

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ДИАГНОСТИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА В ВЕРТЕБРОНЕВРОЛОГИИ

М.А. Подольская, А.С. Катасёв

*Казанская государственная медицинская академия последипломного образования,
Казанский государственный технический университет им. А.Н. Туполева*

В настоящее время в медицине разрабатываются автоматизированные экспертные диагностические системы нового поколения. Они способны не только решать поставленные перед ними задачи на основе жестко прописанных алгоритмов, но и анализируя большое число данных самостоятельно пополнять и оптимизировать набор правил, динамически формировать базу знаний, находить новые пути решения задач и объяснять предлагаемые варианты решения.

Функции медицинской экспертной системы заключаются в следующем [2]:

1. Оценка достоверности и непротиворечивости полученных данных о пациенте.

2. Анализ разнообразной информации, отражающей неформализованные знания специалистов.

3. Интерпретация данных на основе медицинского знания, которым располагает система, и сведение большого числа возможных ситуаций в пространстве признаков к небольшому числу типовых, по которым формируются решения.

4. Рекомендации по оптимальному плану дообследования пациента при недостаточно высокой уверенности в предполагаемом диагнозе.

5. Прогнозирование естественного хода болезни на основе экстраполяции в пространстве типовых ситуаций.

6. Рекомендации по вопросам лечения в соответствии с предполагаемым диагнозом.

7. Обоснование предлагаемых решений.

Выполнение этих требований возможно только на основе использования современного математического аппарата анализа медицинских данных, максимально приближенного к принципам работы нейронов головного мозга человека, системам использования механизмов памяти, хранения и извлечения информации из памяти человека по системе вероятности зависимость событий.

Целью настоящей работы являлось изучение возможности использования нейросетевых методов и методов нечеткой логики для формирования базы знаний экс-

пертной диагностической системы в вертеброневрологии.

Исследование формирования оптимальной системы нечетко-продукционных правил и их параметров при обучении нечеткой нейронной сети проводилось по медицинским данным о развитии и особенностях клинических проявлений остеохондроза поясничного отдела позвоночника.

Настоящее исследование было направлено на решение следующих вопросов:

1. Формирование обучающих выборок для нечеткой нейронной сети из данных клинического обследования больных с различными синдромами поясничного остеохондроза.

2. Обучение разработанной нами нечеткой нейронной сети с формированием системы правил, объясняющих закономерности взаимосвязей изучаемых параметров.

3. Экспертная оценка весомости полученных правил и выбор наиболее значимых из них для формирования базы знаний экспертной системы.

4. Определение влияния количества входов нечеткой нейронной сети на качество ее обучения.

В работе использовались результаты клинического, нейроортопедического, рентгено-компьютерного томографического обследований 230 женщин в возрасте от 15 до 92 лет и 180 мужчин в возрасте от 16 до 81 года с различными вариантами синдромов поясничного остеохондроза (ПОХ) на стационарном этапе обострения и в стадии начинающейся ремиссии. Контрольную группу составляли 20 женщин в возрасте от 20 до 70 лет и 20 мужчин в возрасте от 17 до 73 лет, никогда не страдавших поясничными вертеброгенными болями.

Клиническое нейроортопедическое обследование проводилось по методике Я.Ю. Попелянского, В.П. Веселовского [1, 4], рентгеновская компьютерная томография – на рентгеновском компьютерном томографе *Somatom AR.NP spiral* фирмы "Siemens" при сканировании с шагом 3/3 мм. На РКТ-сканах изучались количественные и качественные характеристики состояния

структур позвоночно-двигательных сегментов, собственных мышц позвоночника и паравертебральных мышц на уровне LIII-SI по методике М.А. Подольской, З.Ш. Нуриева [4].

Для получения оптимальной системы нечётко-продукционных правил и их параметров было измерено более 500 тысяч количественных и качественных значений признаков течения поясничного остеохондроза по 822 параметрам. При помощи специально разработанной нами нечеткой нейронной сети анализировались возможные варианты зависимости различных качественных и количественных признаков:

1. Влияние возраста, стажа заболевания, стажа физических нагрузок, времени начала заболевания, развития обострения, продолжительности обострения на степень дистрофического процесса в костных, хрящевых и мышечных структурах позвоночника.

