

Лечение абсцесса брюшной стенки с применением рекуррентной нейронной сети с управляемыми элементами

А. Н. Субботин¹, Н. А. Жукова^{1,2}

¹Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

²Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской академии наук

alesu1543@gmail.com, nazhukova@mail.ru

Аннотация. В статье рассматривается метод лечения абсцесса брюшной стенки у пациентов с применением нейросетей различного назначения. Приводится обзор доступных методов лечения и анализ применимости нейросетевого подхода при лечении абсцессов в хирургии общего назначения. Рассматривается применение нейросетевых методов при лечении абсцессов брюшной полости и стенки. Обозначена проблема в точности диагностики и скорости постановки первичного диагноза. Предложено решение, основанное на применении рекуррентной нейросети с управляемыми элементами. Доказана эффективность его применения при лечении, достигаемая благодаря повышению точности определения образов болезненных состояний на 21,52 %. Данный метод первичной диагностики может быть применен для решения широкого круга задач различными специалистами: терапевтами общей практики, врачами-специалистами по определенным заболеваниям.

Ключевые слова: лечение абсцесса; брюшная стенка; рекуррентная нейросеть; первичная диагностика; постановка диагноза; общая хирургия

I. ВВЕДЕНИЕ

Лечение любого абсцесса подразумевает дренирование в зависимости от локализации. В некоторых случаях допустимо кожное дренирование: вскрытие скальпелем с извлечением патогенной жидкости и установки трубки с истечением продуктов гниения в течение от одних до нескольких суток с последующей закачкой раствора перекиси водорода, обеззараживанием в комплексе с приемом антибиотиков (амоксиклав, амоксициллин и другие производные пенициллина с вспомогательными компонентами). Природа абсцесса очень проста вне зависимости от локализации: патогенное заражение вызывает бактерия золотистого стафилококка, которая распространяется при определенных тепловых условиях, например, на полу, где образуется питательная среда, поэтому рекомендуется заниматься влажной уборкой не менее одного раза в неделю. Отсутствие влажной уборки с щелочными растворами (мыло, порошки и пр.) способствуют размножению и других видов бактерий, которые при большом количестве и контакте с кожей человека вызывают покраснение, затем зуд и

проникновение под кожу с растеканием продуктов гниения под кожей, что является причиной абсцесса брюшной стенки. Единственный разумный способ лечения – это дренирование хирургическим путем без применения мазей, поскольку образование капсулы на данном этапе развития заражения уже невозможно. Однако, возможно нехирургическое (безоперационное) лечение с образованием гранулёмы белого цвета и истечением гнойной жидкости. Но в случае неправильного лечения и растекания гнойной жидкости в подкожном покрове уже недопустимо применение мазей и необходимо скорое лечение хирургическим путем с дренированием патогенной жидкости из тела пациента (рис. 1).

Заражение пациента возможно и внутривенно при посещении стоматолога и некачественной обработки инструментов. В месте образования тромба брюшной стенки возникает покраснение, зуд, воспаление. Удаление тромба возможно только хирургическим путем с назначением антибиотиков.

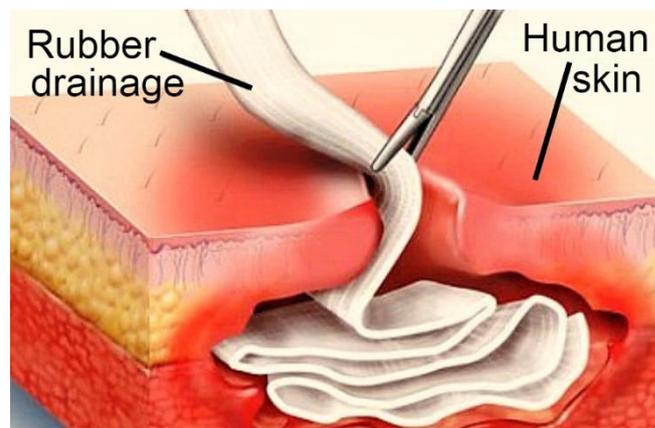


Рис. 1. Дренирование абсцесса брюшной стенки

Хирургу достаточно первичной диагностики (осмотра) пациента при наружной локализации очага инфекции, но в некоторых случаях требуется эндоскопия, ультразвуковое исследование и рентген. Локализация абсцесса возможна внутри брюшной полости с поражением стенки желудка и внутренних органов, для диагностики состояния пациента и лечения требуется более детальное обследование и

хирургическое вмешательство на сложном оборудовании с общей анестезией и наркозом.

