

Применение нейронных сетей для обработки данных анамнеза и лабораторных обследований при диагностике воспалительных заболеваний кишечника

А. А. Николаев¹, Г. А. Машевский²

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

¹ anton2000.07.23@gmail.com, ² aniket@list.ru

И. А. Расмагина

Северо-Западный государственный медицинский
университет им. И.И. Мечникова

irenerasmagina@gmail.com

Н. М. Шелякина

ЗАО «СП.АРМ», Санкт-Петербург

n.sheliakina@gmail.com

Аннотация. На основе применения искусственных нейронных сетей разработаны модели принятия решений о наличии и этиологии воспалительных заболеваний кишечника у пациентов.

Ключевые слова: нейронные сети; воспалительные заболевания кишечника; болезнь Крона; язвенный колит; обработка медицинских данных

I. ВВЕДЕНИЕ

A. Воспалительные заболевания кишечника

Воспалительные заболевания кишечника (ВЗК) представляют собой группу хронических патологий, характеризующихся воспалением в различных отделах желудочно-кишечного тракта. На сегодняшний день к формам ВЗК относятся болезнь Крона (БК) и язвенный колит (ЯК), каждое из которых имеет свои клинические проявления и требует особых подходов к диагностике и лечению. Точные причины развития воспалительных заболеваний кишечника до сих пор не выяснены, однако исследования указывают на взаимосвязь между такими факторами, как генетика, состояния, связанные с иммунной системой, инфекции, воздействие окружающей среды и образ жизни [1, 2].

Данные заболевания чаще всего поражают молодых людей, характерны для стран с высоким уровнем индустриализации и преимущественно распространяются среди жителей городов. Хотя заметных различий в частоте встречаемости среди мужчин и женщин обычно не наблюдается, считается, что болезнь Крона чаще диагностируется у женщин, а язвенный колит – у мужчин. В России наблюдается в три раза больше случаев тяжелого течения воспалительных заболеваний кишечника с высоким уровнем смертности, что объясняется задержками в диагностике [3].

Вовремя и точно выявленная патология является ключевым фактором для эффективного лечения ВЗК. Современные методы диагностики ВЗК включают

клинический осмотр, лабораторные анализы, эндоскопические и гистологические исследования. Однако многие из них являются инвазивными, достаточно дорогостоящими и приносящими существенный дискомфорт пациенту. Поэтому в некоторых ситуациях проведение определенных исследований может оказаться излишним или неоправданным [3].

В связи с этим важную роль играет первый этап диагностики, включающий анализ имеющихся клинических симптомов и признаков. Однако эта задача часто оказывается сложной из-за возможной неясности клинической картины и совпадения симптомов с другими расстройствами пищеварительной системы [3]. Поэтому поиск новых подходов к анализу данных анамнеза и лабораторных обследований при диагностике ВЗК является актуальной задачей.

В последнее время искусственный интеллект (ИИ) и, в частности, модели на основе нейронных сетей, демонстрируют значительный потенциал в области медицинской диагностики. Применение нейронных сетей как инструмента для анализа клинических и лабораторных данных в диагностике ВЗК может изменить подходы к обнаружению и классификации этих заболеваний.

B. Нейронные сети

Нейронные сети представляют собой математические модели, они состоят из сетей искусственных нейронов, которые взаимодействуют между собой. Основной строительный блок нейронных сетей – искусственный нейрон, или перцептрон [4].

Искусственный нейрон моделирует функции биологического нейрона. Он принимает входные сигналы, взвешивает их с помощью весовых коэффициентов, применяет функцию активации к взвешенной сумме и передает результат на выход. Данный процесс можно представить формулой (1) [5].

$$y = f\left(\sum_{i=1}^n w_i \cdot x_i + b\right) \quad (1)$$

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum d^2}{n^3 - n} \quad (2)$$

Многослойный перцептрон (МСП) является одним из наиболее распространенных типов нейронных сетей. Он состоит из нескольких слоев нейронов, включая входной, скрытые и выходной слои. Каждый нейрон в слое связан с нейронами предыдущего и последующего слоев, причем сигнал передается от входного слоя к выходному через скрытые слои с применением нелинейных функций активации [5].

Применение многослойного перцептрона в диагностике воспалительных заболеваний кишечника позволит обрабатывать различные клинические данные, включая сведения из анамнеза и результаты лабораторных исследований, для выявления наличия патологии. Благодаря своей способности к обучению и выявлению сложных и скрытых паттернов в данных, МСП может помочь улучшить точность диагностики ВЗК.

II. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

A. Цель исследования

Целью работы является разработка моделей нейронных сетей для обработки данных анамнеза и лабораторных обследований при диагностике воспалительных заболеваний кишечника.

B. Исходные данные

Для исследования был использован массив данных, собранный на базе Северо-Западного центра ВЗК (СЗГМУ им. И. И. Мечникова). Массив содержит данные анамнеза и результатов лабораторных исследований пациентов, разделенных на 3 группы: пациенты с подтвержденным диагнозом болезни Крона, язвенного колита и пациенты, отнесенные к группе «Норма» по отношению к ВЗК.

Данные можно разделить на 2 группы:

- данные анамнеза, которые включали 40 разных признаков, большинство из которых представлено категориальными переменными;
- данные результатов лабораторных исследований, которые представляют собой численный показатель.

Из-за наличия большого количества входных признаков для построения адекватной диагностической модели необходимы были выявить значимые параметры, влияющие на риск воспалительных заболеваний кишечника.

C. Статистический анализ

Статистическая обработка входных данных проводилась с помощью математического пакета StatSoft STATISTICA (версия 13.0).

В решении задачи установления связей между параметрами и наличием патологии ВЗК был использован корреляционный анализ, а именно ввиду наличия категориальных переменных, непараметрические методы статистического анализа. Для установления силы связи между входными и выходными параметрами использовался ранговый коэффициент корреляции Спирмена (2), рассчитанный при уровне доверительной вероятности 95 %.

где n – ранг числа, представляющий номер в упорядоченном ряду; d – разность рангов для каждой выборки.

После выявления значимых признаков была предпринята попытка создания моделей нейронных сетей на языке программирования Python с помощью использования библиотек для машинного обучения Keras.

D. Результаты

После первичной обработки массив содержал данные о 335 пациентах: группа с ВЗК составляла 273 пациента, в группу СРК было включено 62 пациента.

Анализ коэффициентов корреляции между клинико-анамнестическими признаками и наличием патологии профиля ВЗК представлен в табл. 1.

ТАБЛИЦА I. ЗНАЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ КОРРЕЛЯЦИИ МЕЖДУ ПРИЗНАКАМИ И НАЛИЧИЕМ ПАТОЛОГИИ ВЗК

Признаки	Коэффициент корреляции Спирмена	p-уровень
Запоры	-0,4235	<0,001
Отсутствие диареи	-0,4626	<0,001
Диарея 1-2 р/сут	0,0887	<0,001
Диарея 3-4 р/сут	0,0306	0,007
Диарея ≥5 р/сут	0,2313	<0,001
Кровь в стуле	0,4268	<0,001
Нет ВКП	-0,2600	<0,001
Нет перианальных проявлений	-0,1489	<0,001
Стеноз тонкой/толстой кишки	0,1529	<0,001
Хирургическое лечение	0,0960	0,007
Функциональная патология	-0,2534	<0,001
Отягощенный анамнез по ВЗК	0,0679	<0,001
Гемоглобин	-0,2260	<0,001
C-реактивный белок	0,3087	<0,001
Фекальный кальпротектин	0,5989	<0,001

Представленные в табл. I данные показывают, что были выявлены статистически значимые ($p < 0,05$) различия наличия признаков (в случае с лабораторными исследованиями статистически значимые различия показателей) в зависимости от наличия ВЗК и СРК.

Пациенты с ВЗК статистически значимо чаще имели нарушения стула в виде диареи с различной частотой, примеси крови в стуле, и повышение показателей C-реактивного белка (СРБ) и фекального кальпротектина (ФК). Пациенты с СРК, напротив, больше имели нарушения стула по типу запоров, отсутствие перианальных и внекишечных проявлений, также по сравнению с пациентами с ВЗК имели более высокий показатель уровня гемоглобина.

Для создания моделей ИНС были использованы все представленные в табл. 1 признаки, также были созданы модели с меньшим количеством признаков (исключались менее значимые признаки). Результаты производительности на тестовом массиве полученных моделей ИНС представлены в табл. 2.

Для обучения моделей использовалась библиотека Keras – высокоуровневая библиотека для глубокого обучения, написанная на языке Python. Применялся класс Sequential, который представляет собой линейную

стековую модель нейронной сети. В качестве функции активации была использована функция ReLU (Rectified Linear Activation).