2. Влияние степени дистрофического процесса в костных, хрящевых и мышечных структурах позвоночника на качество течения обострения поясничных болей при остеохондрозе позвоночника, качество компенсаторных процессов, длительность и полноту ремиссии.

3. Взаимосвязь между морфологическими, антропологическими, дистрофическими процессами в позвоночнике, его мышцах и дисках и особенностями клинических синдромов поясничного остеохондроза.

4. Зависимость особенностей клинических проявлений поясничного остеохондроза, механизмов развития обострения и компенсации от возраста и пола пациентов.

Для обработки и анализа изучаемых данных нами использовались нейросетевые методы и методы нечеткой логики, на базе которых разрабатывалась модель нечеткой нейронной сети (ННС), реализованной в виде программного комплекса "Нечеткая нейронная сеть" и предназначенной для формирования системы нечетко-продукционных правил.

Достоинством ННС является возможность определения весомости, степени участия сразу нескольких количественных параметров в формировании одного и того же качественного результата. В процессе диагностики в медицине это крайне актуально для выяснения значимости влияния групп параметров на принятие решения врачом, возможности выявления явных и скрытых зависимостей качественных и

количественных признаков.

В обучающей выборке, где у больных с остеохондрозом поясничного отдела позвоночника наблюдалось появление различных клинических признаков, при помощи нейронной сети была сформирована система правил, описывающих совокупное влияние входных параметров модели на ее выходы. Для обучения ННС и продукции правил взаимовлияния признаков в выборке нами произвольно выбирались количественные параметры входа и качественные – выходы. Параметры входа ННС в годах: 1 – возраст пациента на момент обследования; 2 – стаж заболевания; 3 – стаж динамических физических нагрузок.

Параметры выхода ННС – качественные признаки дистрофического процесса позвоночного двигательного сегмента (ПДС) на уровне $L_{III}-S_I$: 1 – грыж межпозвонкового диска; 2 – грыж Шморля; 3 – гипертрофии желтой связки; 4 – протрузии межпозвонкового диска; 5 – вакуум-феномена межпозвонкового диска.

После подготовки обучающей выборки, определения структуры нейронной сети, выбора параметров обучения и критериев его остановки была создана готовая к обучению нечеткая нейронная сеть. В результате обучения нейронной сети сформирована система нечётко-продукционных правил. Приводим некоторые из них.

Правило 1. ЕСЛИ "Возраст пациента" = "средний" (вес=0,5098),

"Стаж заболевания" = "малый" (вес=0,7254),

"Стаж динамических физических нагрузок" = "малый" (вес=0,745),

ТО "Возможно наличие грыжи диска" (CF=0,25483871).

Правило 2. ЕСЛИ "Возраст пациента" = "средний" (вес=0,4571),

"Стаж заболевания" = "малый" (вес=0,5952),

"Стаж динамических физических нагрузок" = "малый" (вес=0,6857),

ТО "Возможно наличие грыж Шморля" (CF=0,4047619).

Правило 3. ЕСЛИ "Возраст пациента" = "средний" (вес=0,4833),

"Стаж заболевания" = "средний" (вес=0,6041),

"Стаж динамических физических нагрузок" = "большой" (вес=0,5166),

ТО "Возможно наличие гипертрофии желтой связки" (CF=0,47123288).

