

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В ПРОГНОЗИРОВАНИИ РИСКА ФОРМИРОВАНИЯ ЦЕРЕБРАЛЬНОГО ПАРАЛИЧА У ДЕТЕЙ НА ОСНОВЕ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ПЕРИНАТАЛЬНЫХ ФАКТОРОВ

ОРЛОВА ЕЛЕНА ВЛАДИМИРОВНА, зав. дневным стационаром медицинской реабилитации ГБУ РО «Областная детская клиническая больница», Россия, Ростов-на-Дону, ул. 339-й Стрелковой Дивизии, 14/168, e-mail: orlovae1@yandex.ru

ДУДНИКОВА ЭЛЕОНОРА ВАСИЛЬЕВНА, докт. мед. наук, профессор, зав. кафедрой детских болезней № 1 ФГБОУ ВО «Ростовский государственный медицинский университет» Минздрава России, Россия, Ростов-на-Дону, Нахичеванский пер., 29, e-mail: kaf.det.bol.1@yandex.ru

ВОДОПЬЯНОВ АЛЕКСЕЙ СЕРГЕЕВИЧ, канд. мед. наук, ФКУЗ «Ростовский-на-Дону противочумный институт» Роспотребнадзора, Россия, Ростов-на-Дону, ул. М. Горького, 117, e-mail: alexvod@gmail.com

ЧЕРНОВА МАРИЯ СЕРГЕЕВНА, канд. мед. наук, ассистент кафедры детских болезней № 1 ФГБОУ ВО «Ростовский государственный медицинский университет» Минздрава России, Россия, Ростов-на-Дону, Нахичеванский пер., 29, e-mail: marysia2005.87.11@mail.ru

Реферат. Цель исследования – разработать методику и создать нейросетевой программный комплекс для прогнозирования риска формирования церебрального паралича у детей. **Материал и методы.** В исследовании приняли участие дети с диагнозом «церебральный паралич», подтвержденным данными клинических, инструментальных и лабораторных методов исследования, а также дети, не имеющие диагностированных заболеваний центральной нервной системы. Кроме изучения первичной медицинской документации использовали анкетирование матерей с последующим заполнением индивидуальной карты. Статистическая обработка данных проводилась с использованием точного теста Фишера, прикладного пакета программ «Statistica Neural Networks». Программное обеспечение разрабатывали на языке программирования Java с использованием модуля Encog 3.4. **Результаты и их обсуждение.** На основе искусственной нейронной сети разработана методика оценки влияния 20 перинатальных факторов на риск формирования детского церебрального паралича. Для практического применения создан программный комплекс на языке программирования Java, позволяющий проводить быструю оценку риска развития детского церебрального паралича. **Выводы.** Были выделены статистически значимые признаки, влияющие на риск формирования церебрального паралича у детей. Разработан нейросетевой классификатор. Рассчитаны показатели значимости параметров, которые имели наибольшее влияние на риск формирования церебрального паралича у детей. Также было выполнено тестовое прогнозирование разработанной экспертной системы с использованием контрольной выборки пациентов.

Ключевые слова: дети, факторы риска, детский церебральный паралич, искусственная нейронная сеть.

Для ссылки: Применение нейронных сетей в прогнозировании риска формирования церебрального паралича у детей на основе оценки влияния перинатальных факторов / Е.В. Орлова, Э.В. Дудникова, А.С. Водопьянов, М.С. Чернова // Вестник современной клинической медицины. – 2019. – Т. 12, вып. 3. – С.40–43. DOI: 10.20969/VSKM.2019.12(3).40-43.

