

ИИ и стареющие клетки: как машинное обучение помогает распознать биологический возраст и повреждения на клеточном уровне

Дата публикации: 09.07.2025

Современные биотехнологии и искусственный интеллект объединились, чтобы предложить принципиально новый способ мониторинга старения и повреждения клеток. В центре этого подхода — высокоточная визуализация, машинное обучение и ядерная морфометрия, позволившие ученым отслеживать изменения в структуре клеточного ядра, связанные с возрастом, травмами или патологиями.

Группа исследователей из Медицинской школы Гроссмана при Нью-Йоркском университете представила инновационный инструмент, получивший название ядерный морфометрический конвейер (Nuclear Morphometric Pipeline, NMP). Эта методика опирается на анализ микроскопических изображений высокого разрешения и способна количественно описывать состояние клеточных ядер по множеству параметров, таких как форма, плотность, контур, размер и окраска.

Исследование началось с моделирования искусственного старения клеток: культуры подвергались воздействию химических веществ, имитирующих биологический стресс. Это позволило получить широкий спектр состояний — от нормального до сенесцентного, то есть клеток, полностью прекративших деление и потерявших регенеративную способность. Эти клетки обычно выделяют специфические молекулы, влияющие на соседние ткани и связанные с воспалением, фиброзом и многими возрастными заболеваниями, включая рак, остеоартрит и сердечно-сосудистые патологии.

С помощью методов ИИ исследователи установили, что стареющие клетки имеют характерные морфологические черты ядра: увеличение размеров, снижение плотности окраски, утрата округлой формы и формирование плотных фокусных структур. Эти признаки оказались достаточно универсальными и воспроизводимыми для разных типов клеток.

Для проверки достоверности результатов был проведен анализ клеток у мышей разных возрастов. Было показано, что оценки NMP снижаются по мере старения организма, отражая накопление сенесцентных клеток. Причем метод оказался чувствительным к клеткам разных линий — от мезенхимальных и мышечных стволовых клеток до иммунных и эндотелиальных. Например, у пожилых мышей с травмами мышцы доля стареющих стволовых клеток была

значительно выше, чем у молодых особей, а с течением времени их количество уменьшалось, отражая процесс заживления.

Также были получены убедительные данные, что с помощью NMP можно диагностировать остеоартрит, отслеживая накопление сенесцентных хондроцитов в хрящевой ткани. У пожилых особей с этим заболеванием таких клеток оказалось в 10 раз больше, чем у здоровых мышей.

Метод оказался особенно полезным благодаря своей универсальности. Он основан на простом окрашивании ядра и может быть применен к различным тканям и видам заболеваний. В отличие от сложных биомаркеров, NMP обеспечивает быструю и наглядную оценку биологического возраста клеток, что делает его пригодным для широкого клинического и научного использования.

В перспективе этот подход может применяться для ранней диагностики возрастных заболеваний, оценки эффективности сенолитических препаратов и даже в рамках персонализированной медицины — например, для прогноза восстановления тканей после травмы или хирургического вмешательства.

Авторы исследования подали патент на технологию NMP и планируют сделать её общедоступной для научного сообщества. Разработка может стать важным этапом в понимании процессов старения, формировании биологических часов и создании новых терапевтических стратегий. Будущие исследования будут направлены на интеграцию NMP с другими биомаркерами и его адаптацию к образцам человеческой ткани — как в норме, так и при патологиях.

Эта работа иллюстрирует потенциал ИИ в трансляционной медицине: анализ изображений позволяет не только понять фундаментальные биологические процессы, но и направить разработку новых препаратов, продлевающих здоровую жизнь.

Ссылка: «Ядерная морфометрия в сочетании с машинным обучением выявляет динамические состояния старения в течение возраста» [DOI: 10.1038/s41467-025-60975-z](https://doi.org/10.1038/s41467-025-60975-z).