Гибридная сеть CNN–BiLSTM с аддитивным вниманием для автоматической четырехэтапной классификации болезни Альцгеймера по МРТ головного мозга

Источник: Frontiers in AI — Medicine

Оригинал: https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/frai.2026.1948601

МРТ | болезнь Альцгеймера | глубокое обучение | диагностика | нейросети | радиология

Болезнь Альцгеймера (БА) — это прогрессирующее и необратимое нейродегенеративное заболевание. Поскольку структурные изменения, сопровождающие самые ранние стадии болезни, являются тонкими и легко упускаются из виду, ручная интерпретация магнитно-резонансной томографии (МРТ) требует много времени и подвержена межэкспертным расхождениям. В данном исследовании представлена сквозная (end-to-end) структура глубокого обучения, которая объединяет пространственное и последовательное рассуждение для классификации МРТ головного мозга на четыре клинически значимые стадии: человек без деменции, человек с очень легкой деменцией, человек с легкой деменцией и человек с умеренной деменцией. Механизм аддитивного внимания впоследствии взвешивает наиболее информативные позиции, после чего компактная плотная головная часть (dense head) принимает окончательное решение. Проблема дисбаланса классов решается путем ограниченной передискретизации (capped oversampling) реальных срезов меньшинства в сочетании с остаточным взвешиванием, чувствительным к стоимости ошибок (residual cost-sensitive weighting), применяемыми только к обучающей выборке; SMOTE в пространстве пикселей намеренно избегается, поскольку интерполяция между двумя незарегистрированными срезами МРТ создает изображения, не

имеющие анатомического референса. Точный скрининг дубликатов применяется перед разделением данных, а количественный аудит близких дубликатов приводится для фиксированных выборок. Обученная на 6400 серых срезах МРТ в соответствии со стратифицированным протоколом 70/15/15, предложенная модель CNN–BiLSTM–Attention достигает точности теста 95,94%, сбалансированной точности 96,08%, коэффициента Макдаффи (MCC) 0,9334, каппы Коэна 0,9325 и макроусредненного AUC по схеме «один против всех» (one-vs.-rest) на уровне срезов 0,9954 на отложенной тестовой выборке. Анализ по классам показывает высокую чувствительность и специфичность для трех лучше представленных стадий; крайне редкий класс «человек с умеренной деменцией» (девять тестовых изображений) демонстрирует благоприятную точечную оценку, но его размер слишком мал, чтобы делать вывод о надежном обнаружении на его основе. Карты внимания и наложения Grad-CAM локализуют доказательства, которые использует сеть, а анализ структуры ошибок показывает, что ни одна ошибка классификации не выходит за пределы двух стадий. Поскольку корпус не содержит идентификаторов пациентов, группировка по пациентам при разделении данных невозможна, и сообщаемые значения точности следует интерпретировать как верхнюю границу, достижимую при разделении на уровне срезов; это ограничение количественно оценивается явно и обосновывает внешнее валидационное исследование, outlined в рукописи. В целом, результаты подчеркивают методологическую ценность сочетания извлечения признаков сверточными сетями с двунаправленным последовательным моделированием и аддитивным вниманием в рамках протокола оценки, учитывающего утечку данных и дисбаланс классов, для многоэтапной стадирования БА.

Перевод выполнен: 31.10.2026 | ai4med.ru

Машинный перевод. Рекомендуем сверять с оригиналом при клиническом использовании.