NEURAL NETWORK APPLICATION FOR CEREBRAL PALSY PREDICTION IN CHILDREN BASED ON PERINATAL FACTOR INFLUENCE EVALUATION

ORLOVA ELENA V., Head of day care hospital for medical rehabilitation of Regional Pediatric Clinical Hospital, Russia, Rostov-on-Don, Strelcovaya Divizya 339 str., 14/168, e-mail: orlovae1@yandex.ru

DUDNIKOVA ELEONORA V., D. Med. Sci., professor, Head of the Department of pediatric diseases № 1 of Rostov State Medical University, Russia, Rostov-on-Don, Nakhichevan layn, 29, e-mail: kaf.det.bol.1@yandex.ru

VODOPYANOV ALEXEY S., C. Med. Sci., Rostov-on-Don Anti-Plague Institute of Federal Service on Surveillance for Consumer rights protection and human well-being, Russia, Rostov-on-Don, M. Gorky str., 117, e-mail: alexvod@gmail.com

CHERNOVA MARIA S., C. Med. Sci., assistant of professor of the Department of pediatric diseases № 1 of Rostov State Medical University, Russia, 101, Rostov-on-Don, Nakhichevan layn, 29, e-mail: marysia2005.87.11@mail.ru

Abstract. Aim. Development of a methodology and creation of a neural network software package for cerebral palsy risk prediction in children was the aim of the study. **Material and methods.** The study involved children with a diagnosis of cerebral palsy, confirmed by clinical, instrumental and laboratory study methods, as well as the children without diagnosed central nervous system diseases. In addition to primary medical documentation review, we surveyed mothers followed by filling out an individual card. Statistical data processing was carried out using Fisher's exact test using StatisticaNeuralNetworks software package. The software was developed in Java programming language using the Encog 3.4 module. **Results and discussion.** Based on an artificial neural network, we developed a method assessing the influence of 20 perinatal factors on cerebral palsy development risk. The software package to be used in routine practice has been created in Java programming language, which allows quick cerebral palsy risk assessment. **Conclusion.** Statistically significant factors that influence cerebral palsy development risk in children were identified. We developed neural network classifier. Significance indicators of the parameters that had the greatest influence on the risk of cerebral palsy development in children were calculated. Test prediction of the developed expert system was also performed using control patient sample.

Key words: children, risk factors, cerebral palsy, artificial neural network.

For reference: Orlova EV, Dudnikova EV, Vodopyanov AS, Chernova MS. Neural network application for cerebral palsy prediction in children based on perinatal factor influence evaluation. The Bulletin of Contemporary Clinical Medicine. 2019; 12 (3): 40-43. **DOI:** 10.20969/VSKM.2019.12(3).40-43.

Введение. Медицинская наука находится на этапе поиска информационных методов, позволяющих внедрить программированное прогнозирование в лечебно-профилактический процесс с использованием технологии нейронных сетей [1, 3, 4].

Большинство ученых всего мира приходят к мнению, что обычные методы, алгоритмы и модели не могут применяться для решения проблем медицинской науки в связи с их ненадежностью и низким коэффициентом эффективности. В этой связи данная задача легко может быть решена с помощью искусственной нейронной сети, которая помогает врачу-исследователю на основании множества данных выявлять скрытые закономерности и выделять наиболее значимые факторы. В приложении к медицинской диагностике нейронные сети дают возможность значительно повысить специфичность метода, не снижая его чувствительности [1, 5, 6, 7].

В настоящее время сложность прогнозирования заключена в том, что врач субъективно оценивает риск формирования того или иного осложнения или течение какой-то конкретной нозологии, основываясь только на своем знании и опыте, в то время как нейронные сети с помощью обработки большого количества информации могут найти такие алгоритмы, которые зачастую выявить врачу совершенно невозможно [7, 9, 10].

Отличительная особенность нейронной сети заключается именно в том, что обработка информации происходит параллельно работе всех звеньев, что позволяет существенно снизить время процесса и свидетельствует о широких возможностях и огромном потенциале сети. Кроме того, при большом числе межнейронных соединений сеть приобретает устойчивость к ошибкам, возникающим на некоторых линиях [11].

Цель исследования – разработка методики и создание нейросетевого программного комплекса для прогнозирования риска формирования церебрального паралича у детей.

