

*В.М.Провоторов, И.В.Шалагина, В.А.Демьяшкин*

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ВОПРОСОВ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ ПРИ ЗАТЯЖНЫХ ПНЕВМОНИЯХ

Кафедра факультетской терапии Воронежской государственной медицинской академии

### USE OF NEURONE NET METHOD IN DIFFERENTIATED DIAGNOSIS OF PROTRACTED PNEUMONIA

*V.M.Provotorov, I.V.Shalagina, V.A.Demyashkin*

#### Summary

We offer a method of artificial neurone net to solve diagnostic problems. The neurone net contains 128 entrances (amount of signs of a disease) for 10 neurones (number of diseases). Work of this programme diagnostic complex includes 2 phases: training and recognition. Stastitcal material from 185 patients with protracted pneumonia, chronic obstructive bronchitis, different forms of lung tuberculosis and lung carcinoma, bronchiectasis, cystic fibrosis, subacute pulmonary artery thromboembolism was collected for creation the algorithm of the training with a teacher.

The programme was tried in a clinic after 67 patients had been trained with one-layer net variant. The results showed the opportunity to apply the artificial neurone net in medical diagnostic programmes.

#### Резюме

Для решения диагностических задач предлагается использовать метод искусственной нейронной сети. Созданная нами нейронная сеть содержит 128 входов (количество признаков) для 10 нейронов (число болезней). Работа данного программно-диагностического комплекса включает 2 фазы: обучение и распознавание. Для алгоритма обучения с учителем собран статистический материал о 185 больных с затяжной пневмонией, хроническим обструктивным бронхитом, различными формами туберкулеза и рака легких, бронхоэктатической болезнью, подострой тромбоэмболией легочной артерии, муковисцидозом.

Проведено обучение однослойного варианта сети на данных о 67 больных, после чего программа была апробирована в клинике. Полученные результаты позволяют сделать вывод о возможности применения искусственных нейронных сетей в медицине для создания диагностических программ.

Автоматизированным диагностическим системам в последние годы уделяется большое внимание. Они позволяют собирать информацию о заболеваниях с последующей статистической обработкой полученных результатов, что сокращает на основании разработанных алгоритмов количество лабораторных и инструментальных исследований, отобрав только те, которые отличаются большей информативностью.

Для решения диагностических задач в своей работе мы использовали метод искусственных нейронных сетей (ИНС).

В качестве научного предмета ИНС впервые заявили о себе в 40-е годы XX века. Стремясь воспроизвести функции человеческого мозга, исследователи создавали простые аппаратные, а позже программные модели биологического нейрона в системе его соединений. Схематически устройство искусственного нейрона (ИН) показано на рис.1.

На вход ИН поступает множество сигналов, каждый из которых является выходом другого нейрона.

Каждый вход умножается на соответствующий вес, аналогичный синаптической силе, и все производные

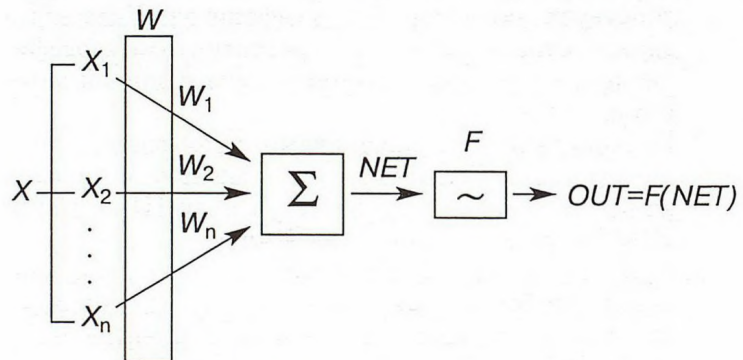


Рис.1. Искусственный нейрон.

$X$  — входные сигналы, поступающие на искусственный нейрон;  $W$  — вес;  $X$  — вектор  $X$ , обозначающий совокупность сигналов, приходящих на вектор;  $W$  — вектор  $W$ , обозначающий множество весов в совокупности;  $F$  — активационная функция;  $\Sigma$  — суммирующий блок;  $OUT$  — выходной нейронный сигнал;  $F$  — блок, принимающий сигнал  $NET$  и выдающий сигнал  $OUT$ .

