

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ОРГАНИЗМА

Черкашина Ю.А., Вадутова Ф.А.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия (634050, Россия, г. Томск, проспект Ленина, 30), e-mail: cherr999y@mail.ru

Исследования посвящены применению нейросетевых технологий для оценки функционального состояния здоровья детей раннего неонатального периода на основе медицинских данных анализа крови, системы гемостаза и других параметров, отвечающих за жизнедеятельность организма, измеренных в первые дни жизни ребенка. В работе дана подробная характеристика исследуемых медицинских данных. Произведен краткий обзор моделей решения задачи. В статье подробно рассмотрены технологии построения искусственных нейронных сетей. В результате исследования построена классификационная таблица прогнозируемых значений и фактических наблюдаемых значений, определена общая процентная доля правильного распознавания. Цель работы: диагностика функционального состояния здоровья новорожденных детей с учетом их индивидуальных особенностей на основе математических методов. Полученные результаты позволяют ускорить процесс принятия решения медицинским работником о необходимости: отнесения ребенка в группу риска; назначения дополнительного обследования; формирования профилактических мероприятий.

Ключевые слова: доказательная медицина, информативность, нейронная сеть, модель, алгоритм, гипоксическо-ишемическая энцефалопатия, неонатальный период, представительность, чувствительность, диагностика.

NEURAL NETWORKS FOR SOLVING PROBLEMS OF DIAGNOSING THE FUNCTIONAL STATE OF THE ORGANISM

Cherkashina Y. A., Vadutova F. A.

National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia, 634050, Tomsk, Lenin Avenue, 30, e-mail: cherr999y@mail.ru

The article includes results of scientific researches achieved at department of Applied Mathematics at National Research Tomsk Polytechnic University. Researches are devoted the application of neural network to assess the health status of children in the first days of life, based on medical data blood analysis, hemostatic system and other parameters responsible for vital functions of the body, measured from the first days of life. In this paper a detailed description of the studied medical data is given. Technology of neural network is discussed in the article. Classification table predicted values and factual observed values is presented, the overall percentage of correct recognition is determined. Purpose of work: diagnostics of functional state of children's health, taking into account their individual characteristics, based on mathematical methods. The results allow facilitating the decision making process of health professionals and include the child at risk, additional inspection and preventive measures.

Keywords: evidence-based medicine, informative, neural network, model, algorithm, hypoxic-ischemic encephalopathy, neonatal, representativeness, sensitivity, diagnosis.

В настоящее время во всем мире пристальное внимание акушеров-гинекологов, неонатологов, педиатров уделяется улучшению состояния здоровья рождающегося поколения.

Самым важным периодом в жизни ребенка, когда закладывается его физическое и психическое здоровье, является грудной возраст, в котором большое значение придается его развитию в раннем неонатальном периоде (от 0 до 10 дней). Известно, что предрасположенность человека к различным заболеваниям закладывается в основном в

первые дни жизни, поэтому актуальными являются задачи оценки состояния здоровья детей именно в этот период.

Снижение перинатальной заболеваемости и ее возможных последствий всегда было и остается одной из важнейших задач акушерства, перинатологии и неонатологии [2]. Особенно острой проблемой является возможность выявления патологий и хронических заболеваний на ранних этапах развития. Решение задачи диагностирования состояния здоровья детей относится к разделам доказательной медицины. Доказательная медицина – это использование результатов лучших клинических исследований для выбора лечения конкретного пациента и интеграция лучших научных доказательств с клиническим опытом [7].

Необходимым условием для доказательной медицины является наличие в запасе врача при принятии решения по результатам обследования обоснованных методов и критериев, обеспечивающих объективные доказательства постановки диагноза и проводимого курса лечения [3]. От того насколько качественно, быстро и полно составлен прогноз, зависит качество оказания медицинской помощи новорожденному, что является одним из важнейших показателей эффективности всей медицинской помощи населению.

Гипоксически-ишемическая энцефалопатия

Перинатальная гипоксически-ишемическая энцефалопатия – это следствие недостаточного кровоснабжения головного мозга ребенка во время беременности матери, родов или в течение первого месяца его жизни. Согласно статистике в промышленно развитых странах перинатальная асфиксия поражает 3–5 новорожденных на 1000 рожденных живыми. При этом у 0.5–1 новорожденного на 1000 рождённых живыми развивается поражение головного мозга в форме гипоксической ишемической энцефалопатии. Почти 60 % детей с ГИЭ умирают, а у 25 % выживших остаются серьезные дефекты [1].

Применение математических методов для решения задачи диагностики ГИЭ могут помочь клиническим врачам выявлять младенцев с ГИЭ и своевременно оказать высокотехнологичную помощь, что может предотвратить развитие инвалидизирующей патологии, и, как следствие, снизить затраты на выхаживание и реабилитацию новорожденного, перенесшего критическое состояние в неонатальном периоде.

Математическая постановка задачи

Предположим, что каждый класс описывается n характеристическими признаками, которые представляют собой набор показателей (показатели крови, гомеостаза и др.).