Материал и методы. Проведено ретроспективное изучение первичной медицинской документации 407 детей от 1 года до 18 лет, проходивших лечение в ГБУ РО ОДКБ г. Ростова-на-Дону с 2014 по 2017 г. Из 407 детей 325 составили группу 1 для построения модели [подгруппа 1А – 178 детей с установленным диагнозом «детский церебральный паралич» (ДЦП) и подгруппа 1Б – 147 детей, не имеющих диагностированных заболеваний центральной нервной системы (ЦНС)], 82 ребенка составили группу 2 для проверки модели (подгруппа 2А – 61 ребенок с установленным диагнозом ДЦП и подгруппа 2Б – 21 ребенок, не имеющий заболеваний ЦНС).

Диагноз устанавливали на основании жалоб, анамнеза заболевания, а также данных объективного обследования больного. Кроме изучения первичной медицинской документации использовали анкетирование матерей с последующим заполнением

индивидуальной карты, в которую были внесены следующие сведения: фамилия, имя, отчество; пол; дата рождения; возраст матери на момент родов; наличие наследственной отягощенности по патологии нервной системы; акушерский анамнез; соматическая, инфекционная патология матери; аллергические заболевания у матери; профессиональные вредности, вредные привычки; течение беременности; течение родов; течение раннего неонатального периода; течение периода новорожденности; оценка нервно-психического развития (НПР) ребенка; данные объективного исследования, оценка неврологического статуса с использованием шкалы Эшворта, системы классификации GMFCS; данные нейровизуализации [нейросонография (НСГ), компьютерная томография (КТ), магнитно-резонансная томография (МРТ) головного мозга]; клинический диагноз, выставленный в соответствии с МКБ-10.

Критерии включения в исследование: возраст – от 1 до 18 лет, наличие у ребенка ДЦП для пациентов подгрупп 1А и 2А, для подгрупп 1Б и 2Б – отсутствие диагностированного заболевания ЦНС, информированное согласие на участие в исследовании.

Критерии исключения: отсутствие согласия родителей или законных представителей ребенка на участие в исследовании, участие в каком-либо другом научном исследовании.

Статистическая обработка данных проводилась с использованием точного теста Фишера, прикладного пакета программ «Statistica Neural Networks». Статистически значимое различие определялось при $p < 0,05$.

Программное обеспечение разрабатывали на языке программирования Java с использованием модуля Encog 3.4. Проведенное исследование одобрено этическим комитетом.

Результаты и их обсуждение. Информация о каждом пациенте была представлена в виде многомерного вектора, характеризующаяся 42 входными параметрами: данными анамнеза, клинического осмотра, инструментального и лабораторного исследования. С помощью точного теста Фишера на первом этапе из вышеуказанных входных параметров были отобраны только те факторы, которые показали статистически значимые различия между группами. Так, наличие акушерской патологии чаще фиксировалось у матерей подгруппы А [85 (48%)], чем в подгруппе Б [14 (10%)] ($p < 0,0001$), выкидыш в анамнезе отмечен у 20 (11%) матерей подгруппы А и у 2 (1%) из подгруппы Б ($p = 0,0003$). Дети с ДЦП чаще были рождены от матерей, имевших в анамнезе искусственное прерывание беременности [в подгруппе А 37 (21%) женщин против 12 (8%) в подгруппе Б ($p = 0,002$)]. Большая частота выявления была присуща пациентам подгруппы А по таким факторам, как слабость родовой деятельности – 55 (31%), против 30 (20%) подгруппы Б ($p = 0,001$); стремительные роды – 37 (21%) матерей подгруппы А против 17 (12%) подгруппы Б ($p = 0,001$); тугое обвитие пуповиной во-

Исходные данные для создания модели искусственной нейронной сети

Вид переменной	Факторы
Входные переменные	Отягощенный акушерский анамнез
	Отягощенный наследственный анамнез
	Выкидыш
	Аборт
	Течение первой половины беременности
	Течение второй половины беременности
	ОРВИ во время беременности
	Родовая деятельность без отклонений
	Слабая родовая деятельность
	Стремительные роды
	Ребенок родился доношенным или нет
	Тугое обвитие пуповиной вокруг шеи
	Асфиксия
	Апноэ
	Желтуха
	Судороги
	Интубация
Малый вес при рождении	
0–3 балла по шкале Апгар	
4–5 баллов по шкале Апгар	
6–7 баллов по шкале Апгар	
8–10 баллов по шкале Апгар	
Выходная переменная	Ребенок имеет или не имеет церебральный паралич

Таблица 2

Качество логистической модели для предсказания риска рождения ребенка с ДЦП

Новорожденные при влиянии различных факторов	Прогностические значения*		
	Болен	Здоров	
Наблюдаемые значения	Болен	48	13
	Здоров	2	19

Примечание. *Точность прогноза разработанной нами нейронной сети – 81,7%.

