

УДК 519.7:616–053.2

А. А. Шайдуров

Математическая модель анализа медицинских данных на основе соотношения ошибок первого и второго рода

A. A. Shaidurov

Mathematical Model for Analysis of Medical Data Based on Relative Errors of the First and Second Kind

Предлагается способ построения математической модели анализа данных и диагностики перинатального поражения центральной нервной системы. Математическая модель основывается на оптимальном соотношении ошибок первого и второго рода.

Ключевые слова: искусственный интеллект, слоистые нейронные сети, обратное распространение ошибки, статистический анализ данных.

DOI 10.14258/izvasu(2013)1.2-26

При математическом анализе данных используются часто применяемые в медицинской статистике такие параметры, как чувствительность и специфичность [1]. Их аналогами в статистике являются ошибки первого и второго рода.

Чувствительность определяется как доля лиц с положительным результатом теста в популяции с изучаемым заболеванием. Чувствительный тест редко пропускает пациентов, у которых имеется болезнь, т. е. его следует выбирать, если имеется риск пропустить опасную, но излечимую болезнь.

Специфичность — это доля лиц с отрицательным результатом теста в популяции без изучаемой болезни. Специфичный тест, как правило, не относит здоровых к категории больных. Специфичные тесты нужны для подтверждения (установления) диагноза, предложенного на основании других данных.

Исходя из таблицы чувствительность (Se) и специфичность (Sp) можно рассчитать следующим образом:

$$Se = \frac{a}{a + c}; \tag{1}$$

$$Sp = \frac{d}{b + d}. \tag{2}$$

Высокочувствительные тесты рекомендуются на ранних стадиях диагностического поиска для сужения его рамок, когда возможных вариантов много и диагностические тесты позволят исключить некоторые из них, т. е. сделать вывод, что эти заболевания маловероятны. А высокоспецифичный тест не должен дать положительный результат в отсутствие заболевания. Высокоспецифичные тесты особенно необходимы, если ложноположительный результат может нанести пациенту вред.

The paper proposes to construct a mathematical model for data analysis and diagnostics of the central nervous system prenatal lesions. A mathematical model is based on the optimal ratio of errors of the first and second kind.

Key words: artificial intelligence, layered neural networks, back-propagation errors, statistical analysis of data.

Соотношение между результатами теста и наличием заболевания

ТЕСТ	БОЛЕЗНЬ	
	Присутствует	Отсутствует
Положительный	Истинно положительный (a)	Ложно положительный (b)
Отрицательный	Ложно отрицательный (c)	Истинно отрицательный

Для большинства диагностических тестов отношение чувствительности и специфичности является обратно пропорциональным. Хотя отношение чувствительности и специфичности индивидуально для каждого теста и зависит от многих причин, для всех сложных тестов характерное отношение чувствительности и специфичности может быть представлено графиком, изображенным на рисунке 1.

Соответственно при оценке пациентов при помощи диагностических тестов применяют либо высокоспецифичные тесты для подтверждения диагноза, либо высокочувствительные тесты при опасности пропустить болезнь [1]. Если отсутствуют причины, заставляющие использовать либо высокоспецифичные, либо высокочувствительные тесты, то желательно использовать диагностические тесты с оптимальным соотношением чувствительности и специфичности (на рисунке 1 — место изгиба функции). При отображении показателей чувствительности и специфичности на графике оптимальным является тест, имеющий такое отношение чувствительности и специфичности, при котором площадь прямоугольника, образованного перпендикулярами, проведенными из точки на графике к координатным осям, является максимальной. Другими словами, оптимальным является тест, удовлетворяющий условию:

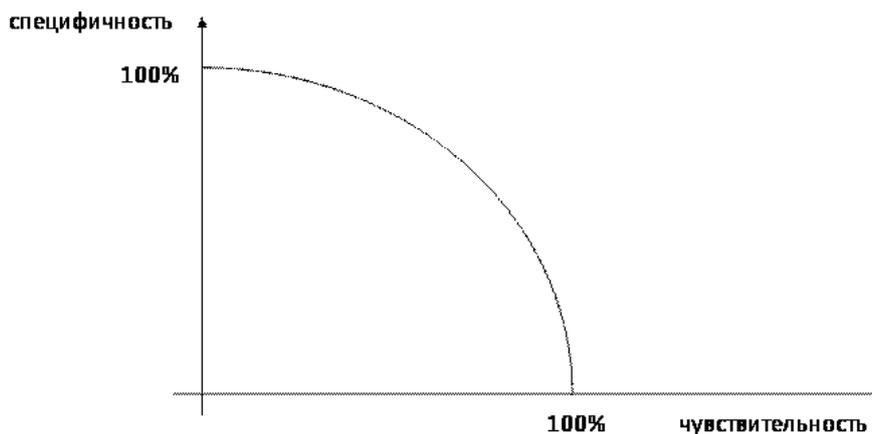


Рис. 1. Характерный вид отношения чувствительности к специфичности

$$Se * Sp = \max. \quad (3)$$

В случае отсутствия оптимального диагностического теста обычно используются комбинации чувствительных и специфичных тестов.