ТАБЛИЦА II. ПОКАЗАТЕЛИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ВОСПАЛИТЕЛЬНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ КИШЕЧНИКА НА ТЕСТОВОМ МАССИВЕ

Модели	Выявление ВЗК		
	Точность, %	Чувствительность, %	F-мера
МСП 15-15-10-8-8-1	95	95	95
МСП 12-12-10-8-8-1	92	93	92
МСП 9-9-8-6-6-1	90	90	90
МСП 4-4-8-6-6-1	89	87	88

При проверке производительности моделей ИНС на тестовой выборке были получены высокие показатели эффективности моделей для выявления ВЗК. Можно отметить, что включение большего числа признаков несколько улучшает производительность.

Наилучший результат был получен у модели, при обучении которой были использованы в качестве входных данных все признаки, представленные в табл. 1. Модель имеет 15 нейронов во входном слое, 4 скрытых слоя с количеством нейронов 15, 10, 8 и 8 соответственно, и 1 нейрон в выходном слое. Графическое представление архитектуры модели показано на рис. 1.

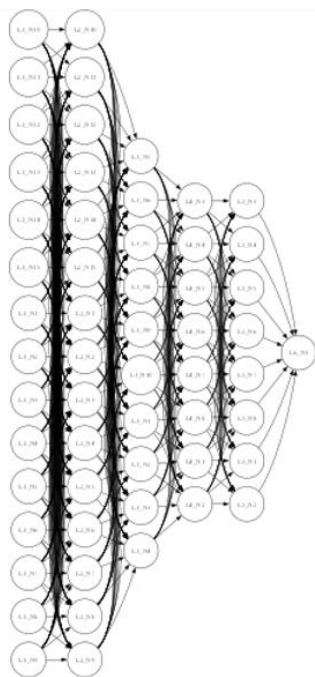


Рис. 1. Архитектура модели на основе нейронных сетей для диагностики ВЗК

Также была сделана попытка построения модели дифференциации ВЗК по виду патологии – болезнь Крона и язвенный колит. Данные производительности полученной модели представлены в табл. 3.

Модель представляет собой ИНС по типу многослойный персептрон с 15 нейронами во входном слое и 4 скрытыми слоями.

ТАБЛИЦА III. ПОКАЗАТЕЛИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ МОДЕЛИ ДЛЯ ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ ВЗК ПО ВИДУ ПАТОЛОГИИ (БОЛЕЗнь КРОНА И ЯЗВЕННЫЙ КОЛИТ)

Классы	Метрики	Точность, %	Чувствительность, %	F-мера
Язвенный колит	82	43	56	
Среднее	77	68	69	
Средневзвешенное	76	74	72	

По данным табл. 3 можно сделать вывод о том, что показатели эффективности модели для дифференциации болезни Крона и язвенного колита неудовлетворительные (при целевых значениях больше 80 %). Для данных целей анализа данных анамнеза и результатов лабораторных обследований недостаточно.

Полученные модели для выявления наличия ВЗК можно использовать на начальном этапе диагностики в качестве поддержки принятия врачебного решения.

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Воспалительные заболевания кишечника являются серьезными хроническими состояниями, диагностика которых является сложной задачей, требующей использования комплексного подхода. Своевременная и правильная диагностика играет важную роль в успехе лечения ВЗК. В рамках проведенного исследования была разработана модель на основе ИНС для выявления наличия ВЗК. Модель обладает высокими показателями эффективности и, возможно, в дальнейшем будет использована для помощи врачам-клиницистам в целях выявления пациентов, требующих проведения дополнительных обследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Клинические рекомендации «Болезнь Крона» [Электронный ресурс]. 2020. – Текст: электронный // Официальный интернет-портал правовой информации. – URL: <https://legalacts.ru/doc/klinicheskie-rekomendatsii-bolezni-krona-utv-minzdravom-rossii/>. Дата обращения: 01.12.2023.
- [2] Обзор воспалительного заболевания кишечника // Справочник MSD [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.msmanuals.com/ru/overview-of-inflammatory-bowel-disease> (дата обращения 01.12.2023).
- [3] Бакулин И.Г., Расмагина И.А., Скалинская М.И. Дифференциальная диагностика и прогнозирование течения воспалительных заболеваний кишечника: современные подходы. // Вестник Северо-Западного государственного медицинского университета им. И.И. Мечникова. 2021;13(3):19–30. doi: 10.17816/mechnikov77646
- [4] Юнкеров В.И., Григорьев С.Г., Резванцев М.В. Математико-статистическая обработка данных медицинских исследований / 3-е изд., доп. СПб.: ВМедА, 2011. 318 с.
- [5] Нейронные сети. STATISTICA Neural Networks: Методология и технологии современного анализа данных / Под редакцией В. П. Боровикова, 2-е изд., перераб. и доп. М.: Горячая линия – Телеком, 2008. 392 с.