круг шеи – 61 (34%) ребенок в подгруппе А против 21 (14%) в подгруппе Б ($p < 0,0001$), асфиксия у 148 (83%) детей из подгруппы А против 23 (16%) детей из подгруппы Б ($p < 0,0001$), малый вес при рождении в подгруппе А был у 103 (58%) пациентов против 31 (21%) в подгруппе Б ($p = 0,0005$), наличие желтухи у 74 (42%) детей в подгруппе А против 32 (22%) в подгруппе Б ($p = 0,0001$), апноэ отмечалось у 131 (74%) ребенка подгруппы А ($p < 0,0001$), судороги у 28 (16%) детей подгруппы А ($p < 0,0001$), интубация у 80 (45%) детей из подгруппы А ($p < 0,0001$). Значимым фактором явился уровень оценки по шкале Апгар ниже 8 баллов ($p = 0,0005$). Дети из подгруппы А были чаще рождены раньше срока – 95 (53%) детей против 36 (24%) из подгруппы Б ($p < 0,0001$). Судороги, интубация, апноэ, оценка по шкале Апгар 1–3 балла при рождении не отмечались ни у одного ребенка подгруппы Б.

Учитывая все полученные результаты, для построения искусственной нейронной сети использовались 23 переменные по каждому пациенту. Результирующей переменной для решения данной задачи прогнозирования был критерий: здоров ребенок или имеет церебральный паралич (табл. 1). Процесс обучения искусственной нейронной сети сводится к формированию определенных закономерностей путем сравнения с эталонами. На выходе мы получаем некий вывод, который делается на основании полученного опыта. Наиболее значимыми показателями ($p < 0,05$) явились: отягощенный акушерский и наследственный анамнез, выкидыши, аборты, как протекала первая и вторая половина беременности, указание в анамнезе на перенесенную матерью ОРВИ во время беременности данным ребенком, течение родов, срок гестации, количество баллов по шкале Апгар при рождении, наличие апноэ, асфиксии, был ли ребенок интубирован, гипотрофия, судороги, желтуха, тугое обвитие вокруг шеи.

Нами разработан программный пакет для построения модели искусственной нейронной сети (ИНС) прогнозирования формирования церебрального паралича у детей с помощью полученных закономерностей в среде «Statistica Neural Networks».

Тестирование экспертной системы проводилось на 82 примерах, среди которых 61 ребенок имел ДЦП, 21 ребенок не имел диагностированных заболеваний ЦНС. Пороговый уровень системы – 61%. При этом нейронная сеть имеет чувствительность 78,7%, специфичность – 90,5% (табл. 2).

Автоматизирование в системе медицины позволит ускорить работу специалистов, освободив значительное количество времени для выполнения ими рутинных процедур; повысить качество профилактических, лечебных и диагностических процедур. Весьма актуальным является повышение доступности средств автоматизации для врачей первичного звена. Одним из факторов, тормозящих внедрение процессов автоматизации в первичном звене медицины, является высокая стоимость ряда программ медицинской направленности, что в большей степени характерно для зарубежного программного обеспечения. Помимо этого, зачастую для работы аналитического программного обеспечения требуются довольно серьезные вычислительные мощности, что

также тормозит их внедрение в практику отечественного здравоохранения. Для решения этих проблем разработанное нами программное обеспечение предполагается распространять бесплатно среди специалистов здравоохранения. В совокупности с низкими требованиями к характеристике компьютера (около 100 Мб оперативной памяти и 300 Мб на жестком диске) это может существенно повысить доступность разработанной нами методики.