Правило 4. ЕСЛИ "Возраст пациента" = "средний" (вес=0,4671),

Таблица 1

Коэффициенты взаимной корреляции параметров времени течения и выраженности дистрофического процесса поясничных межпозвонковых дисков обучающей выборки ННС						
Выходные параметры		Грыжа диска	Грыжа Шморля	Гипертрофия желтой связки	Протрузия межпозвонкового диска	Вакуум-феномен
Входные параметры	БЖ	0,01	0,34	0,41	0,58	0,43
	БМ	-0,15	-0,28	0,52	0,49	0,45
Стаж заболевания	БЖ	0,05	0,06	0,42	0,55	0,46
	БМ	-0,04	-0,04	0,49	0,32	0,58
Стаж динамических физических нагрузок	БЖ	0,41	0,09	0,53	0,62	0,44
	БМ	0,53	-0,1	0,45	0,54	0,52

Примечание. БЖ – больные женщины, БМ – больные мужчины. Выделены статистически значимые показатели. То же в табл. 2.

"Стаж заболевания" = "большой" (вес=0,5855),

"Стаж динамических физических нагрузок" = "большой" (вес=0,6118),

ТО "Возможно наличие протрузии межпозвонкового диска" (CF=0,6310231).

Правило 5. ЕСЛИ "Возраст пациента" = "пожилой" (вес=0,7142),

"Стаж заболевания" = "средний" (вес=0,4761),

"Стаж динамических физических нагрузок" = "средний" (вес=0,4285),

ТО "Возможно наличие вакуум-феномена" (CF=0,18181818).

В данном примере исследовалось совокупное влияние параметров времени на наличие у больного патологических дистрофических процессов в поясничных позвоночных двигательных сегментах. Для сравнения возможностей анализа взаимозависимости качественных и количественных признаков течения синдромов поясничного остеохондроза нами на одних и тех же выборках проведены корреляционный анализ и обучение ННС.

Из табл. 1 видно, что исследованные признаки имеют разные значения и направление корреляционной зависимости. Вероятность возникновения грыжи межпозвонкового диска практически не зависит от возраста и стажа заболевания у женщин и незначительно уменьшается у мужчин, зато у тех и других увеличивается со стажем динамических физических нагрузок. На практике это означает, что у женщин заболевание может стартовать грыжей диска в любом возрасте, а у мужчин с возрастом эта вероятность уменьшается.

Прослеживается положительная умеренная корреляция между возрастом и возникновением грыж Шморля у женщин. У мужчин умеренная отрицательная кор-

реляция этих признаков указывает на отчетливую возрастную зависимость признака: вероятность возникновения грыж Шморля в молодом возрасте велика и уменьшается с годами по мере андрогенизации мужчины. Характерно отсутствие корреляции этого признака со стажем заболевания и динамических физических нагрузок. Действительно, остеопения и остеопороз позвоночника у молодых мужчин в наибольшей степени зависят от возрастного, связанного с созреванием гонад уровня андрогенов.

Гипертрофия желтой связки является следствием попытки нестабильного позвоночного двигательного сегмента (ПДС) увеличить свою стабильность за счет уплотнения и утолщения связок, соединяющих дужки позвонков и образующих заднебоковые стенки позвоночного канала в междужечном пространстве. Поскольку нестабильность ПДС является одной из значимых причин быстро развивающейся его дистрофии и возникает, как правило, в молодом возрасте, то полученные нами коэффициенты корреляции с умеренной положительной связью подтверждают зависимость нестабильности ПДС с последующей гипертрофией желтой связки от возраста, стажа заболевания и динамических физических нагрузок: признак может появиться в любом возрасте и с годами прогрессировать.

Та же картина взаимосвязей наблюдается между возрастом, стажем заболевания, динамических физических нагрузок и развитием протрузии межпозвонковых дисков и их вакуум-феномена (максимальной степени дистрофии диска с участками пустоты в нем).