II. ОБЗОР ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ

Сейчас активно применяется нейросетевой подход при первичной диагностике пациента [1, 3, 4, 6, 8]. Так, например, для определения заболеваний мозга вначале делают рентген с контрастом, потом применяя нейросети для обработки снимков. Нейросети, определяющие абсцессы брюшной стенки уже не новы. Можно отметить целый ряд таких сетей (Flair, Dream, Looka, Scenario, Rosebud AI, MacWhisper, Uberduck, WavTool, Visper, Fliki, Runway, Pictory), которые обучены для определения конкретных заболеваний, в том числе абсцессов брюшной стенки [2, 5]. В некоторых случаях можно скачать исходные коды (скрипты на Python или на языке R) и доучить нейросеть (Outfits AI, REImagineHome, SlidesAI) с применением определенных датасетов для определения абсцессов применительно к определенным частям тела (мозг, желудок, конечности, отдельные внутренние органы и т. д.) [7, 9, 10, 12]. Есть более обширные датасеты и нейросети с обученными моделями, такие как ChatGPT от OpenAI [11, 13, 15] с производными (YandexGPT, Шедевр, Midjourney, GPT-4, Kandinsky, Bard от Google, DeepArt и пр.) переобучение и дообучение которых потребует значительных затрат по времени и технических ресурсов (доступ к производительным системам: GeForce NVIDIA Tesla V100, Quadro RTX 8000, A 6000 Ada, RTX 3080 TI, RTX A 5000, RTX 4090 и пр. и блейд-серверам: Lenovo (IBM) BladeCenter, HPE, Huawei, Supermicro, IBM, Inspur, Dell PowerEdge FX, Fujitsu и пр. с адаптациями под машинное обучение и нейросети: Cisco UCS B200 M5, HPE ProLiant ML350 Gen11 с накопителями Dell VRTX под R730 и M620) [14, 17].

Кроме алгоритмов нейросетей с исходными кодами, нужны датасеты для их обучения. Следует отметить популярные медицинские датасеты для определения различных заболеваний без нарушений медицинской тайны: Protected Health Information (PHI), The Cancer Imaging Archive (TCIA), Open Access Series of Imaging Studies (OASIS), Musculoskeletal Radiographs (MURA), Medical Information Mart for Intensive Care (MIMIC), Healthcare Cost and Utilization Project (HCUP), Global Health Observatory (GHO) [16] и многие другие, которые могут быть свободно использованы в различных странах.

III. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Перечисленные нейросети и обученные модели имеют ряд преимуществ и недостатков. В некоторых случаях, скорость определения состояний пациента и обучения низкая, в других случаях – точность определения недостаточно высокая. Причиной может послужить избыточная информация из смежных областей знаний (например, онкологические заболевания, вызванные курением табака, продаже определенных типов и марок сигарет, производстве и выращивании табака на плантациях и курильщиках, как культуре). Стоит отделить датасеты с немедицинской информацией и провести переобучение модели на точных данных для определения абсцесса брюшной стенки. Медленное обучение модели вызвано большим количеством информации в датасетах, которая для

первичной диагностики заболеваний не нужна. Возможно существенно повысить скорость работы и обучения модели при тех же технических характеристиках системы (оперативная память, процессорное время, графический адаптер и пр.), если подобрать более необходимый датасет [10, 12].

Второй проблемой является отсутствие алгоритма нейросети с открытым исходным кодом, который сочетает в себе преимущества рекуррентной нейросети с возможностью динамического дообучения, быстрого создания модели и высокой скорости определения объектов. Не все алгоритмы реализованы на Python, доступны для свободного использования и достаточно просты в применении. Именно от применения реализованного алгоритма в коде программы сильно зависит точность определения объектов (иногда: событий, образов болезненных состояний и заболеваний). Система с программой визуализации состояний должна работать достаточно быстро, чтобы врачу-специалисту было комфортно работать. Допустимое время должно быть в пределах нескольких миллисекунд для первичной диагностики и сильно не требовать многих настроек для постановки первичного диагноза врачом-специалистом.

