

НЕЙРОСЕТЕВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В РЕШЕНИИ КЛАССИФИКАЦИОННЫХ ЗАДАЧ ОРТОПЕДИИ И ТРАВМАТОЛОГИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНДЕКСА МАССЫ ТЕЛА

*РНПЦ неврологии и нейрохирургии МЗ Республики Беларусь,
Объединенный Институт Проблем Информатики НАН Беларуси, Минск*

Цель исследования – определить антропометрические особенности у ампутантов с культями нижних конечностей, страдающих сахарным диабетом (СД) и облитерирующим атеросклерозом (ОА) с учетом их возраста и индекса массы тела (ИМТ), который представляет собой отношение веса человека в килограммах к квадрату его роста в метрах. Например, вес равен 80 кг, рост – 1,8 м., тогда $80:1,8^2 = 80:3,24 = 24,7$.

Материал и методы

Исследование проведено с предварительным использованием дискриминантного анализа (ДА) и последующим анализом по прикладному методу из области разработок по созданию искусственного интеллекта, каким является нечеткое нейросетевое моделирование (ННМ) [1-4, 8-10].

Для исследования отобраны больные с ампутационными культями бедра и голени вследствие облитерирующего атеросклероза (170 чел.) и сахарного диабета (72 чел.) старшего и пожилого возраста. Всего проанализировано 242 наблюдения с разными степенями атрофии культей нижних конечностей [6, 7]

В антропометрии и ортопедии принята категоризация значений ИМТ с соответствующим предметным толкованием (табл. 1).

Полный перечень переменных, принятых в исследовании приведен в таблице 2.

Результаты и обсуждение

В результате решения задачи классификации пациентов на две группы с СД и ОА было получено нечеткое разбиение по переменной ИМТ. Для расчета соотношения четкой и нечеткой категоризации использовался формально-математический подход с созданием ННМ, при котором насильственная четкая категоризация заменяется менее жесткой и более приближенной к реальному положению вещей с «классификационными сомнениями» на граничных значениях категорий. Исходная жесткость, таким образом,

перестает быть своеобразным «Прокрустовым ложем» для категоризированной классификации значений ИМТ в антропометрическом толковании веса пациента (табл. 1). В результате проведенных вычислений (математические выкладки здесь не приводятся) было получено оптимальное разделение на три категории вместо исходных пяти. Графическая интерпретация приведена на рис. Полученные нечеткие категории обозначаются как 1 (малый ИМТ), 2 (средний ИМТ) и 3 (большой ИМТ).

Соотношения между пятью четкими исходными категориями и нечеткими тремя, выделенными математически с применением ННМ и с учетом сомнительных решений, приведены в табл. 3. Сомнительные решения истолковываются как ошибочные с указанием вероятности такой ошибки.

Таким образом, можно сделать вывод, что нечеткая категория 1 «малый» в большей степени соответствует четким категориям 1 и 2, нечеткая категория 2 «средний» в большей степени соответствует четкой категории 3 и нечеткая категория 3 «большой» - четким категориям 4 и 5.

Для каждой категории можно определить распределение нечетких вероятностей принадлежности к двум классам СД и ОА (табл. 4).

Из этой таблицы следует, что большие значения ИМТ для сахарного диабета (СД) соответствуют третьему большому ИМТ, но это соответствие констатируется на низком вероятностном уровне 0,3. Что касается облитерирующего атеросклероза (ОА), то любое значение ИМТ пациента (малое, среднее или большое) может соответствовать этому классу с высокой долей вероятности, но разница между ними незначительна. Полученные результаты вычислений не противоречат традиционным ортопедическим представлениям. Здесь в дополнение к ним даются еще конкретные цифровые значения вероятностей, что, таким образом, дает основание говорить о «цифровой форме выражения традиционных клинично-интуитивных ортопедических представ-

лений». Действительно, большие значения ИМТ больше соотвествуют пациентам с СД, но это соответствие хотя и признано, но в отношении каждого отдельного пациента достаточно сомнительно, как в традиционном клинико-интуитивном представлении, так и по результатам проведенных вычислений в рамках ННМ. То же самое можно сказать и о пациентах с ОА. Каждый из них может иметь как большое, так и малое значение этого показателя, но и в том, и в другом случае дифференциально-диагностический потенциал в вероятностном выражении обозначен нечетко. В литературе уже имеются критические замечания по несовершенству этого показателя. Более обещающим дифференциально-диагностическим признаком, и даже предостерегающим, представляется отношение объема талии к объему бедер (ОТ/ОБ), waist-hip ratio (WHR) [11].