Те же параметры использованы при обучении ННС. В табл. 2 приведены результаты обучения в виде распределения

Таблица 2

Вес важности нечетких градаций в продукционных правилах у больных с синдромами поясничного остеохондроза

Входные параметры		Выходные параметры	Грыжа диска	Грыжа Шморля	Гипертрофия желтой связки	Протрузия межпозвонкового диска	Вакуум-феномен
Возраст, лет	БЖ	молодой	0,4324	0,372	0,0625	0,0702	0,1428
		средний	0,5405	0,4651	0,625	0,5945	0,438
		пожилой	0,027	0,1627	0,3125	0,3351	0,419
	БМ	молодой	0,3725	0,4571	0,1333	0,2302	–
		средний	0,5098	0,3714	0,4833	0,4671	0,2857
		пожилой	0,1176	0,1714	0,3833	0,3026	0,7142
Стаж заболевания	БЖ	малый	0,027	0,2325	–	0,027	0,023
		средний	0,7027	0,093	0,3958	0,2702	0,4285
		большой	0,2702	0,6744	0,6041	0,7027	0,5476
	БМ	малый	0,7254	0,6	0,15	0,1052	0,1428
		средний	0,196	0,3428	0,4	0,3092	0,4761
		большой	0,0784	0,0571	0,45	0,5855	0,3809
Стаж динамических физических нагрузок	БЖ	малый	0,7027	0,6976	0,0416	0,027	–
		средний	0,2702	0,2093	0,2708	0,2216	0,3333
		большой	0,027	0,093	0,6875	0,7513	0,6666
	БМ	малый	0,745	0,6857	0,0833	0,0592	0,1904
		средний	0,2352	0,3142	0,4	0,3289	0,4285
		большой	0,0196	–	0,5166	0,6118	0,3809

весов ограничений входных градаций в правилах.

В каждой группе градаций сумма весов равна единице. Выделены самые значимые градации, в наибольшей степени влияющие на выходной результат.

При сравнении таблицы веса правил ННС с таблицей корреляций (табл. 1) видны многие аналогии. Однако корреляции показали взаимозависимость лишь двух любых признаков, их направление. Пространственно такую взаимосвязь можно представить прямой на плоскости. ННС нашла взаимозависимости сразу у группы тех же параметров, предварительно самостоятельно распределив их на лингвистические категории. Графически такую зависимость нельзя описать на плоскости. Она вписывается только в n -мерное пространство, где n – число групп входных параметров. Такая модель взаимодействия признаков не просто уточняет их внутренние связи, а описывает сразу большой фрагмент биологического процесса, в нашем случае – развития процессов дистрофии межпозвонкового диска в разных возрастных и половых группах. Чем больше показатель веса лингвистической категории, тем с большей вероятностью конкретный признак может присутствовать в возрастной и половой группах больных поясничным остеохондрозом.

Например, вероятность развития грыжи межпозвонкового диска увеличивается от молодого к среднему возрасту и резко уменьшается в пожилом у мужчин и

женщин. Наибольшая вероятность возникновения грыжи межпозвонкового диска наблюдается у женщин при среднем стаже заболевания, у мужчин – при малом. Это значит, что у мужчин клинические проявления поясничного остеохондроза в 72,5% случаев стартуют грыжей диска. У женщин грыжа диска чаще появляется в течение длительного заболевания, сначала манифестирующегося другими, менее фатальными проявлениями дистрофии межпозвонкового диска. С течением заболевания вероятность развития грыжи диска у мужчин и женщин уменьшается до 20% и 7% соответственно. В клинике это действительно так. Начавшийся нестабильностью ПДС, разрывом межпозвонкового диска процесс, благодаря механизм саногенеза, стремится к стабилизации сначала путем развития альтеративной воспалительной реакции, запускающей аутоиммунную, рассасывающую, затем продуктивную фазы воспаления. Результатом их становится рассасывание фрагментов выпавшего пульпозного ядра, продукция волокнистой соединительной ткани, закрывающей дефект диска, фиксирующей грыжу к окружающим мягким тканям. Одновременно развивается мышечная фиксация позвонков, со временем сменяющаяся фиброзной, прочной тканью, укрепляющей дефекты разрушенного межпозвонкового диска. С годами эта фиксация становится наиболее прочной, костной. Понятно, что с течением заболевания новая грыжа может развиваться в крайне редких случаях: диск

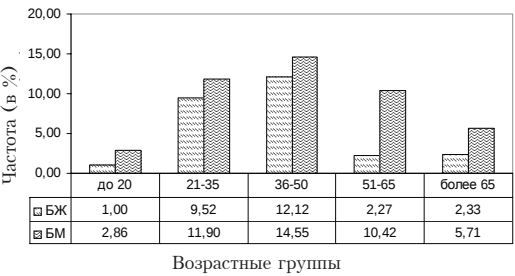


Рис. 1. Процентное количество грыж поясничных межпозвонковых дисков.