Весьма актуальным является переход государственных учреждений на отечественное программное обеспечение, что делает невозможным работу в программах, рассчитанных на операционную систему Windows. В то время как разработанная нами программа является кросс-платформенной, обеспечивая стабильную работу в операционных системах как на основе Windows, так и на базе Linux.

Выводы:

1. Выделены статистически значимые признаки, влияющие на риск формирования церебрального паралича у детей.

2. Разработан нейросетевой классификатор. Рассчитаны показатели значимости параметров,

которые имели наибольшее влияние на риск формирования церебрального паралича у детей.

3. Выполнено тестовое прогнозирование разработанной экспертной системы с использованием контрольной выборки пациентов.

Прозрачность исследования. Исследование не имело спонсорской поддержки. Авторы несут полную ответственность за предоставление окончательной версии рукописи в печать.

Декларация о финансовых и других взаимоотношениях. Все авторы принимали участие в разработке концепции, дизайна исследования и в написании рукописи. Окончательная версия рукописи была одобрена всеми авторами. Авторы не получали гонорар за исследование.

ЛИТЕРАТУРА

1. Нейросетевые технологии и вопросы идентификации в медицинских исследованиях. Часть II / Г.В. Воронин, Е.М. Пальцева, В.В. Руанет [и др.] // Вестник новых медицинских технологий. – 2009. – № 1. – С.33–34.
2. Ефимова, Н.В. Опыт использования искусственных нейронных сетей при прогнозировании заболеваемости населения / Н.В. Ефимова, А.Ю. Горнов // Экология человека. – 2010. – № 3. – С.3–7.
3. Литвин, А.А. Возможности прогнозирования осложненного лечения острого панкреатита / А.А. Литвин, О.Г. Жариков // Новые технологии в медицине. – 2007. – № 1. – С.77–79.
4. Милова, К.А. Интеллектуальная система прогнозирования развития осложнений у хирургических больных / К.А. Милова // Нейрокомпьютеры. – 2010. – № 11. – С.59–61.
5. Богославский, С.Н. Область применения искусственных нейронных сетей и перспективы их развития / С.Н. Богославский // Научный журнал КубГАУ. – 2007. – № 27. – С.20–27.
6. Нейросетевые технологии и вопросы идентификации в медицинских исследованиях. Часть I / Г.В. Воронин, Е.М. Пальцева, В.В. Руанет [и др.] // Вестник новых медицинских технологий. – 2008. – № 4. – С.192–196.
7. Прогнозирование послеоперационных осложнений на основе нейросетевых технологий / Л.А. Басова, О.Е. Карякина, Н.А. Мартынова, Л.В. Кочорова // Вестник новых медицинских технологий. – 2015. – Т. 22, № 4. – С.117–121.
8. Жилин, В.В. Прогнозирование исхода процедуры неинвазивной элиминации конкрементов с использованием гибридных технологий нечеткой логики принятия решений и нейронных сетей: дис. ... канд. техн. наук / Жилин Виталий Валерьевич. – Курск: ГОУ ВПО «Курский государственный технический университет», 2009. – 125 с.
9. Круглов, В.В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика / В.В. Круглов, В.В. Борисов. – М.: Горячая линия Телеком, 2001. – 382 с.
10. Применение нейронных сетей в выборе метода лечения мочекаменной болезни / Ф.П. Капсаргин, А.В. Ершов, Л.Ф. Зуева [и др.] // Омский научный вестник. – 2015. – № 1 (138). – С.68–70.
11. Солдатова, О.П. Применение нейронных сетей для решения задач прогнозирования / О.П. Солдатова, В.В. Семенов // Исследовано в России: электронный научный журнал. – 2006. – URL: <http://zhurnal.gpi.ru/articles/2006/136.pdf>
12. Heaton, J. Encog: Library of Interchangeable Machine Learning Models for Java and C / J. Heaton // Journal of Machine Learning Research. – 2015. – Vol. 16. – С.1243–1247.