В таком случае система анализа медицинских данных и диагностики заболеваний должна строиться по определенным правилам и может иметь различные модификации в зависимости от того, какие диагностические задачи она должна решать [2].

На первом этапе должен осуществляться статистический анализ входящей информации. В рамках блока статистической обработки информации использование сразу нескольких статистических методов нецелесообразно. Такой вывод был сделан исходя из результатов исследований. Статистические методы выявляют различные наборы статистически значимых симптомов. Естественно, что эти наборы симптомов пересекаются не полностью. Исследования показали, что использование всех выявленных симптомов не улучшает процесс диагностики, а в некоторых случаях даже снижает правильность диагностики. Использование симптомов, которые являются статистически значимыми при всех методах, также ухудшает процесс диагностики.

Таким образом, желательно в качестве предварительного анализа данных использовать один статистический метод. В силу этого при статистическом исследовании входных данных может возникнуть вопрос о выборе статистического метода.

Применение дискриминантного анализа целесообразно в тех случаях, когда заранее трудно предсказать значимые симптомы для постановки диагноза. При этом группировка симптомов в группы исследователям пока не нужна. Наличие дискриминантного анализа в блоке статистического анализа данных позволяет получить линейные классификационные функции и на основе теста проверить качество статистического анализа. Помимо этого, при дискриминантном анализе возможно получение как высоко-

чувствительного, так и высокоспецифичного набора статистически значимых симптомов, что существенно отражается на работе нейронных сетей. Таким образом, использование дискриминантного анализа в качестве метода статистической обработки данных позволяет настраивать диагностический комплекс для решения широкого ряда задач.

Использование кластерного анализа необходимо проводить вместе с факторным анализом. Такое сочетание статистических методов позволит получить действительно реальное разбиение симптомов на группы и выявить статистически значимые симптомы. При этом чувствительность и специфичность метода можно настраивать путем составления специальных выборок симптомов, отвечающих заданным требованиям. Разворачивание таксономий позволит исследователям более наглядно описать ход постановки диагноза и выявить значимые и незначимые совокупности симптомов при постановке диагноза. К тому же результаты такого статистического исследования позволяют создавать кластерные нейронные сети.

На втором этапе должен осуществляться нейросетевой анализ данных. В частности, нейросетевой блок должен содержать нейронные сети именно той структуры, которая нужна для конкретной поставленной задачи. А именно нейронные сети должны строиться по следующим принципам, характерным для диагностики перинатального поражения центральной нервной системы:

1. Нейронная сеть должна содержать минимум скрытых слоев нейронов. Как показали исследования, наличие большего количества скрытых слоев приводит к увеличению времени обучения нейронных сетей. При этом качество обучения практически не увеличивается.

2. Если нейронная сеть имеет в выходном слое несколько нейронов, то число нейронов в скрытом слое рассчитывается исходя из числа синаптических весов, близким к максимальному.

3. Если нейронная сеть имеет в выходном слое один нейрон, то число нейронов в скрытом слое рассчитывается исходя из числа синаптических весов, близким к минимальному.

4. При построении нейронной сети на основе предварительно выявленных, статистически значимых симптомов число нейронов в скрытом слое рассчитывается исходя из числа синаптических весов, близким к минимальному.

5. Если в процессе работы с нейросетевым блоком возникнет необходимость создания нейронных сетей, являющихся высокочувствительными или высокоспецифичными, в таком случае для создания таких нейронных сетей необходимо будет воспользоваться способом «фильтрации записей пациентов». Так, например, для создания высокочувствительной нейронной сети нужно первоначально обучить нейронную сеть на полной выборке. Затем необходимо протестировать эту же нейронную сеть на обучаемой выборке и выбрать те записи, которые нейронная сеть правильно отнесла к больным. Затем уже новую нейронную сеть нужно обучать на этих записях. То же самое необходимо делать для создания высокоспецифичных нейронных сетей. Только выделять нужно правильно отнесенные записи к группе здоровых.

Основным функциональным назначением нейросетевых блока является заключительное оценивание состояния пациента. Соответственно необходимо совместное использование нейронных сетей с различной архитектурой и различным функциональным назначением:

1. На первом этапе выявляются статистически значимые симптомы для всех возможных диагнозов исследуемого заболевания.

2. На втором этапе происходит выявление пациентов, не имеющих диагноза. То есть осуществляется специфичный тест. Этот тест проводится с использованием нейронных сетей, имеющих максимальное число нейронов в выходном слое.

