik Bashkortostana*, 2010, no. 3, pp. 44–47.
22. Esin S.V., Osipov V.V., Pamurzin I.L., Poddubnaya N.N. Neyrosetevoy skringing v opredelenii grupp povyshennogo riska zabolevaniya rakom molochnoy zhelezy [Neural Network Screening in Identifying High-Risk Groups for Breast Cancer]. *Al'manakh klinicheskoy meditsiny*, 2007, no. 16, pp. 65–68.
23. Snow P.B., Smith D.S., Catalona W.J. Artificial Neural Networks in the Diagnosis and Prognosis of Prostate Cancer: A Pilot Study. *J. Urol.*, 1994, vol. 152, no. 5, pp. 1923–1926.
24. Solovov V.A., Frolova I.G. Ispol'zovanie logisticheskikh regressiy i neyronnykh setey v vyyavlenii raka predstatel'noy zhelezy [The Use of Logistic Regressions and Neural Networks in Prostate Cancer Detection]. *Sibirskiy onkologicheskiy zhurnal*, 2006, no. 1, pp. 14–17.
25. Ahmed F.E. Artificial Neural Networks for Diagnosis and Survival Prediction in Colon Cancer. *Mol. Cancer*, 2005, vol. 4, no. 29.
26. Asada N., Doi K., MacMahon H., Montner S.M., Giger M.L., Abe C., Wu Y. Potential Usefulness of an Artificial Neural Network for Differential Diagnosis of Interstitial Lung Diseases: Pilot Study. *Radiology*, 1990, vol. 177, no. 3, pp. 857–860.
27. Abe H., Ashizawa K., Li F., Matsuyama N., Fukushima A., Shiraishi J., MacMahon H., Doi K. Artificial Neural Networks (ANNs) for Differential Diagnosis of Interstitial Lung Disease: Results of a Simulation Test with Actual Clinical Cases. *Acad. Radiol.*, 2004, vol. 11, no. 1, pp. 29–37.
28. Patil S., Henry J.W., Rubenfire M., Stein P.D. Neural Network in the Clinical Diagnosis of Acute Pulmonary Embolism. *Chest*, 1993, vol. 104, no. 6, pp. 1685–1689.
29. Eng J. Predicting the Presence of Acute Pulmonary Embolism: A Comparative Analysis of the Artificial Neural Network, Logistic Regression, and Threshold Models. *AJR. Am. J. Roentgenol.*, 2002, vol. 179, no. 4, pp. 869–874.
30. Makarova L.S., Semeryakova E.G. Razrabotka reshayushchikh pravil dlya sistemy podderzhki prinyatiya resheniy differentsial'noy diagnostiki bronkhial'noy astmy [Development of Decision Rules for a Decision Support System for Differential Diagnosis of Bronchial Asthma]. *Vestnik nauki Sibiri*, 2012, no. 3, pp. 162–167.
31. Alekseeva O.V., Rossiev D.A., Il'enkova N.A. Primenenie iskusstvennykh neyronnykh setey v differentsial'noy diagnostike retsiviruyushchego bronkhita u detey [The Use of Artificial Neural Networks for Differential Diagnosis of Recurrent Bronchitis in Children]. *Sibirskoe meditsinskoe obozrenie*, 2010, no. 6, pp. 75–79.
32. Alekseeva O.V., Il'enkova N.A., Rossiev D.A., Solov'eva N.A. Optimizatsiya differentsial'noy diagnostiki retsiviruyushchey bronkhologicheskoy patologii u detey [Optimization of Differential Diagnosis of Recurrent Bronchitis in Children]. *Sibirskiy meditsinskiy zhurnal*, 2013, no. 2, pp. 37–41.
33. Maclin P.S., Dempsey J. Using an Artificial Neural Network to Diagnose Hepatic Masses. *J. Med. Syst.*, 1992, vol. 16, no. 5, pp. 215–225.
34. Kazmierczak S.C., Catrou P.G., Van Lente F. Diagnostic Accuracy of Pancreatic Enzymes Evaluated by Use of Multivariate Data Analysis. *Clin. Chem.*, 1993, vol. 39, no. 9, pp. 1960–1965.
35. Mironov P.I., Lutfarakhmanov I.I., Ishmukhametov I.Kh., Timerbulatov V.M. Iskusstvennye neyronnye seti v prognozirovanii razvitiya sepsisa u bol'nykh tyazhelym ostrym pankreatitom [Predictive Value of Artificial Neural Networks for Sepsis in Severe Acute Pancreatitis Patients]. *Annaly khirurgicheskoy gepatologii*, 2008, vol. 13, no. 2, pp. 85–89.

36. Afonin P.N., Afonin D.N., Doru-Tovt V.P. Primenenie iskusstvennykh neyronnykh setey dlya prognozirovaniya narusheniy zhiznedeyatel'nosti bol'nykh gematogennym osteomielitom pozvonochnika [The Use of Artificial Neural Networks to Predict Impairments in Patients with Hematogenous Osteomyelitis of the Spine]. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy*, 2007, vol. 14, no. 3, pp. 42–44.

37. Efimov A.A., Zhurova O.V., Korovin E.N., Rodionov O.V. Analiz i modelirovanie protsessa diagnostiki stadiy osteoporoza na osnove neyronnykh setey [Analysis and Modelling of the Process of Diagnosing the Stages of Osteoporosis Based on Neural Networks]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2006, vol. 2, no. 12, pp. 13–16.