Изначально перед построением нечеткой нейросетевой модели было построено пять нечетких равностоящих множеств на диапазоне значений переменной ИМТ (традиционное экспертное решение). Это было сделано в соответствии с категоризацией значений ИМТ в ортопедии и антропометрии. Однако после обучения функций принадлежности нечетких множеств на данных и оптимизации структуры (количества и состава решающих правил) классификационной модели, оказалось, что два из пяти нечетких множеств избыточны и значения их функций принадлежности идентичны оставшимся множествам. После их удаления осталось только три различных множества для переменной ИМТ. В результате разбиение диапазона значений переменной ИМТ на три нечетких множества оказалось достаточным для получения набора решающих правил, точность которого не ухудшилась после удаления двух избыточных множеств. Таким образом, введение дополнительных категорий для ИМТ не увеличивает точности классификации и оптимальным является разбиение диапазона значений переменной ИМТ на три нечетких категории, характеризующихся соответственно функциями принадлежности, представленными на рис.

Проведенные формально-математические вычисления дают возможность сформулировать результирующий набор из восьми решающих правил, построения нечеткой нейросетевой модели.

1. Если Ампутация равна голень и Уровень равен с/3 и ИМТ равно среднее, то Заболевание – ОА
2. Если Ампутация равна голень и Уровень равен в/3 и ИМТ равно среднее, то Заболевание – СД
3. Если Ампутация равна голень и Уровень равен н/3 и ИМТ равно среднее, то Заболевание – ОА
4. Если Ампутация равна бедро и Уровень равен н/3 и ИМТ равно среднее, то Заболевания – СД

Соотношения значений степеней принадлежности пяти четких исходных категорий ИМТ и трех нечетких категорий, представленных нечеткими интервалами ННМ

Нечеткие интервалы ИМТ по ННМ	Четкие исходные интервалы ИМТ				
	1 (менее 18,5)	2 (18,5 – 24,9)	3 (25,0 – 29,9)	4 (30,0 – 39,9)	5 (40,0 и более)
1 (малый)	1	0,8	0,43	0	0
2 (средний)	0	0,36	0,91	0,24	0
3 (большой)	0	0,09	0,32	0,92	1

Распределение вероятностей принадлежности ИМТ к классам в нечетких интервалах

Нечеткие категории	Распределение вероятностей принадлежности к классам	
	1 класс (СД)	2 класс (ОА)
1 (малый)	0,15	0,85
2 (средний)	0,27	0,73
3 (большой)	0,3	0,7

Категоризация значений ИМТ

Категоризированные значения ИМТ	Предметное антропометрическое толкование
Менее 18,5	дефицит веса
18,5 – 24,9	норма,
25,0 – 29,9	избыток веса,
30,0 – 39,9	ожирение,
40,0 и более	резко выраженное ожирение.

Таблица 1

Переменные, принятые в исследовании

Переменная	Характеристики переменных (категоризация)
Заболевание	СД – 1, ОА – 2
Место ампутации	Бедро – 1, голень – 2
Сторона	Левая – 1, правая – 2
Уровень	Верхняя треть – 1, средняя – 2, нижняя – 3
Возраст	Полных лет
ИМТ	Значения с учетом категоризации (табл. 1)

Функции принадлежности нечетких множеств признака ИМТ

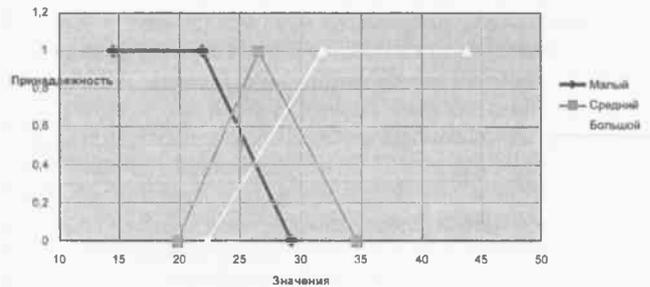


Рис. Разбиение диапазона значений ИМТ на три нечетких категории по ННМ

5. Если Ампутация равна голень и Уровень равен с/3 и ИМТ равно большое, то Заболевания – ОА
6. Если Ампутация равна бедро и Уровень равен с/3 и ИМТ равно большое, то Заболевания – СД
7. Если Уровень равен в/3 и ИМТ равно большое, то Заболевания – СД
8. Если ИМТ равно малое, то Заболевания – ОА, где в/3 – верхняя треть, с/3 – средняя треть, н/3 – нижняя треть.

Общая точность классификации по всем наблюдениям равняется 77.7%.

Таблица 3

Точность классификации с использованием набора вышеперечисленных восьми правил по диагнозам приведена в таблице 5.

Может возникнуть естественный вопрос «Зачем традиционное стремление к четкости заменять «сомнительной нечеткостью»?». Дело в том, что этот «шаг назад» дает реальную возможность высвободится от стремления к идеальному, но эфемерному и недостижимому классификационному решению, и заменить его реальным решением с некоторой, желательной минимальной долей сомнения. В традиционной клинической практике в принятии дифференциально-диагностического решения такие сомнения или оговариваются повествовательно, или о них вообще умалчивается. В общем же плане при принятии классификационных решений на участках и точках граничных значений возникает ситуация

Таблица 4

☆ Новые технологии в медицине

Таблица 5

Точность классификации набора обучающих данных с использованием ННМ

Заболевание	СД	ОА	Не определено
СД	50	21	1
ОА	32	138	0

«или-или», «50/50». Это так называемые точки или зоны бифуркации [5]. С чем приходится сталкиваться буквально при любом вынесении дифференциально-диагностического решения.