Необходимость использования именно таких нейронных сетей обуславливается тем обстоятельством, что качественное определение пациентов без диагноза возможно только при сравнении со всеми остальными пациентами.

Если пациент не классифицировался как здоровый, то его комплекс симптомов оценивается на принадлежность к каждому диагнозу по отдельности. На этом этапе наиболее оптимальным решением является использование системы нейронных сетей с одним нейроном в выходном слое. В результате система выдает пользователю вероятность наличия каждого диагноза.

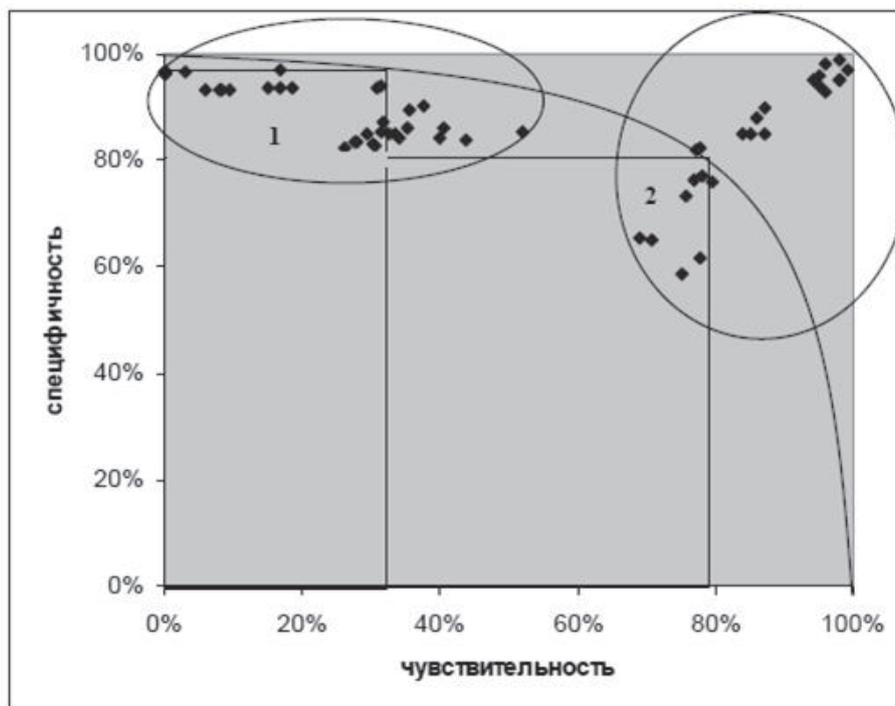


Рис. 2. Отношение чувствительности и специфичности математической модели анализа данных

Оценка чувствительности и специфичности показала, что среднее отношение чувствительности и специфичности для статистических и нейросетевых методов совпадает. Однако результаты сравнительного анализа показали, что нейронные сети, обученные

на статистически значимых симптомах пациентов, обладают большей безошибочностью, чем обыкновенные нейросетевые модели, и отношение чувствительности и специфичности является близким к оптимальному соотношению. На рисунке 2 точками

показаны получившиеся соотношения чувствительности и специфичности при определении диагнозов перинатального поражения центральной нервной системы с помощью статистического и нейросетевого анализа на основе статистически значимых данных. Прямоугольники, помеченные цифрой 1, соответствуют статистическому анализу данных для различных диагнозов, а прямоугольник, помеченный цифрой 2, — нейросетевому анализу на основе статистически значимых симптомов. Линией показан классический вид отношения чувствительности к специфичности для сложных диагностических тестов. Точки, лежащие рядом с изгибом графика классического отношения чувствительности и специфичности, соответствуют результатам нейросетевого анализа на основе статистически значимых нейронов. Ранее было показано, что оптимальным является тест, имеющий

такое отношение чувствительности и специфичности, при котором площадь прямоугольника, образованного перпендикулярами, проведенными из точки на графике к координатным осям, является максимальной.

Таким образом, было получено, что оптимальным решением диагностики пациентов является наличие двухступенчатого теста. На первом этапе осуществляется исследование исходной информации при помощи методов статистического анализа. В результате происходит выделение значимых симптомов. То есть происходит сокращение входного вектора без потери информативности. На втором этапе значимые симптомы обрабатываются нейронными сетями. В результате обученные нейронные сети позволяют проводить качественную диагностику пациентов даже при появлении новых, ранее незнакомых комбинаций симптомов.

Библиографический список

1. Флетчер Р., Флетчер С., Вагнер Э. Клиническая эпидемиология. Основы доказательной медицины / пер. с англ. — М., 1998.

2. Россиев Д. А., Головенкин С. Е., Назаров Б. В. Определение информативности медицинских параметров с помощью нейронной сети // Диагностика, информатика и метрология-94: тез. науч.-техн. конф. — СПб., 1994.