уже разрушен и выпадать нечему, остатки его прочно фиксированы. Именно это правило нам продемонстрировала ННС.

Зависимость возникновения грыжи межпозвонкового диска от стажа динамических физических нагрузок минимальна у женщин и у мужчин. Казалось бы, на практике это не так. Но попробуем провести одномоментный многофакторный анализ взаимодействия этих признаков. Полученные в ННС правила показывают, что грыжи диска у мужчин и женщин чаще возникают в начале периода чрезмерных физических нагрузок. С течением времени вероятность возникновения грыжи межпозвонкового диска в начале заболевания уменьшается. Что это именно так, мы только что показали выше.

Развитие грыж Шморля как начала заболевания максимально вероятно у женщин среднего возраста и молодых мужчин. Причем с течением заболевания эта закономерность практически не изменяется, что свидетельствует о большей вероятности возникновения грыж Шморля на начальном этапе заболевания и меньшей – на поздних.

Гипертрофия желтой связки максимальна у больных среднего возраста при большом стаже заболевания и физических нагрузок. Этот факт соответствует патогенезу развития симптома: процесс гипертрофии желтой связки при нестабильности ПДС развивается годами и достигает максимума именно в среднем возрасте, которому соответствуют стаж заболевания и физических нагрузок.

Протрузия межпозвонкового диска, являясь следствием прогрессирующей дистрофии межпозвонкового диска вследствие его микротравматизации при физических нагрузках, нарушения микроциркуляции, трофики тканей ПДС, возрастных инволюционных тканевых процессов, развивается по той же закономерности: чем дольше неблагоприятные причины воздействуют

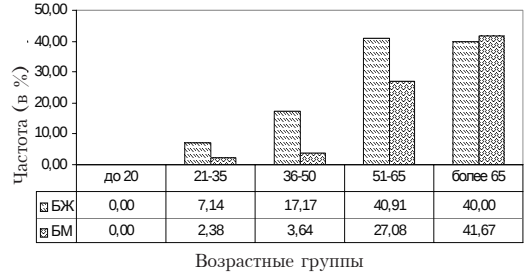


Рис. 2. Процентное количество вакуум-феномена на межпозвонкового диска.

ют на диск, тем больше он выпячивается, выжимается за пределы тела позвонка.

Вакуум-феномен диска – показатель максимальной степени его дистрофии, когда кальцинированные остатки диска перемежаются пустотами. У женщин этот процесс равномерно развивается в среднем и пожилом возрасте при большом стаже заболевания и динамических нагрузок. У мужчин максимум появления этого феномена приходится на пожилой возраст. По-видимому, большая скорость дистрофии межпозвонкового диска у женщин обусловлена возрастными климактерическими перестройками в трофике и морфологии тканей ПДС с нарастающими остеопорозом костных структур, дистрофией диска и мышц. Этот комплексный процесс описан как спондиломиодистрофия [3]. У мужчин вакуум-феномен межпозвонкового диска развивается равномерно при среднем и большом стаже заболевания и физических нагрузок.

Проверить фрагменты этих закономерностей можно по данным частотного распределения признаков в различных возрастных и половых группах у больных с поясничным остеохондрозом, люмбагией (рис. 1-2).