суммируются, определяя уровень активации нейрона. Суммирующий блок, соответствующий телу биологического элемента, складывает взвешенные входы алгебраически, создавая выход, который условно обозначим  $NET$ .

$$NET = XW.$$

Сигнал  $NET$  далее, как правило, преобразуется активационной функцией и дает выходной нейронный сигнал  $OUT$ . Активационная функция может быть обозначена линейной функцией:

$$OUT = K(NET),$$

где  $K$  — постоянная пороговая функция,  $OUT = 1$ , если  $NET > T$ ;  $OUT = 0$  в остальных случаях, где  $T$  — некоторая постоянная пороговая величина или же функция, более точно моделирующая нелинейную передаточную характеристику биологического нейрона и предоставляющая нейронной сети большие возможности. Одна и та же сеть может обрабатывать как слабые, так и сильные сигналы.

Происходит это таким образом. Слабые сигналы нуждаются в большом сетевом усилении, чтобы дать пригодный к использованию выходной сигнал. Однако усиленные каскады с большими коэффициентами усиления могут привести к насыщению выхода шумами усилителей (случайными флуктуациями), которые присутствуют в любой физически реализованной сети. Сильные входные сигналы, в свою очередь, также будут приводить к насыщению усилительных каскадов, исключая возможность полезного использования выхода. Центральная область логистической функции, имеющая большой коэффициент усиления, решает проблему обработки слабых сигналов, в то время как области с падающим усилением на положительном и отрицательном концах подходят для больших возбуждений. Таким образом, нейрон функционирует с большим усилением в широком диапазоне уровня входного сигнала [9].

Системное изучение ИНС было предпринято Маккаллоком и Питтсом в 1943 г. Созданная ими система получила название "персептрон". Персептрон яв-

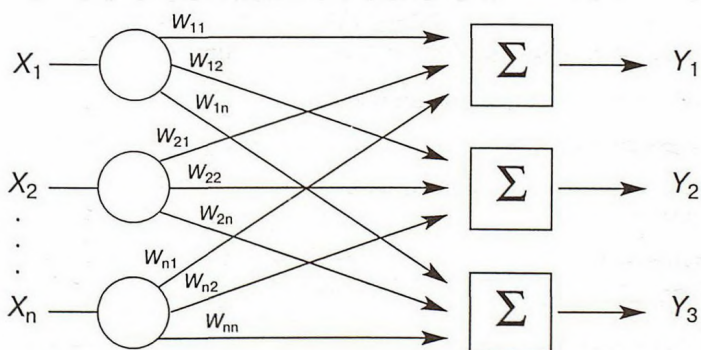


Рис.2. Однослойная нейронная сеть.

ляется 2-уровневой, нерекуррентной сетью, вид которой представлен на рис.2.

Теория персептронов является основой для многих других типов ИНС. В 60-е годы XX века Розенблатт разработал модель обучения персептронов, которая стала основой для многих современных наиболее сложных алгоритмов обучения с учителем [9]. Обучающая выборка состоит из множества выходных векторов, для каждого из которых указан свой требуемый вектор цели. Компоненты входного вектора представлены непрерывным диапазоном значений; компоненты вектора цели являются двоичными величинами (0 или 1). После обучения сеть получает на входе набор непрерывных входов и вырабатывает требуемый выход в виде вектора с бинарными компонентами.

Обучение осуществляется следующим образом: 1) рандомизируются все веса сети в малые величины; 2) на вход сети подается входной обучающий вектор  $X$  и вычисляется сигнал  $NET$  от каждого нейрона, используя стандартное выражение

$$NET_j = \sum_i x_i w_{ij};$$

3) вычисляется значение пороговой функции активации для сигнала  $NET$  от каждого нейрона следующим образом:  $OUT_j = 1$ , если  $NET_j$  больше, чем порог  $O_j$ ,  $OUT_j = 0$  в противном случае. Здесь  $O_j$  представляет собой порог, соответствующий нейрону  $j$  (в простейшем случае все нейроны имеют один и тот же порог); 4) вычисляется ошибка для каждого нейрона посредством вычитания полученного выхода из требуемого входа:

$$error_j = target_j - OUT_j;$$

5) каждый вес модифицируется следующим образом:

$$w_{ij}(t+1) = w_{ij}(t) + ax_j error_j;$$

6) повторяются шаги со 2-го по 5-й до тех пор, пока ошибка не станет достаточно малой.

