

Гибридная модель глубокого обучения и морфометрии для автоматической количественной оценки интерстициального фиброза почки на цельных слайдах, окрашенных трихромом

Источник: Journal of Pathology Informatics

Дата публикации: 2024

Оригинал: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2153353926001070?dgcid=rss_sd_all

гистология

глубокое обучение

диагностика

медицинские изображения

нефрология

патология

Интерстициальный фиброз (ИФ) является наиболее сильным предиктором прогрессирования хронической болезни почек. Визуальная оценка ИФ по слайдам, окрашенным трихромом (ТРИ), характеризуется высокой межэкспертной вариабельностью и ограниченной воспроизводимостью.

Методы

Мы разработали и валидировали TRI_IF — алгоритм глубокого обучения, имитирующий рабочий процесс нефропатолога для количественной оценки ИФ по цифровым изображениям целых препаратов (ЦИП), окрашенным трихромом (ТРИ), без необходимости в ручных аннотациях. TRI_IF представляет собой гибридную модель, объединяющую глубокое обучение и морфометрический анализ. С помощью глубокого обучения TRI_IF предсказывает специфичный для изображения порог интенсивности синих и

красных пикселей для количественной оценки фиброза. Модель была обучена на ЦИП от 315 пациентов и соответствующих клинических данных из центров, участвующих в цифровом репозитории патологии NEPTUNE, охватывающих 14 лет (2009–2023). Средний (\pm стандартное отклонение) возраст на момент включения составил 32 (\pm 21) года, 44% участников были женского пола. Эталонные оценки ИФ были получены на основе консенсусных оценок, предоставленных экспертами-нефропатологами. Модель использовала архитектуру Xception для извлечения признаков и регрессор XGBoost для предсказания специфичных для изображения порогов для количественной оценки фиброза. Производительность модели оценивалась по сравнению с консенсусной оценкой ИФ, полученной патологом, с использованием метрик согласия и её способности предсказывать клинические исходы почечной недостаточности в терминальной стадии (ПНТС) или снижения рассчитанной скорости клубочковой фильтрации (РСКФ) на 40%.

Результаты

TRI_IF продемонстрировал сильное согласие с оценками ИФ, полученными патологом, как на уровне биопсийного ядра, так и на уровне пациента. Значения R2 для набора данных валидации составили 0,86 и увеличились до 0,93 на подмножестве валидационных ядер с хорошим качеством изображения, а средняя разница (предсказанная оценка ИФ — эталонная оценка ИФ) всегда была $<3\%$ (хотя и статистически значимой). Значения р теста Питмена были $>0,05$ во всех подмножествах. Аналогично, взвешенная каппа Когена между категориями Банффа по предсказанным TRI_IF и эталонным оценкам составила 0,86 в полном наборе данных валидации и 0,91 в подмножестве валидации с приемлемым качеством слайдов. Модель точно категоризировала пациентов по классам ИФ Банффа и предсказывала неблагоприятные клинические исходы: время до ПНТС или снижение РСКФ $\geq 40\%$. Эти ассоциации оставались устойчивыми в анализах чувствительности, ограниченных подмножествами валидации и слайдами высокого качества.

Заключение

TRI_IF обеспечивает точный, воспроизводимый и клинически значимый метод количественной оценки ИФ по ЦИП, окрашенным трихромом (ТРИ). Устраняя необходимость в ручных аннотациях и снижая межэкспертную вариабельность, этот подход предлагает масштабируемое решение как для клинических, так и для исследовательских приложений в нефропатологии.

Перевод выполнен: 21.03.2026 | ai4med.ru

Машинный перевод. Рекомендуем сверять с оригиналом при клиническом использовании.