38. Mantzaris D., Vrizas M., Trougakos S., Priska E., Vadikolias K. Artificial Neural Networks for Estimation of Dementias Types. *Artif. Intell. Appl.*, 2014, vol. 1, no. 1, pp. 74–82.

39. Bertè F., Lamponi G., Calabrò R.S., Bramanti P. Elman Neural Network for the Early Identification of Cognitive Impairment in Alzheimer's Disease. *Funct. Neurol.*, 2014, vol. 29, no. 1, pp. 57–65.

40. Quintana M., Guàrdia J., Sánchez-Benavides G., Aguilar M., Molinuevo J.L., Robles A., Barquero M.S., Antúnez C., Martínez-Parra C., Frank-García A., Fernández M., Blesa R., Peña-Casanova J., Neuronorma Study Team. Using Artificial Neural Networks in Clinical Neuropsychology: High Performance in Mild Cognitive Impairment and Alzheimer's Disease. *J. Clin. Exp. Neuropsychol.*, 2012, vol. 34, no. 2, pp. 195–208.

41. 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, vol. 152, pp. 93–104.

42. Reznichenko N.S. Neyrosetevoy podkhod pri reshenii mediko-biologicheskikh problem [Neural Network Approach to the Solution of Biomedical Problems]. *Vestnik KGPU im. V.P. Astaf'eva*, 2013, no. 4, pp. 279–283. Available at: <http://cyberleninka.ru/article/n/neyrosetevoy-podhod-pri-reshenii-mediko-biologicheskikh-problem> (accessed 22 November 2017).

43. Reznichenko N.S., Shilov S.N. Ispol'zovanie neyrosetevoy sistemy dlya diagnostiki sindroma defitsita vnimaniya s giperaktivnost'yu [The Use of Neural Network System for Diagnosing Attention Deficit Hyperactivity Disorder]. *Vestnik Severnogo (Arkticheskogo) federal'nogo universiteta. Ser.: Mediko-biologicheskie nauki*, 2014, no. 1, pp. 48–54.

44. Berebin M.A., Pashkov S.V. Opyt primeneniya iskusstvennykh neyronnykh setey dlya tseley differentsial'noy diagnostiki i prognoza narusheniy psikhicheskoy adaptatsii [Experience of Using Artificial Neural Networks for Differential Diagnosis and Prediction of Mental Maladaptation]. *Vestnik YuUrGU. Ser.: Komp'yuternye tekhnologii, upravlenie, radioelektronika*, iss. 4, 2006, no. 14, pp. 41–45.

45. Slavutskaya E.V., Slavutskiy L.A. Ispol'zovanie iskusstvennykh neyronnykh setey dlya analiza gendernykh razlichiy mladshikh podrostkov [Using Artificial Neural Networks for Analysis of Gender Differences in Younger Teenagers]. *Psikhologicheskie issledovaniya*, 2012, vol. 5, no. 23, p. 4. Available at: <http://psystudy.ru.0421200116/0028> (accessed 11 November 2017).

DOI: 10.17238/issn2542-1298.2018.6.3.284

Mariya V. Vyucheykaya, Irina N. Kraynova*, Anatoliy V. Gribanov**

*Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov
(Arkhangelsk, Russian Federation)

NEURAL NETWORK TECHNOLOGIES IN MEDICAL DIAGNOSIS (Review)

This review analysed the use of neural network technologies in diagnosis of various diseases within cardiology, oncology, pulmonology, gastroenterology, neurology, psychology, etc. The aim was to identify the areas of medicine applying neural network technologies in the most effective way. We considered the structures, learning algorithms and the accuracy of artificial neural networks. The analysis of literature showed that the best model of artificial neural networks for medical diagnosis and

prediction is the multilayer perceptron, which is a feedforward network wherein each neuron in one layer has directed connections to the neurons of the subsequent layer, without forming any backward or recurrent connections. We also revealed that the best learning algorithms for a multilayer perceptron are the algorithm of backward propagation of errors and the genetic algorithm. The high accuracy of neural network diagnostic models, described in literature, implies their considerable potential for diagnosis and prediction of various diseases in different areas of medicine. Introducing neural network diagnostic models into clinical practice can provide substantial assistance in medical decision-making, improve the quality and accuracy of diagnosis and reduce the time for patient examination. It is also noteworthy that artificial neural networks can be used in medicine as mathematical models. By changing the input parameters of a neural network model and observing the behaviour of the output signals, one can explore the relevant area, identify and study the medical patterns that the artificial neural network has found in the course of training. The obtained data will contribute to theoretical knowledge in various spheres of medicine.

Keywords: *artificial neural networks, medical diagnosis, mathematical modelling.*

Поступила 15.02.2018
Received 15 February 2018

Corresponding author: Mariya Vyucheykaya, *address:* proezd Badigina 3, Arkhangelsk, 163045, Russian Federation; *e-mail:* m.vyucheykaya@narfu.ru

For citation: Vyucheykaya M.V., Kraynova I.N., Gribanov A.V. Neural Network Technologies in Medical Diagnosis (Review). *Journal of Medical and Biological Research*, 2018, vol. 6, no. 3, pp. 284–294. DOI: 10.17238/issn2542-1298.2018.6.3.284