Данный принцип работы ИНС мы положили в основу создания программы для дифференциальной диагностики (ДД).

В последнее время большое количество работ посвящено прогнозированию течения, ранней диагностике, основанной на построении иммунологических моделей заболевания, профилактике и лечению тяжелой пневмонии (ЗП) [3,4,6] и недостаточно внимания уделяется ДД. В своей работе мы сделали акцент на ДД ЗП с заболеваниями, которые чаще всего требуют проведения диагностических мероприятий, так как для них характерны сходные клинические, рентгенологические и лабораторные изменения.

ЗП является одной из актуальных проблем в пульмонологии. Уровень диагностических ошибок при пневмонии превышает 20% и не имеет тенденции к снижению, что вызывает большое беспокойство и объясняет повышенный интерес врачей к проблеме ЗП.

По данным исследований, проведенных в Москве и Санкт-Петербурге, гиподиагностика пневмонии составляет 37% [7]. При этом субъективные причины неправильной диагностики преобладают над объективными. Среди субъективных причин выделяют неправильную трактовку рентгенологических изменений. В 29% случаев рентгенография грудной клетки вовсе не проводилась, в 13% наблюдений выявлено недостаточное обследование больных. Неправильная трактовка клинической картины составляет 15%, это обусловлено тем, что при многих заболеваниях легких отмечается сходное клиническое течение. Применение математических методов для распознавания патологических процессов позволяет значительно улучшить медицинскую диагностику, сделать ее более своевременной и точной.

Целью работы было создание программы для ДД на основе автоматического учета параметров, используя метод ИНС. Опираясь на собственные наблюдения и знания, а также используя практический опыт других авторов [1,4,5,7,8,10], мы изучили особенности клиники и течения ЗП и других заболеваний легких, сопровождающихся сходными клиническими симптомами, и отобрали наиболее информативные признаки и диагностические критерии для ДД ЗП с хроническими неспецифическими и специфическими заболеваниями легких.

### Материалы и методы

Исследования проводились у больных ЗП, хроническим обструктивным бронхитом (ХОБ), различными формами туберкулеза и раком легких (РЛ), муковисцидозом (МВ), бронхоэктатической болезнью (БЭ), подострой тромбоэмболией легочной артерии (ТЭЛА). Собран и обработан статистический материал о 185 больных, сведения представлены в табл.1. Полученные данные были объединены в группы: жалобы и

данные осмотра; анализ мокроты; анализ крови; рентгенологическое исследование; бронхография и бронхоскопия; ЭКГ-диагностика; спирография; дополнительные тесты. Признаки отбирались по принципам информативности и доступности обследования в поликлинике и стационаре. С учетом данных литературы [4] и собственного опыта для удобства работы с программой мы предложили оценивать степень выраженности признака по 4-балльной шкале (0–3 балла), где 0 — признак отсутствует, 1 — слабо выражен, 2 — умеренно выражен, 3 — значительно выражен.

Созданный программный диагностический комплекс имеет следующую структуру:

- модуль диагностики, построенный на основе ИНС с программируемой структурой (от 1 до 6 слоев), заданным числом нейронов в слоях и константами обучения;
- базу данных (БД), включающую таблицы осмотра, результатов анализов крови и мокроты, ЭКГ и рентгенологического обследования, данных бронхографии и бронхоскопии;
- БД результатов — подтвержденных диагнозов.

Схема работы включает 2 фазы: обучение и распознавание. Подобная схема удобна своей адаптивностью к изменениям картины заболевания, так как внесение новых данных в процессе обучения изменяет вектор синаптических коэффициентов, модифицируя поведение модели. Для обучения сети выбран вариант алгоритма образного распознавания, как обеспечивающий стабильный результат.

