

TIMEL: интеграция глубокого обучения и статистики выявляет пространственные стромальные и иммунные сигнатуры агрессивного рака толстой кишки

Источник: Journal of Pathology Informatics

Оригинал: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2153353926001318?dgcid=rss_sd_all

глубокое обучение

диагностика

онкология

прогностические биомаркеры

цифровая патология

- **TIMEL** объединяет искусственный интеллект и пространственную статистику для детального анализа микроокружения опухоли.
- Тридцать параметров **TIMEL** количественно оценивают пространственную гетерогенность в микроокружении опухоли.
- Иммунная кластеризация и опухолевая кластеризация коррелируют с исходами заболевания.
- Пространственная гладкость опухоли последовательно ассоциируется с метастазированием в лимфатические узлы.
- **TIMEL** предоставляет новые прогностические гистологические биомаркеры для персонализированного лечения.

Аннотация

Введение

Характеристика иммунного микроокружения опухоли (**TIME** — tumor immune microenvironment) имеет важное значение для понимания противоопухолевых ответов при раке толстой кишки. В данном исследовании представлен **TIME Landscaper (TIMEL)** — вычислительная платформа, использующая глубокое обучение для идентификации тканевых структур на микроскопическом уровне и обобщения их распределения на целых слайдах (**WSIs** — whole-slide images) с помощью статистических дескрипторов, отражающих внутриопухолевую гетерогенность, для поиска прогностических биомаркеров.

Методы

Для сегментации микроархитектурных опухолевых, стромальных и иммунных зон с использованием почти 50 000 мини-патчей оценивалась эффективность шести моделей классификации изображений на основе глубокого обучения (**Inception V3**, **DenseNet-121**, **ViT-base**, **UNI**, **Prov-GigaPath** и **Virchow**). Выбранная модель была применена к **WSIs** из когорты исследования (TCGA-COAD; $n = 411$) и валидации (Dartmouth; $n = 108$), сегментируя эти компоненты для картирования их пространственного распределения. На основе этих карт были рассчитаны 30 статистических дескрипторов, представляющих распространенность, вариативность, форму, пространственную гладкость и пространственную гетерогенность, в качестве признаков **TIMEL** на уровне слайда. Одномерный и многомерный регрессионный анализ позволил выявить биомаркеры, связанные с выживаемостью и метастазированием, соответственно, в когортах исследования и валидации.

Результаты

Модель **Virchow** превзошла другие модели в сегментации тканевых компартментов (AUC — area under the curve, площадь под кривой: 0,99, 0,98, 0,98 для опухолевого, стромального и иммунного компонентов). Вариативность стромы и иммунных клеток на уровне слайда коррелировала с показателями, оцененными патологоанатомами ($R = 0,47$ и $0,32$, оба $p < 0,001$). Пространственная иммунная кластеризация предсказывала худшую выживаемость (HR — hazard ratio, отношение рисков = 2,73; $p < 0,001$), тогда как опухолевая кластеризация была протективным фактором (HR = 0,23; $p =$

0,001). Пространственная гладкость опухоли была связана с метастазированием в лимфатические узлы (OR — odds ratio, отношение шансов = 1,65; $p = 0,02$).

Заключение

TIMEL объединяет глубокое обучение и статистику для фиксации гистологической гетерогенности внутри **TIME**, улучшая прогностическую оценку и поддерживая прецизионную онкологию на основе рутинной гистологии.

Перевод выполнен: 15.05.2026 | ai4med.ru

Машинный перевод. Рекомендуем сверять с оригиналом при клиническом использовании.