Требуется модель и нейросеть, которая бы сочетала в себе высокую скорость определения состояний и точность определения объектов, применимую для решения данной задачи.

IV. СПОСОБ РЕШЕНИЯ

Лечение абсцесса брюшной стенки возможно с применением приложения для смартфона. Приложение включает алгоритм рекуррентной нейросети с управляемыми элементами, который реализован на языке Python 3.12.3 for macOS (<https://www.python.org/downloads/macos/>) и находится в открытом доступе RNN-CE (<https://github.com/dmmil/rnn>) с документацией. Врач-хирург общей практики или медсестра открывает приложение на смартфоне или на компьютере MacOS Sonoma v.14 с предустановленным компонентом Rosetta и определяет степень опасности абсцесса брюшной стенки. Предложенный метод существенно облегчает первичную диагностику пациента с гнойным абсцессом брюшной полости и брюшной стенки. Применение рекуррентной нейронной сети (РНС) с управляемыми элементами может значительно повысить скорость определения образов для выявления абсцессов брюшной стенки у человека, а с хорошо подготовленной моделью и с дообучением РНС с управляемыми элементами в процессе своей работы может повысить точность определения объектов.

В качестве средства разработки для системы визуализации и диагностики заболеваний подходит MacBook Air с техническими характеристиками: M1 8 core 8Gb cache, SSD 2Tb, 7 core GPU 13.3", IPS (2560x1600) с Mac OS Sonoma v.14, который поддерживает технологию Rosetta Mac и приложения, разработанные под iOS v.17.4 одинаково работают и под Mac OS, что позволяет сильно сэкономить время разработки и написания кода.

Программа для первичной диагностики абсцесса брюшной стенки была разработана в Xcode 15 с применением встроенных языков: Swift, Objective-C, C и C++ и обращением к внешним скриптам на Python, реализующим нейросеть (NN) с управляемыми элементами, и обучена в PyTorch 2.1 (<https://pytorch.org/>). Обращение к скрипту на Python происходит через вызов внешней функции с параметрами: путь и имя скрипта, название файла с предполагаемым объектом. После выполнения скрипта, результат возвращается в программу в среде Xcode и задействует библиотеку Bootstrap 5.1 (<https://getbootstrap.com/>) для визуализации событий на JQuery v.3.7.1 (<https://jquery.com/>).

V. ПРИМЕР ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Авторами статьи разработано приложение (рис. 2), которое позволяет производить диагностику абсцесса брюшной стенки и оценивать степень заживления после дренирования. В приложении можно выбрать тип датасета, на котором была обучена модель; алгоритм нейросети. Все определенные образы сохраняются в локальной СУБД под названием 10.3.16-MariaDB с расширениями PHP/7.3.6 (mysqli, curl, mbstring, pdo) под управлением ApacheFriends XAMPP Version 7.3.6.

На рис.2 справа представлено изображение, полученное с видеокamеры смартфона с возможностью повторной перепроверки (кнопка «Reset»). В данном случае определен абсцесс брюшной стенки, требующий незамедлительного лечения (рекомендация в поле «Diagnosis:»). Внизу представлено логирование событий (поле «Logs»), которое можно посмотреть в формате HTML/CSS на сайте в виде таблицы (кнопка «Web»). Имеется возможность управления сервисом BSD в формате MacOS по кнопкам (Stop, Start и Reset), заданием параметров и автозагрузкой при старте системы (флажок «Auto»). Допустима повторная загрузка и сканирование конфигурационных файлов и скриптов на Python (кнопка «Scan») с правой стороны от пиктограммы врача.