Сеть содержит 10 нейронов с числом входов 128. Параметры и результирующая активность нейронов оцениваются по 4-балльной системе (как и степень выраженности признака). Коэффициент скорости обучения выбран 0,002. Такие недостатки алгоритма, как низкая скорость обучения, требования к предъявлению всего обучающего множества векторов, не имеют в данном случае существенной роли.

Таблица 1

**Распределение больных (n=185), вошедших в обследование, по нозологическим формам**

Диагноз	Число больных
Затяжная пневмония	59 (31,9)
Хронический обструктивный бронхит	38 (20,5)
Туберкулез легких	46 (24,8)
Центральный и периферический рак легких	27 (14,6)
Муковисцидоз	3 (1,6)
Бронхоэктатическая болезнь	7 (3,8)
Подострая тромбоэмболия легочной артерии	5 (2,8)

Примечание. В скобках — процент от числа.

Таблица 2

**Состав больных с бронхолегочной патологией, использованных для обучения и апробации программы**

Диагноз	Обучение	Апробация
Затяжная пневмония	18	14
Хронический обструктивный бронхит	14	8
Туберкулез легких	16	12
Центральный и периферический рак легких	10	7
Муковисцидоз	2	1
Бронхоэктатическая болезнь	4	3
Подострая тромбоэмболия легочной артерии	3	2

## Результаты

Было проведено обучение однослойного варианта сети на массиве из 67 (число больных) 128-мерных векторов. Принцип обучения ИНС в данном случае таков: на вход НС поступает 128 сигналов  $X$ , на выходе имеется 10 сигналов  $Y$  (см. рис.2),  $X$  — соответствуют количеству признаков заболевания,  $Y$  — числу заболеваний. Целью обучения сети является такая подстройка ее весов  $W$ , чтобы приложение некоторого множества входов приводило к требуемому множеству выходов  $Y=XW$ .

Если выход правильный, то ничего не меняется. Если выход неправильный, то веса, присоединенные к входам, усиливающим ошибочный результат, модифицируются, чтобы уменьшить ошибку [9].

После обучения программы проведена ее апробация, использованы данные обследования больных с верифицированными диагнозами (табл.2). Получены следующие результаты: ЗП диагностирована у 11 (78,7%) больных, ХОБ — у 6 (75%) больных, туберкулез легких (ТЛ) — у 8 (75%) больных, РЛ — у 5 (71,5%) больных, БЭ — у 2 из 3 (66%) больных, МВ и ТЭЛА правильно диагностированы у всех больных, т.е. в 100% случаев. Статистическая вероятность диагностики оценивалась с помощью 95% уровня доверия коэффициента Стьюдента. Для ЗП вероятность диагностики при использовании данной диагностической программы  $78,7 \pm 2,57\%$ , для ХОБ —  $75 \pm 5,53\%$ , для ТЛ —  $75 \pm 3,47\%$ , для РЛ —  $71,5 \pm 4,18\%$ , для БЭ —  $66 \pm 32,19\%$ . 100% вероятность диагностики для МВ и ТЭЛА можно объяснить как малым количеством больных, так и наличием специальных методов исследования (например, положительный потовый тест при МВ). Также следует сказать и об ошибках диагностики: у 2 (14,3%) больных ЗП диагностирован ХОБ, а у 1 (7%) больного ЗП — ТЛ, у 2 (25%) больных ХОБ ошибочно диагностирована ЗП, а у 1 (34%) больного БЭ — ЗП. Получены неоднородные данные диагностики в 28,5% (2 больных) РЛ и 25% (4 больных) ТЛ: полученный результат — 2 балла по ЗП и 1 балл по РЛ и ТЛ соответственно, по результатам диагностики данным больным рекомендовано дополнительное обследование для уточнения диагноза. Учитывая данные некоторых авторов [2] и предварительные результаты нашего исследования, можно сказать, что частота ошибок при диагностике с использованием вычислительной техники значительно меньше, чем во врачебной практике.

Приводим 2 клинических примера принципа работы программы.

