

Оценка боли с нулевым выстрелом через мультимодальное синтетическое моделирование и инвариантное обучение доменов

Источник: Frontiers in AI — Medicine

Оригинал: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/frai.2026.1827727>

адаптация доменов

диффузионные модели

клинический ИИ

машинное обучение

мультимодальный ИИ

новорождённые

оценка боли

трансформеры

Введение

Оценка боли у некоммуникативных популяций — в частности, у новорождённых и пациентов с когнитивными нарушениями — остаётся критической клинической задачей, поскольку существующие автоматизированные методы требуют размеченных наборов данных о боли, которые одновременно этически проблематичны и scarce для уязвимых популяций.

Методы

Мы предлагаем фреймворк, обученный на нулевом количестве размеченных реальных примеров боли из целевой популяции, комбинируя синтетическую симуляцию боли с неконтролируемой адаптацией домена. Используя латентные диффузионные модели, мы генерируем 50 000 реалистичных сценариев боли, охватывающих мимические выражения, физиологические сигналы (вариабельность сердечного ритма и электродермальную активность) и временную динамику в различных демографических группах. Архитектура на основе трансформера интегрирует эти мультимодальные

сигналы, а трёхэтапная процедура выравнивания домена (контрастивное обучение, состязательная адаптация и регуляризация согласованности) преодолевает разрыв между синтетическими и реальными данными, используя только немаркированные реальные данные. Мы явно отличаем эту настройку неконтролируемой адаптации домена с синтетическим источником от классического zero-shot обучения (Раздел 2.4).

Результаты

Оценка на трёх бенчмарках показывает конкурентоспособную производительность: MAE (средняя абсолютная ошибка) 0,89 на наборе данных UNBC-McMaster (разрыв 31% по сравнению с контролируемыми методами), точность 78,3% на базе данных BioVid Heat Pain (разрыв 10,5%) и предварительная точечная оценка точности 81,5% для неонатальной оценки (на 12,7 процентных пункта выше клинического базового уровня на основе AU (единиц действия), с широкой неопределённостью из-за ограниченной когорты $N = 120$; проспективная валидация на большей когорте запланирована). Предложенный подход обеспечивает на 40,4% лучшую междаточечную генерализацию по сравнению с контролируемым трансферным обучением и показывает согласованную производительность across демографических групп (без значимых различий, $p > 0,05$; несколько сравнений подгрупп статистически недостаточно мощны). Новые анализы в этой ревизии включают квантификацию неопределённости методом Monte Carlo Dropout, оценку устойчивости при возмущениях сбора данных и оценку вычислительной сложности.

Обсуждение

Это исследование предоставляет предварительные доказательства того, что этически разработанный ИИ для оценки боли — обученный без эксплуатации уязвимых популяций — может достигать клинически полезной производительности, и предлагает методологический путь к этой цели, который требует подтверждения через проспективную, adequately powered клиническую валидацию.

Перевод выполнен: 07.08.2026 | ai4med.ru

Машинный перевод. Рекомендуем сверять с оригиналом при клиническом использовании.