Проведенное исследование показало актуальность, возможность и доступность использования искусственного интеллекта в вертеброневрологии. Применение метода ННС позволяет проводить многомерный анализ патологического процесса, находить его скрытые закономерности, формировать базу знаний для экспертных систем в данной предметной области. По сравнению с классическими методами статистического анализа продуцируемые ННС правила описывают взаимоотношения признаков в форме введенных исследователем лингвистических категорий. Оптимальным количеством анализируемых на входе нейронной сети групп пара-

метров нужно считать 3–5. При увеличении этого числа продуцируется трудно поддающееся логическому анализу количество правил, вес значимости в которых соответственно уменьшается. ННС – универсальный математический инструмент для многофакторного анализа любых медицинских баз данных, представляющий собой оболочку для формирования баз знаний экспертных систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Веселовский В.П. Практическая вертеброневрология и мануальная терапия. – Рига, 1991.
2. Кобринский Б.А. // Нов. искусствен. интелл. – 2001. – № 4. – С. 44–51.
3. Подольская М.А. Актуальные вопросы неврологии. – Новокузнецк, 1997.

4. Подольская М.А., Нуриев З.Ш. // Мед. визуализ. – 2004. – №4. – С. 127–136.

5. Попелянский Я.Ю. Вертебральные синдромы поясничного остеохондроза. – Казань, 1974.

Поступила 08.02.07.

THE USAGE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE SYSTEMS FOR DIAGNOSTIC PURPOSES IN VERTEBRONEUROLOGY

M.A. Podolskaya, A.S. Katasev

Summary

The usage of automated system of artificial intelligence in verteboneurology is described. The importance of the patterns, produced by the indistinct neuronal net, its comparison with the results obtained with statistical analysis of the data and with the experts conclusions is discussed.

УДК 616. 833. 24 – 06 : 616. 746. 2

СУБКЛИНИЧЕСКОЕ ПОРАЖЕНИЕ ПИРАМИДНЫХ ТРАКТОВ У ПАЦИЕНТОВ С ВЕРТЕБРОГЕННОЙ РАДИКУЛОПАТИЕЙ

А.А. Галимуллина

Кафедра вертеброневрологии и мануальной терапии (зав. – проф. Г.А. Иваничев) Казанской государственной медицинской академии последипломного образования

В настоящее время доля больных с вертеброгенным поражением нервной системы, нуждающихся в стационарном лечении, неуклонно растет. Увеличивается и число пациентов, получающих инвалидность в связи с неэффективностью или малой эффективностью стандартной терапии.

К развитию вертеброгенных поражений нервной системы могут приводить грыжа межпозвоночного диска, утолщение желтой связки, развитие рубцовой ткани в спинномозговом канале, унковертебральный артроз, спондилолистез [4]. Провоцирующими факторами при вертеброгенной радикулопатии являются непосредственное воздействие компримирующим агентом на спинномозговую нерв или корешок, а также питающую артерию или вену, развитие воспалительной реакции в результате нарушения целостности фиброзного кольца межпозвоночного диска и выпадения пульпозного ядра [5–7, 10]. В патогенезе вертеброгенной миелопатии основную роль играют непосредственное сдавление спинного мозга – компрессионная миелопатия и сдавление питающих сосудов – сосудистая миелопатия.

При рассмотрении патогенеза вертеб-

рогенной радикулопатии необходимо учитывать, что артерия, питающая спинномозговую корешок (СМК), является радикуломедуллярной и вносит вклад в кровоснабжение передних отделов сегмента спинного мозга, а сдавление корешковой вены может вызывать диффузные нарушения кровообращения в сегменте, захватывающие передние и задние отделы [2]. Таким образом, один патогенетический механизм в зависимости от степени компрессии сосуда приводит к повреждению либо СМК, либо спинного мозга.

По мнению ряда исследователей, в спинном мозге существуют зоны нулевого давления в областях относительного сужения передней спинальной артерии. Считается, что в этом участке артерии встречаются противоположно направленные токи крови [12]. Именно эти зоны наиболее ранимы при снижении кровотока. Локализация критических зон кровоснабжения по длине спинного мозга зависит от количества радикуломедуллярных артерий. Зоны кровоснабжения поперечника спинного мозга стабильные, соответственно достаточно постоянны и критические зоны. Первая пограничная зона находится в области медиоцентральной части задних