Больной В., 32 года, поступил в стационар с жалобами на кашель с трудноотделяемой мокротой, чаще в ночное время, слабость, субфебрильную температуру. Из анамнеза: страдает хроническим обструктивным бронхитом в течение последних 5 лет. Настоящее ухудшение наступило 3 нед назад, когда усилился кашель, появилась мокрота, повысилась температура. Объективно: состояние средней тяжести. Периферические лимфатические

узлы не увеличены. ЧДД 18 в 1 мин. Перкуторный звук с коробочным оттенком. Аускультативно: дыхание жесткое, небольшое количество сухих свистящих хрипов в межлопаточной области. Общий анализ крови: л.  $14,2 \cdot 10^9$ /мл, СОЭ 35 мм/ч, сдвиг лейкоцитарной формулы влево. Анализ мокроты: лейкоциты 7–9 в поле зрения, эритроциты 1–2 в поле зрения, эпителий — единичные клетки. Рентгенография органов грудной клетки: легочный рисунок деформирован, усилен, больше в проекции верхнего легочного поля справа, корни легких не изменены. Клинический диагноз: хронический обструктивный бронхит, обострение; дыхательная недостаточность I степени.

Вышеуказанные жалобы и данные обследования могут быть представлены в следующем цифровом обозначении:

Больной В., 32 года, пол — мужской

Объективно:

температура — 37,8°C  
одышка экспираторная — 3  
кашель с мокротой — 3  
кашель периодический — 2  
мокрота скудная — 2  
мокрота слизисто-гнояная — 2  
перкуссия: коробочный — 3  
аускультация: жесткое дыхание — 3  
хрипы сухие — 2  
шум трения плевры — 2  
симметричность поражения — 3  
дыхательная недостаточность — 1

Анализ крови:

повышение СОЭ — 3  
лейкоцитоз — 2  
сдвиг лейкоцитарной формулы влево — 2

Анализ мокроты:

лейкоциты — 2  
эпителий — 2  
эритроциты — 1

Рентгенография:

деформация легочного рисунка — 2  
усиление легочного рисунка — 2  
диффузные изменения — 3.

По остальным признакам выставляется коэффициент 0, так как по этим признакам изменений нет или данные исследования не проводились.

После занесения полученных цифровых значений в компьютер и запуска обученной программы происходит подстройка полученных коэффициентов весов, и на выходе мы получаем результат, имеющий следующий вид:

- затяжная пневмония — 0,
- хронический обструктивный бронхит — 0,
- туберкулез инфильтративный — 0,
- туберкулез очаговый — 0,
- туберкулез диссеминированный — 0,
- рак центральный — 0,
- рак периферический — 0,
- муковисцидоз — 0,
- бронхоэктатическая болезнь — 0,
- подострая ТЭЛА — 0.

Соответственно этому клинический диагноз у данного больного: хронический обструктивный бронхит, дыхательная недостаточность I степени.

Второй пример

Больной Г., 60 лет. Заболел 4 нед назад, когда появились кашель с прожилками крови, субфебрильная температура, слабость,

боль в грудной клетке. Лечился амбулаторно без положительного эффекта. Поступил с жалобами на слабость, одышку при физической нагрузке, кашель сухой и с мокротой, боли в правой половине грудной клетки, усиливающиеся при глубоком вдохе, повышение температуры до 40°C, головную боль, тошноту. Объективно: состояние средней тяжести, кожные покровы обычной окраски, увеличенные периферические лимфатические узлы. Грудная клетка болезненна при пальпации, правая половина ее отстает при дыхании. ЧДД 24 в 1 мин. Перкуторно: притупление по передней поверхности грудной клетки на уровне III–IV ребер. Аускультативно: справа дыхание ослаблено, единичные сухие и влажные мелкопузырчатые хрипы в межлопаточной области, парастернально на уровне III–IV ребер шум трения плевры. Анализ крови: л. 15,2 · 10<sup>9</sup>/мл, СОЭ 30 мм/ч. Биохимический анализ крови: мочевины 14 ммоль/л, креатинин 0,16 ммоль/л, фибриноген 6,2 г/л. Анализ мокроты: лейкоциты 1–2 в поле зрения, эритроциты 6–8 в поле зрения, эпителий единичный. Рентгенография органов грудной клетки: справа в S<sub>3</sub> затемнение с четкой нижней границей по междолевой плевре, нечеткой верхней, правый корень расширен, слева — без особенностей. ЭКГ: синусовый ритм 73 в 1 мин., блокада правой ножки пучка Гиса. Клинический диагноз: правосторонняя пневмония с локализацией в верхней доле, затяжное течение. Параневмонический экссудативный плеврит справа.