REFERENCES

1. Voronin GV, Pal'ceva EM, Ruanet VV, Hadarcev AA, Hetagurova AK. Nejrosetevye tekhnologii i voprosy identifikacii v medicinskih issledovaniyah; chast' II [Neuro-network technologies and identification in medical research; part II.] Vestnik novyh medicinskih tekhnologij [Bulletin of new medical technologies]. 2009; 1: 33–34.
2. Efimova NV, Gornov AYU. Opyt ispol'zovaniya iskusstvennyh nejronnyh setej pri prognozirovanii zabolevaemosti naseleniya [Experiment using artificial neural networks in predicting the incidence of diseases within the population]. Ekologiya cheloveka [Human ecology]. 2010; 3: 3–7.
3. Litvin AA, Zharikov OG. Vozmozhnosti prognozirovaniya oslozhnennogo lecheniya ostrogo pankreatita [Predicting capabilities for the complicated treatment of acute pancreatitis]. Novye tekhnologii v medicine [New technologies in medicine]. 2007; 1: 77–79.
4. Milova KA. Intel'ktual'naya sistema prognozirovaniya razvitiya oslozhnenij u hirurgical'eskih bol'nyh [Intellectual system for predicting the development of complications in surgical patients]. Nejrokom'pyutery [Neuro-computers]. 2010; 11: 59–61.
5. Bogoslavskij SN. Oblast' primeneniya iskusstvennyh nejronnyh setej i perspektivy ih razvitiya [Application scope of artificial neural networks and their development prospects]. Nauchnyj zhurnal KubGAU [Scientific journal of KubSAU]. 2007; 27: 20–27.
6. Voronin GV, Pal'ceva EM, Ruanet VV, Hadarcev AA, Hetagurova AK. Nejrosetevye tekhnologii i voprosy identifikacii v medicinskih issledovaniyah; chast' I [Neural network technologies and identification in medical research; part I]. Vestnik novyh medicinskih tekhnologij [Bulletin of new medical technologies]. 2008; 4: 192–196.
7. Basova LA, Karyakina OE, Martynova NA, Kochorova LV. Prognozirovanie posleoperacionnyh oslozhnenij na osnove nejrosetevykh tekhnologij [Prediction of postoperative complications based on neural network technologies]. Vestnik novyh medicinskih tekhnologij [Bulletin of new medical technologies]. 2015; 22 (4): 117–121.
8. Zhilin VV. Prognozirovanie iskhoda procedury neinvazivnoj eliminacii konkretov s ispol'zovaniem gibridnykh tekhnologij nechetkoj logiki prinyatiya reshenij i nejronnyh setej [Predicting the outcome of non-invasive elimination procedures of calculi using hybrid fuzzy decision-making logic and neural networks]. Kursk: Kurskiy gosudarstvennyy tekhnicheskij universitet [Kursk State Technical University]. 2009; 125 p.
9. Kруглов ВВ, Борисов ВВ. Искусственные нейронные сети: теория и практика [Artificial neural networks: theory and practice]. Moskva: Goryachaya liniyaTelekom [Moscow: Hotline Telecom]. 2001; 382 p.
10. Kapsargin FP, Ershov AV, Zueva LF, Myltygashev MP, Berezhnoj AG. Primenenie nejronnyh setej v vybere metoda lecheniya mochekamennoj bolezni [The use of neural networks in the choice of treatment of urolithiasis]. Omskiy nauchnyj vestnik [Omsk Scientific bulletin]. 2015; 1 (138): 68–70.
11. Soldatova OP, Semenov VV. Primenenie nejronnyh setej dlya resheniya zadach prognozirovaniya [The use of neural networks to solve prediction problems]. Elektronnyj nauchnyj zhurnal «Issledovano v Rossii» [Electronic scientific journal «Research in Russia»]. 2006; <http://zhurnal.gpi.ru/articles/2006/136.pdf>
12. Heaton J. Encog: Library of Interchangeable Machine Learning Models for Java and C. Journal of Machine Learning Research. 2015; 16: 1243–1247.