В заключение следует кратко остановиться на сопоставлении методов дискриминантного анализа [8] и метода нечеткого нейросетевого моделирования, которые использованы в нашем исследовании.

Предложенная нами ННМ или нечеткий нейросетевой классификатор использует алгоритм обратного распространения ошибки для обучения параметров нечеткой модели, которая построена на принятых в исследовании данных [2-4]. Этот алгоритм позволяет сохранить интерпретируемость первоначально построенной модели и получить решение классификационной задачи в понятном для пользователя виде – в форме набора нечетких правил.

Несмотря на то, что в предыдущих наших исследованиях с применением дискриминантного и факторного анализов были получены хорошие и статистически достоверные результаты [1, 8], применение этих методов имеет свои недостатки. Это, прежде всего, переобученность (“перетренированность”, “слишком хорошая подгонка”-“overfitting”) разработанных моделей (классификационные решения на обучающей выборке с исходным набором наблюдений, как правило, получаются хорошие, но, когда начинается работа с тестовым набором, то результат классификационных решений получается значительно скромнее). С приходом и внедрением в научно-исследовательскую и практическую медицинскую работу методов интеллектуального анализа вопрос о корректности или некорректности применения метода просто снимается [1, 4, 9, 10].

Выводы

1. Индекс массы тела у инвалидов старшего и пожилого возраста после односторонней ампутации бедра или голени при сахарном диабете выявляет избыток веса (ИМТ в среднем равен 28,5), а при облитерирующем атеросклерозе нижних конечностей – нормальные значения веса (ИМТ в среднем равен 24,9).

2. Применение нечеткого нейросетевого моделирования

и разведочного дискриминантного анализа позволило достоверно установить:

1) при ампутации бедра или голени на уровне верхней трети и большом значении ИМТ причиной ампутации является СД;

2) при ампутации голени на уровне верхней трети и среднем значении ИМТ причиной ампутации является СД;

3) при ампутации бедра на уровне нижней или средней трети и среднего или большого значения ИМТ причиной ампутации является СД;

4) при ампутации голени на уровне средней трети и среднем или большом значении ИМТ причиной ампутации является ОА;

5) при любых показателях и малом значении ИМТ причиной ампутации является ОА.

3. Полученные результаты с применением ННМ дают основание говорить о целесообразности применения этого метода для решения классификационных задач в ортопедии и травматологии с использованием индекса массы тела.

Литература

1. Дривотинов, Б.В., Мاستыкин, А.С., Красько, О.В., Апанель, Е.Н. Применение разведочных методов анализа данных в дифференциальной диагностике подтипов транзиторных ишемических атак // Военная медицина.-2006.-№ 1.-С. 51-54.
2. Новоселова, Н.А. Разведочный анализ медицинских данных с использованием самоорганизующихся карт Кохонена. // Искусственный интеллект.-2002.-№ 2.-С. 526-533.
3. Новоселова, Н.А. Предварительный отбор информативных признаков для улучшения точности предсказания с помощью нейронной сети // Искусственный интеллект.-2004.-№ 2.-С. 150-154.
4. Новоселова, Н.А., Том, И.Э., Красько, О.В. Нечеткое нейросетевое моделирование для получения интерпретируемого набора классифицирующих правил // Искусственный интеллект.-2006.-№ 2.-С. 211-214.
5. Пригожин, И.Р., Стенгерс, И. Порядок из хаоса. М., 2003.
6. Пустовойтенко, В.Т. Степени атрофии ампутационных культей бедра и голени. Мн., 2005.
7. Пустовойтенко, В.Т., Смольский, А.В., Кобизькая, Л.Г. Индекс массы тела у инвалидов старшего и пожилого возраста после односторонней ампутации бедра и голени // Медицинская панорама.-2006.-№ 9.-С. 61-63.
8. Пустовойтенко, В.Т., Мастыкин, А.С. Особенности индекса массы тела у инвалидов старшего и пожилого возраста // Медицинский журнал.-2007.-№ 1.-С. 119-121.
9. Реброва, О.Ю. Применение методов интеллектуального анализа данных для решения задачи медицинской диагностики // Новости искусственного интеллекта, 2004, № 3, С. 76-80.
10. Щетинин, В.Г., Соломаха, А.А. Применение искусственных нейронных сетей в клинической лабораторной диагностике. // Клин. лаб. диагностика. – 1998.-№ 10.-С.-21-23.
11. Price, GM, Uauy, R, Breeze, E, Bulpitt, CJ, et al. // Weight, shape, and mortality risk in older persons: elevated waist-hip ratio, not high body mass index, is associated with a greater risk of death.-Am. J. Clin. Nutr. 2006.-Vol.84.-P. 449-60.