Больной Г., 60 лет, пол — мужской

Объективно:

- температура — 38,2°C
- одышка смешанная — 2
- кашель сухой — 3
- кашель с мокротой — 2
- кашель постоянный — 2
- мокрота слизистая — 2
- кровохарканье — 1
- перкуссия: притупление — 3
- auscultation: ослабленное дыхание — 3
- хрипы сухие — 2
- хрипы мелкопузырчатые — 2
- шум трения плевры — 3
- боль в грудной клетке — 2
- дыхательная недостаточность — 1
- увеличение лимфоузлов — 2
- симптомы интоксикации — 2
- плеврит экссудативный — 3

Анализ крови:

- лейкоцитоз — 2
- повышение СОЭ — 3
- лимфоцитоз — 2
- мочевина — 2
- креатинин — 2
- фибриноген — 2

Анализ мокроты:

- лейкоциты — 1
- эритроциты — 3
- эпителий — 1

Рентгенография:

- локальные изменения — 3

- расширение корня легкого — 3
- интенсивное затемнение — 3
- инфильтрация — 2

ЭКГ:

- блокада правой ножки пучка Гиса — 2

После обработки данных с помощью программы получаем результат:

- затяжная пневмония — 3,
- рак центральный — 1,

соответственно, по другим заболеваниям получаем 0 баллов.

У данного больного были получены 2 диагноза, что позволило целенаправленно назначить необходимые обследования. После проведения бронхоскопии и занесения новых данных в компьютер получен следующий результат: рак центральный — 3.

Диагноз центральный рак правого легкого был окончательно подтвержден после обследования в онкологическом диспансере.

## Выводы

Полученные результаты позволяют сделать вывод о возможности применения ИНС в медицине для создания диагностических программ. Кроме того, использование ИНС дает широкие диагностические возможности. В настоящее время продолжают работы по расширению БД больных и созданию многослойных вариантов ИНС.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гембицкая Т.Е. Муковисцидоз: диагностика, лечение, организация помощи больным и их семьям. Врач 1993; 12: 38–41.
2. Дуков Л.Т., Борохов А.И. Диагностика и лечение болезней органов дыхания в аспектах диагностических и лечебно-тактических ошибок. Смоленск: Русич; 1996.
3. Иванникова Е.А., Доронина М.Н., Ткачева С.И. Прогнозирование затяжного течения острых пневмоний на ранних этапах заболевания. В кн.: Ландышев Ю.С., Пономаренко В.Н. (ред.) Актуальные проблемы клинической пульмонологии и фтизиатрии: Сб. науч. тр. Благовещенск; 1991. 54–56.
4. Марчук Г.И., Бербенцова Э.П. Острые пневмонии: иммунология, оценка тяжести, клиника, лечение. М.: Наука; 1989.
5. Никонова Е.В., Черняев А.Л., Чучалин А.Г. Клинико-диагностические аспекты пневмоний. Пульмонология 1997; 1: 60–63.
6. Пилипчук В.Н., Ткачишин В.С., Зборомирский В.В. и др. Затяжное течение острых пневмоний и их профилактика. Врач. дело 1991; 6: 86–89.
7. Пневмония — актуальная проблема. Дискуссия за круглым столом. Пульмонология 1997; 1: 75–91.
8. Провоторов В.М., Должикова Т.П. Клиника затяжной пневмонии. Воронеж: ВГУ; 1980.
9. Уорссермен Ф. Нейрокомпьютерная техника. М.: Мир; 1992.
10. Щенников Э.Л., Сакунов В.А., Ри Хан Дин. Дорентгенологическая диагностика периферического рака легкого. Тер. арх. 1993; 65 (3): 43–45.

Поступила 15.05.2000