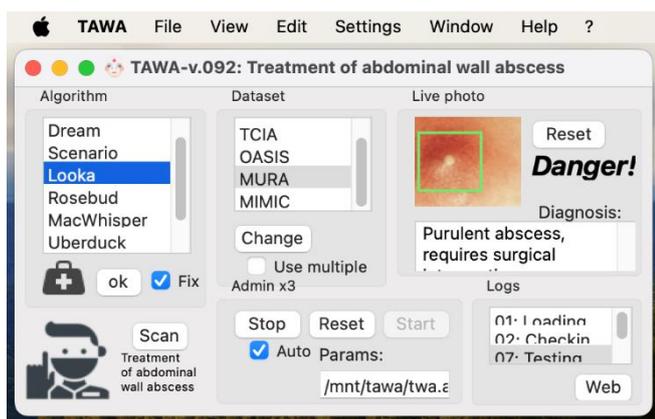


Рис. 2. Внешний вид приложения для первичной диагностики абсцесса брюшной стенки

После проведения замеров для пяти разных датасетов (PHI, TCIA, OASIS, MURA, MIMIC), выявлено повышение точности (табл. 1) определения образов абсцесса брюшной стенки на 21,52 % RNN-CE (Recurrent Neural Network with Controlled Elements) относительно самого неточного алгоритма Looka.

ТАБЛИЦА I. Точность определения образов

Название алгоритма нейросети	Название датасета					Точнее (%)
	PHI	TCIA	OASIS	MURA	MIMIC	
Flair	0,87	0,85	0,89	0,87	0,9	↑ 12,2
Dream	0,89	0,87	0,91	0,86	0,92	↑ 13,6
Scenario	0,82	0,81	0,84	0,8	0,87	↑ 7,4
Looka	0,79	0,73	0,75	0,72	0,78	0
Rosebud	0,81	0,8	0,82	0,79	0,83	↑ 5,6
MacWhisper	0,84	0,86	0,89	0,9	0,91	↑ 12,6
Uberduck	0,87	0,89	0,92	0,93	0,95	↑ 15,8
Fliki	0,82	0,86	0,87	0,91	0,93	↑ 12,4
Pictory	0,83	0,87	0,89	0,92	0,94	↑ 13,6
RNN-CE	0,98	0,95	0,97	0,96	0,986	21,52

Для воспроизведения эксперимента, необходимо разработать приложение под Mac OS, собрать статистику, открыть в Microsoft Excel 365 on Mac, применить: фильтрацию, агрегирование, среднее значение, автосумму, отклонение от самого малого числа, округление до сотых (0,00), подсчитать проценты и заполнить результирующую таблицу. При построении моделей применялся сервер: HPE Machine Learning Development System с техническими характеристиками: Apollo 6500 Gen10+ with NVIDIA® A100 8 way 80GB GPU (Compute Node), Proliant DL325 (Management Node), HPCM (Cluster Manager), HPE Parallel File System (Storage), NVIDIA Infiniband с предустановленным программным обеспечением от производителя: HPE Machine Learning Development Environment, HPE Performance Cluster Manager, Red Hat Linux, SUSE Linux. Для подсчетов результатов и разработки программ визуализации применялся компьютер: Apple MacBook Pro 16 2023 3456×2234, Apple M2 Max, LPDDR5, SSD 8 ТБ, Apple graphics 38-core, macOS, RU, Z176000V0.

VI. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведено исследование возможности диагностики абсцесса брюшной стенки с применением нейросетей, в частности, рекуррентной нейросети с управляемыми элементами. Рассмотрены датасеты и алгоритмы, применяемые для определения абсцесса брюшной стенки.

Обозначена проблема в скорости и точности определения образов при первичной диагностике и постановке диагноза. Предложен способ решения, основанный на применении РНС с управляемыми элементами. Замеры эффективности показали повышение точности работы нейросети на 21,52 % относительно самого неэффективного алгоритма.

