

УДК 004.891

АНГИОЛОГИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ

Салахутдинова Н.Ч. (НИЯУ МИФИ)

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Зайцев К.С.
(НИЯУ МИФИ)

Введение.

В современную ангиологию (сосудистую хирургию) для решения задач диагностики и прогностики интенсивно внедряются алгоритмы искусственного интеллекта (ИИ). Они уже показывают значительный потенциал, например в детекции церебрального венозного тромбоза (AUROC = 0.910) [1], или в прогнозировании посттромботического синдрома (AUC 0.891) [2]. Вместе с тем, внедрение ИИ-решений требует особого внимания к их надёжности. Так исследования выявляют недостаточную чувствительность моделей к ухудшению состояния пациентов [3], актуализируя проблему клинической валидации и устойчивости алгоритмов.

Ключ к минимизации тромбоэмболии — раннее выявление тромбоза. Для этого используется целый арсенал визуализирующих технологий: УЗИ, КТ и МРТ, среди которых УЗИ признана фундаментальной. Однако эта ультразвуковая диагностика требует разрешения нескольких актуальных задач, таких как субъективность экспертного анализа или определение потенциальной эмбологенности (наличие признаков, указывающих на высокую опасность отрыва тромба от стенки сосуда). При этом время, отведенное на обработку каждого случая – это дефицитный ресурс. На качество диагностики также влияют возможности используемой аппаратуры и возникновение помех на снимках.

Поэтому современная ультразвуковая диагностика является многоуровневой задачей, связывающей воедино человеческий опыт, технологические возможности и индивидуальные особенности пациента. И используемые интеллектуальные алгоритмы должны учитывать все особенности многоуровневой задачи.

Основная часть. Для решения поставленной задачи в настоящей исследовательской работе предлагается использовать такие нейросетевые модели, как U-NET для точной сегментации флотирующих, наиболее эмболоопасных, тромбов и YOLOv8 для мультиклассовой сегментации и детекции признаков посттромботических изменений.

Количественная оценка продемонстрировала сопоставимую метрическую точность выбранных моделей. Модель на базе U-NET достигла показателя чувствительности в 100%, специфичность составила 93%. В то же время, модель на основе YOLOv8 достигла значения чувствительности в 87% и специфичности в 95%. Также, качественный анализ результатов сегментации выявил принципиальное различие в характере ошибок. Архитектура U-NET, несмотря на верную классификацию наличия флотирующего тромба, продемонстрировала тенденцию к неполному выделению его морфологических границ, что обусловлено недостаточным прохождением количеством эпох обучения.

На базе второй, более универсальной модели, была создана аналитическая система. Ключевой функцией этой системы, помимо сегментации и определения размеров наиболее эмболоопасных тромбов, является модуль поддержки принятия решений (clinical decision support system, CDSS). Работа модуля основана на

формализованном наборе диагностических критериев эмболоопасности, интегрированных в алгоритм на этапе его проектирования.

Для оценки диагностической эффективности предложенного метода выполнено сравнительное исследование с традиционным УЗИ-анализом. Сравнение проводилось по базовым метрикам классификации (precision, recall, accuracy, F1-score). Эталонные показатели для экспертной диагностики получены путём ретроспективного анализа данных исследования [4]. Средняя чувствительность (Recall) определения тромбоза (проксимального и дистального) при ультразвуковом исследовании составляет 78%, тогда как специфичность достигает 93%.

Выводы.

Проблематика своевременной и точной сегментации тромбов в ангиологии многогранна — она включает субъективность визуальной оценки в условиях высокой нагрузки и сложность интерпретации неоднозначных диагностических изображений. Для преодоления этих ограничений в рамках данной работы был проведен цикл исследований.

Для верификации клинической значимости разработанных алгоритмов была создана референсная база. Стандартные метрики (precision, recall, accuracy, F1-score) были рассчитаны вручную на основании оценки тех же диагностических изображений экспертами без применения инструментов ИИ. Сравнительный анализ данных позволяет сформулировать научную гипотезу о том, что применение подобных алгоритмов может существенно повысить чувствительность (recall) и воспроизводимость диагностики. На основе модели YOLOv8 была спроектирована прототипная система, выполняющая сегментацию тромбов, их количественную морфометрию (включая размеры флотирующих образований) и генерацию ассистирующего протокола с рекомендациями по дальнейшей терапии.

Критическим ограничением текущей реализации является её ориентация на пост-фактум обработку предварительно сохраненных исследований. Стратегическим направлением развития станет интеграция вычислительного ядра в интерфейс ультразвуковых аппаратов. Это обеспечит динамический мониторинг в реальном времени и откроет перспективы для интраоперационного контроля, повысив безопасность интервенционных процедур.

Список использованных источников:

1. Namjoo-Moghadam A, Abedi V, Avula V, Ashjazadeh N, Hooshmandi E, Abedinpour N, Rahimian Z, Borhani-Haghighi A, Zand R. Machine learning-based Cerebral Venous Thrombosis diagnosis with clinical data. // *J Stroke Cerebrovasc Dis.* 2024 Sep;33(9):107848. doi: 10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2024.107848. Epub 2024 Jul 2. PMID: 38964525.
2. Wu Z, Li Y, Lei J, Qiu P, Liu H, Yang X, Chen T, Lu X. Developing and optimizing a machine learning predictive model for post-thrombotic syndrome in a longitudinal cohort of patients with proximal deep venous thrombosis. // *J Vasc Surg Venous Lymphat Disord.* 2023 May;11(3):555-564.e5. doi: 10.1016/j.jvsv.2022.12.006. Epub 2022 Dec 26. PMID: 36580997.
3. Pias TS, Afrose S, Tuli MD, Trisha IH, Deng X, Nemeroff CB, Yao DD. Low responsiveness of machine learning models to critical or deteriorating health conditions. // *Commun Med (Lond).* 2025 Mar 11;5(1):62. doi: 10.1038/s43856-025-00775-0. PMID: 40069422; PMCID: PMC11897252.
4. Goodacre S., Sutton A.J., Sampson F.C. Meta-analysis: The value of clinical assessment in the diagnosis of deep venous thrombosis // *Annals of Internal Medicine.* 2005. Vol. 143. N. 2. P. 129-139. DOI: 10.7326/0003-4819-143-2-200507190-00012.