Имеем вектор $X (x_1, x_2, \dots, x_n)$, где x_i – показатели, характеризующие функциональное состояние организма ребенка, n – количество учитываемых показателей. Каждый ребенок относится к одному из 2-х непересекающихся классов $m = 2$ (диагнозов):

- здоровые;
- больные.

В нашем случае исследования проводились по следующим показателям, измеренные на 3–5 сутки жизни ребенка:

- 3 показателя гемостаза (период реакции; время достижения максимальной амплитуды и формирования полноценного сгустка крови, фибрин-тромбоцитарная константа крови);
- 9 показателей общего и биохимического анализов крови (общий билирубин, лимфоциты, моноциты, гемоглобин, сегментоядерные нейтрофилы, палочкоядерные нейтрофилы, скорость оседания эритроцитов, количество эритроцитов, аспаратаминотрансфераза);
- гестационный возраст;
- васкулоэндотелиальный фактор роста.

Требуется по имеющимся показателям дать оценку функциональному состоянию организма ребенка.

Выбор программного обеспечения

В работе для генерации нейронных сетей используется нейроимитатор Neural Network Toolbox MatLab.

MatLab, разработка компании Math Works – пакет прикладных программ для решения задач технических вычислений и одноимённый язык программирования, используемый в этом пакете. В настоящее время MatLab является мощным и универсальным средством решения задач, возникающих в различных областях человеческой деятельности.

Пакет Neural Networks Toolbox Matlab – это полноценная среда, предназначенная для решения прикладных задач с использованием нейронных сетей. NNT обеспечивает всестороннюю поддержку проектирования, обучения и моделирования множества известных сетевых парадигм, от базовых моделей перцептрона до самых современных ассоциативных и самоорганизующихся сетей. Toolbox NNT Matlab может использоваться для решения множества разнообразных задач: обработка сигналов, нелинейное управление, финансовое моделирование и т.п.

Анализ результатов

Исследования направлены на диагностику функционального состояния организма ребенка с помощью методов доказательной медицины и сопоставление полученных результатов с диагностикой, проводимой врачами.

По результатам обследования 102 детей формируется выборка, которая разделена на 2 класса (диагноза): здоровые (71 ребенок) и больные (31 ребенок).

В процессе исследования построена нейронная сеть, результатом которой является отнесение объекта к одному из классов (болен, здоров).

Задача заключалась в обучении нейронной сети с 14 входами, представляющими собой медицинские показатели (3 показателя гомеостаза и 9 показателей анализа крови, срок гестации и ВЕГФ), и 1 выходом, который определяет диагноз. Данная задача относится к классу задач классификации, т. е. необходимо определить значение (0 или 1) выхода нейронной сети относительно каждого набора входных данных.

Работа с нейронной сетью начинается с подготовки данных для обработки в пакете NNT MatLab. Входные данные нейронной сети представляются в виде матрицы размерностью 14×102 , где количество строк – это количество входов, количество столбцов – это количество объектов для обучения.

Выходные данные нейронной сети представляются в виде матрицы размерностью 1×102 , где количество строк – это количество выходов, количество столбцов – количество объектов для обучения. Исходная выборка была разбита на 2 группы: обучающая (71 ребенок) и тестируемая (31 ребенок).

В настоящее время не существует точных критериев выбора модели нейронной сети, данный выбор основан на опыте исследователей и зависит непосредственно от решаемой задачи. Проанализировав результаты работ ряда авторов [4, 5, 8], принято решение остановиться на модели трехслойной сети. В качестве обучающего алгоритма выбран алгоритм обратного распространения ошибки, поскольку, обладая таким достоинством, как быстрое вычисление градиента функции ошибки, используемого для выбора направления коррекции весов, данный алгоритм реализует вычислительно эффективный метод обучения многослойной нейронной сети. Данный тип сети часто используется для решения задач классификации с помощью нейронной сети.

В качестве функции активации использована сигмоидальная функция

$$f(S) = \frac{1}{1 + e^{-S}} \quad (1),$$

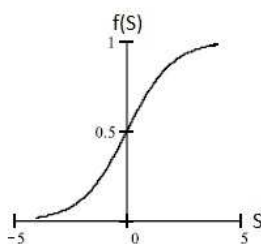


Рис. 1. Сигмоидальная функция

Данная функция удовлетворяет основному требованию алгоритма обратного распространения ошибки: имея достаточно простую производную, функция всюду дифференцируема. Кроме этого, достоинством данной функции активации является способность усиливать слабые сигналы лучше, чем большие, и сопротивляться «насыщению» от мощных воздействий [4].

Оценка необходимого числа синаптических весов n_w и числа нейронов в скрытых слоях n в многослойной сети с сигмоидальной передаточной функцией осуществлялась по формулам

$$\frac{n_y n_p}{1 + \log_2 n_p} \leq n_w \leq n_y \left(\frac{n_p}{n_x} + 1 \right) (n_x + n_y + 1) + n_y \quad (2)$$

$$n = \frac{n_w}{n_x + n_y} \quad (3).$$

где n_y – размерность выходного вектора ИНС; n_p – число элементов обучающей выборки; n_x – размерность входного вектора ИНС.

