

ИИ с соблюдением протокола повышает точность дозирования такролимуса в лечении пациентов после трансплантации почки

Источник: Frontiers in AI — Medicine

Оригинал: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/frai.2026.1825365>

LLM

ИИ

клиническая поддержка принятия решений

нефрология

трансплантология

фармакология

Введение

Подбор дозировки **такролимуса** после трансплантации почки является сложным, высокоиндивидуализированным процессом, подверженным вариативности, что может влиять на исходы функционирования трансплантата. В то время как подходы на основе машинного обучения (ML) использовались преимущественно для прогнозирования концентрации такролимуса, большие языковые модели (LLM) могут обеспечить поддержку принятия клинических решений с соблюдением протокола, генерируя рекомендации по дозированию, соответствующие установленным клиническим рекомендациям.

Методы

Мы разработали **TacroDose AI** — LLM с ограничениями по протоколу на базе GPT-4, предназначенную для генерации рекомендаций по дозированию такролимуса в соответствии с институциональными руководствами. Используя 300 структурированных симулированных клинических сценариев, мы оценили соблюдение протокола, паттерны ошибок и воспроизводимость сгенерированных моделью рекомендаций по дозированию. После анализа

первоначальных результатов был внедрен уточненный промпт (**TacroAI 2.0**) для усиления ограничений протокола и структурированной проверки выходных данных, после чего эффективность была переоценена.

Результаты

TacroDose AI продемонстрировала соблюдение протокола на уровне 72,9%, при этом 27,1% составили отклонения от протокола, включая 13,9% критических ошибок (sentinel errors), имеющих потенциальную клиническую значимость. Уточнение промпта существенно улучшило показатели: **TacroAI 2.0** достигла 91,7% соблюдения протокола, снизила количество критических ошибок до 1,0% и повысила воспроизводимость с 77,3% до 86,7% (все $p < 0,01$). Несмотря на увеличение расхождений при округлении, они представляли собой незначительные числовые различия, не имеющие клинического значения. Улучшение показателей наблюдалось во всех сценариях: при субтерапевтической, терапевтической и супратерапевтической концентрации такролимуса.

Заключение

LLM с ограничениями по протоколу способны генерировать соответствующие рекомендациям по дозированию такролимуса с высоким уровнем соблюдения протокола и повышенной надежностью в симулированных клинических условиях. Эти результаты подчеркивают потенциальную основу для интеграции генеративного ИИ с клиническими протоколами на основе правил для обеспечения безопасного управления медикаментозной терапией. При дальнейшем подтверждении с использованием реальных данных такие системы могут быть интегрированы в электронные медицинские карты (EHR) для поддержки подконтрольного клиницистам протокольного дозирования иммуносупрессивных препаратов в трансплантологии.