Данный метод первичной диагностики при лечении абсцесса брюшной стенки с применением рекуррентной нейросети с управляемыми элементами может быть применен и при диагностике других заболеваний: абсцессам брюшной полости, внутренних органов, мозга, конечностей: рук и ног, и других мягких тканей человека.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Авторы статьи выражают благодарность Городской больнице №14 (<https://gu364.site.gov.spb.ru/>) в Санкт-Петербурге за содействие в проведении исследования; и СПИИРАН (<http://www.spiiras.nw.ru/>) за научную поддержку и возможность выступить на конференции SCM-2024, Санкт-Петербург, Россия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Stephen I. Gallant, "Neural Network Expert Systems," in Neural Network Learning and Expert Systems, MIT Press, 1993, pp.253-253.
- [2] Donna L. Hudson, Maurice E. Cohen, "Neural Networks," in Neural Networks and Artificial Intelligence for Biomedical Engineering, IEEE, 2000, pp.11-11, doi: 10.1109/9780470545355.part1.
- [3] Madan M. Gupta, Liang Jin, Noriyasu Homma, "ContinuousTime Dynamic Neural Networks," in Static and Dynamic Neural Networks: From Fundamentals to Advanced Theory, IEEE, 2003, pp.345-392, doi: 10.1002/0471427950.ch9.
- [4] Madan M. Gupta, Liang Jin, Noriyasu Homma, "Binary Neural Networks," in Static and Dynamic Neural Networks: From Fundamentals to Advanced Theory, IEEE, 2003, pp.507-577, doi: 10.1002/0471427950.ch13.
- [5] Madan M. Gupta, Liang Jin, Noriyasu Homma, "Function Approximation Using Feedforward Neural Networks," in Static and Dynamic Neural Networks: From Fundamentals to Advanced Theory, IEEE, 2003, pp.253-294, doi: 10.1002/0471427950.ch7.
- [6] Madan M. Gupta, Liang Jin, Noriyasu Homma, "Radial Basis Function Neural Networks," in Static and Dynamic Neural Networks: From Fundamentals to Advanced Theory, IEEE, 2003, pp.223-252, doi: 10.1002/0471427950.ch6.
- [7] Madan M. Gupta, Liang Jin, Noriyasu Homma, "Fuzzy Sets and Fuzzy Neural Networks," in Static and Dynamic Neural Networks: From Fundamentals to Advanced Theory, IEEE, 2003, pp.633-685, doi: 10.1002/0471427950.ch15.
- [8] James M. Keller, Derong Liu, David B. Fogel, "Recurrent Neural Networks," in Fundamentals of Computational Intelligence: Neural Networks, Fuzzy Systems, and Evolutionary Computation, IEEE, 2016, pp.77-100.
- [9] Madan M. Gupta, Liang Jin, Noriyasu Homma, "Learning and Adaptation in Dynamic Neural Networks," in Static and Dynamic Neural Networks: From Fundamentals to Advanced Theory, IEEE, 2003, pp.393-434, doi: 10.1002/0471427950.ch10.
- [10] V. Osipov, N. Zhukova, A. Subbotin, "Intelligent escalator passenger safety management," Scientific Reports, April 2022.
- [11] Madan M. Gupta, Liang Jin, Noriyasu Homma, "DiscreteTime Dynamic Neural Networks and Their Stability," in Static and Dynamic Neural Networks: From Fundamentals to Advanced Theory, IEEE, 2003, pp.469-505, doi: 10.1002/0471427950.ch12.
- [12] A.N. Subbotin, N.A. Zhukova and F. Anaam, "Application of Recurrent Neural Networks with Controlled Elements for Accuracy Enhancement in Recognition of Sound Events in a Fog Computing Environment," // 2022 III International Conference on Neural Networks and Neurotechnologies (NeuroNT), Saint Petersburg, Russian Federation, 2022, pp. 47-50, doi: 10.1109/NeuroNT55429.2022.9805559.
- [13] Madan M. Gupta, Liang Jin, Noriyasu Homma, "Stability of ContinuousTime Dynamic Neural Networks," in Static and Dynamic Neural Networks: From Fundamentals to Advanced Theory, IEEE, 2003, pp.435-458, doi: 10.1002/0471427950.ch11.
- [14] Shuai Li; Long Jin, Mohammed Aquil Mirza, "Adaptive Dynamic Programming Neural Networks for Control," in Kinematic Control of Redundant Robot Arms Using Neural Networks, IEEE, 2019, pp.17-25, doi: 10.1002/9781119557005.ch2.
- [15] Alessandro Migliaccio, Giovanni Iannone, "Defining a Neural Network," in Systems Engineering Neural Networks, Wiley, 2023, pp.17-31, doi: 10.1002/9781119902027.ch2.
- [16] Madan M. Gupta, Liang Jin, Noriyasu Homma, "Neural Units: Concepts, Models, and Learning," in Static and Dynamic Neural Networks: From Fundamentals to Advanced Theory, IEEE, 2003, pp.43-101, doi: 10.1002/0471427950.ch3.
- [17] Changliu Liu, Tomer Arnon, Christopher Lazarus, Christopher Strong, Clark Barrett, Mykel J. Kochenderfer, Algorithms for Verifying Deep Neural Networks, 2021.