Оценив по количеству синаптических весов: $34 \leq n_w \leq 129$, было получено количество нейронов в скрытом слое: $2 \leq n \leq 9$.

Недостаточное количество нейронов в скрытом слое может привести к недообучению нейронной сети, а избыточное количество нейронов будет способствовать увеличению времени обучения сети. Для проведения исследования было принято использовать 10 нейронов в скрытом слое.

Таким образом, структура сети имеет следующий вид: 14 нейронов во входном слое и 1 – в выходном и 10 нейронов в скрытом слое.

После подбора параметров нейронной сети проведено ее обучение. Общее качество распознавания с использованием НС представлено в таблице 1.

Таблица 1

Результат распознавания НС

Наблюдаемые		Предсказанные		
		Значение		% правильных
		здоров	болен	
Значение	здоров	30	1	96,8
	болен	2	69	97,2
Общая процентная доля		93,8	98,6	97,1

Качество распознавания обучающей и тестовой выборок с использованием нейронной сети представлено в таблицах 2 и 3.

Таблица 2

Результат обучения НС

Наблюдённые		Предсказанные		
		Значение		%
		здоров	болен	
Значение	здоров	18	0	100
	болен	0	54	100
Общая процентная доля		100	100	100

Таблица 3

Результат тестирования НС

Наблюдённые		Предсказанные		
		Значение		%
		здоров	болен	
Значение	здоров	12	1	92,3
	болен	2	15	88,2
Общая процентная доля		85,7	93,8	90,3

Таким образом, точность нейронной сети составляет 97,1 %. Следовательно, ошибка нейронной сети составляет 2,9 %. Практически нулевая ошибка достигается за 15 циклов обучения, средняя квадратическая ошибка тестовой выборки составляет 0,004, что соответствует ожидаемому результату.

Достоверность полученных результатов значительно повышается, т. к. точность постановки правильного диагноза экспертом составляет 89 % [3]. Полученные данные на основе исследуемых показателей дают возможность оперативно оценить функциональное состояние ребенка в раннем неонатальном периоде и скорректировать программу лечения.

Следует отметить, что данные подходы не применимы для определения заболеваний, не связанных с гипоксией. Для оценки состояния здоровья детей с другими заболеваниями будут внесены изменения в параметры, что повлечет за собой изменение критериев для диагностики новорожденного.

Заключение

В результате исследований произведена диагностика функционального состояния здоровья новорожденных детей с учетом их индивидуальных особенностей на основе математических методов.

Использование нейросетевых технологий вносит существенный вклад в развитие доказательной медицины. Полученные результаты на основе предложенных подходов дают возможность при оценке функционального состояния здоровья ребенка и корректировке программы лечения опираться не только на знания и интуицию врача, но и на доказательные выводы.

Список литературы

1. Гергет О.М. Автоматизированная информационная система оценки адаптации развивающихся систем / О.М. Гергет, О.Г. Берестнева, Я.С. Пеккер // Проблемы информатики. – 2011. – № 2. – С. 76-82.
2. Гергет О.М. Использование энергетических и информационных показателей в оценке состояния функционирования медицинских систем / О.М. Гергет, А.И. Кочегуров // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т. 321, № 5. – С. 117-120.
3. Гублер Е.В. Вычислительные методы анализа и распознавания патологических процессов. – Л.: Медицина, 1978. – 296 с.
4. Девярых Д.В. Применение искусственных нейронных сетей для прогнозирования развития перинатального поражения нервной системы / Д.В. Девярых, О.М. Гергет, И.В. Михаленко // Известия ВолгГТУ. – 2013. – № 8 (111).
5. Джейн А.К. Введение в искусственные нейронные сети / А.К. Джейн, Ж. Мао, К.М. Моиддин // Открытые системы. – 1997. – № 4. – С. 16-24.
6. Кривоногова Т.С. Роль раннего комплекса оздоровительных мероприятий в охране здоровья матерей и их детей / Т.С. Кривоногова, В.А. Желев, Т.Е. Тропова, О.М. Гергет // Российский вестник перинатологии и педиатрии. – 2009. – Т. 54, № 3. – С. 14-19.
7. Прогнозирование здоровья детей раннего возраста / Е.И. Степанова, Р.П. Нарциссов, В.А. Кочегуров, Л.И. Константинова. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 1987. – 160 с.
8. Семейкин В.Д. Моделирование искусственных нейронных сетей в среде MATLAB / В.Д. Семейкин, А.В. Скупченко // Вестник АГТУ. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2009. – № 1.
9. Черкашина Ю.А. Применение математических методов в задаче диагностики состояния здоровья детей первого года жизни // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 5 – С. 34-37.

Рецензенты:

Берестнева О.Г., д.т.н., профессор, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Институт кибернетики, кафедра прикладной математики, г. Томск;

Дмитриев В.М., д.т.н., профессор, Томский университет систем управления и радиоэлектроники, г. Томск.