

АННОТАЦИЯ

диссертации на соискание степени доктора философии (PhD)
по образовательной программе 8D06101 – Информационные системы (по
отраслям)

ТАНКИБАЕВА АКЕРКЕ КЫДЫРБЕКОВНА

ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ВЫДЕЛЕНИЯ АНАТОМИЧЕСКИХ СТРУКТУР НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ МАГНИТНО– РЕЗОНАНСНОЙ ТОМОГРАФИИ

Основная идея данного исследования: Диссертация посвящена разработке информационной технологии автоматизированного анализа МРТ-изображений коленного сустава для повышения точности диагностики повреждений менисков. Исследование направлено на создание интегрированной системы, объединяющей методы текстурной обработки и современные модели глубокого обучения (YOLOv8-x, RT-DETR), что позволяет надежно выделять анатомические структуры и автоматически распознавать разрывы менисков даже на малоконтрастных и сложных для интерпретации снимках.

В работе предложены и обоснованы:

1. Алгоритмический подход к текстурному анализу МРТ-снимков мениска, предусматривающий преобразование исходных изображений в информативное цифровое представление на основе межпиксельных характеристик. Такой подход позволяет повысить чувствительность выделения структур и обеспечить более объективную интерпретацию данных.

2. Единая схема первичной обработки МРТ-данных, сочетающая несколько методов фильтрации и улучшения качества изображения. На основе экспериментальных метрик доказано, что предложенная комбинация процедур обеспечивает оптимальный баланс между подавлением шумов и сохранением анатомических контуров.

3. Концептуальная архитектура интеллектуальной диагностической платформы, объединяющая классические методы анализа и современные нейросетевые модели для автоматического обнаружения повреждений менисков. Система обеспечивает интеграцию модулей обработки, анализа и визуализации данных, формируя законченную технологию компьютерной поддержки врача.

Разработанные методы прошли проверку на клиническом МРТ-датасете, включающем изображения, полученные на различном оборудовании и при разных протоколах сканирования. Экспериментальные исследования показали повышение точности выделения анатомических структур и улучшение достоверности распознавания разрывов менисков по сравнению с традиционными подходами. Интеграция предложенной текстурной диагностики с моделями глубокого обучения обеспечила устойчивость

алгоритмов к вариациям качества изображений и позволила существенно снизить количество ошибочных и ложноположительных заключений.

Ключевые слова: магнитно-резонансная томография (МРТ), разрыв мениска, текстурная диагностика, обнаружение объектов, глубокое обучение, обработка медицинских изображений, YOLOv8, RT-DETR, интеллектуальная диагностическая система.

Актуальность. В условиях активной цифровой трансформации Казахстана и внедрения технологий искусственного интеллекта особое значение приобретает развитие интеллектуальных систем медицинской диагностики. Заболевания опорно-двигательного аппарата, в частности повреждения менисков коленного сустава, составляют значительную долю клинических обращений и требуют высокой точности визуализации. Несмотря на то, что магнитно-резонансная томография является «золотым стандартом» диагностики, интерпретация МРТ-снимков остаётся субъективной и зависит от опыта врача.

В этой связи актуальной задачей является разработка автоматизированных методов анализа МРТ-изображений, обеспечивающих повышение специфичности и чувствительности выявления повреждений менисков. Интеллектуальные технологии, основанные на методах компьютерного зрения и глубокого обучения, позволяют сократить диагностические ошибки, уменьшить нагрузку на специалистов и повысить доступность качественной диагностики, особенно в регионах с дефицитом рентгенологов.

Таким образом, создание информационной технологии выделения анатомических структур на МРТ-изображениях имеет высокую научную и социальную значимость, поскольку способствует совершенствованию инструментов цифровой медицины и улучшению эффективности оказания медицинской помощи.

Диссертационное исследование выполнено в рамках грантового финансирования научных и (или) научно-технических проектов на 2024–2026 годы Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (ИРН проекта АР23486396 «Модели и методы распознавания анатомических структур на изображениях МРТ в задачах компьютерной диагностики»).

Объектом исследования является процесс распознавания разрывов менисков на МРТ изображениях коленного сустава

Предметом исследования являются модели, методы обработки и анализа МРТ изображений для распознавания и локализации повреждений мениска коленного сустава.

Целью исследования является разработка информационной технологии анализа МРТ изображений, обеспечивающей выделение анатомических структур и повышение достоверности диагностики патологий на примере патологий коленного сустава.

Задачи исследования:

1. Провести анализ и систематизацию существующих подходов и методов, применяемых для автоматизации выделения и анализа анатомических структур на магнитно–резонансных изображениях.

2. Сформировать собственный датасет клинических МРТ–изображений коленного сустава, обеспечивающий репрезентативность данных для обучения и тестирования моделей.

3. Разработать метод информационно–текстурной диагностики повреждений менисков коленного сустава, основанный на анализе межпиксельных приращений яркости и плотности тканей.

4. Разработать методику предварительной обработки МРТ–изображений, включающую этапы фильтрации, улучшения контрастности и усиления резкости, с целью повышения качества данных для нейросетевого анализа.

5. Провести экспериментальные исследования, включающие обучение и тестирование моделей YOLOv8x и RT–DETR, а также выполнить сравнительный анализ их производительности и эффективности при решении задачи автоматического обнаружения разрывов менисков коленного сустава.

6. Спроектировать архитектуру интеллектуальной системы диагностики повреждений менисков коленного сустава, интегрирующую модули предварительной обработки, анализа и визуализации данных.

Основные методы исследования: методы обработки и анализа изображений, распознавания образов и моделей глубокого обучения.

Научные положения, выносимые на защиту:

– метод текстурной диагностики повреждений мениска коленного сустава, основанный на информационно–текстурной трансформации изображений, предполагающей переход от визуально–аналогового представления МРТ–срезов к их формализованной цифровой интерпретации;

– комбинированный метод предварительной обработки МРТ–изображений, включающий сравнительный анализ нескольких фильтрационных подходов и выбор оптимальной методики на основе объективных метрик качества визуализации;

– архитектура интеллектуальной системы диагностики разрывов мениска коленного сустава, интегрирующая модуль текстурной диагностики и модуль детекции патологии на основе моделей глубокого обучения.

Научная новизна работы заключается в том, что впервые предлагается подход на основе архитектуры YOLOv8–x для автоматического распознавания разрывов мениска на МРТ изображениях коленного сустава, включающий собственный датасет и комбинированный метод предварительной обработки МРТ изображений.

Публикации. Всего по теме диссертации опубликовано **11** работ, из них: **3** в изданиях, рекомендуемых Комитетом по контролю в сфере науки и высшего образования МНВО РК входящий в список 2; **2** в международном рецензируемом научном журнале, имеющем импакт-фактор по данным JCR и (или) индексируемом в базе данных Web of Science Core Collection или показатель процентиль по CiteScore не менее 25-ти в базе данных Scopus, **5** в

трудах международных конференций, 1 в других научных изданиях и 1 свидетельство о государственной регистрации прав на объект авторского права.

Вклад в подготовку каждой публикации состоял в анализе данных открытых литературных источников по теме исследования, в разработке и апробации моделей, в получении и описании экспериментальных результатов, в подготовке и обсуждении выводов, а также в представлении и обсуждении научных результатов на семинарах и конференциях.

Основные результаты диссертационной работы доложены и обсуждены на 5-ти международных конференциях:

1) XI Международная научно-техническая конференция студентов, магистрантов и молодых ученых «Творчество молодых инновационному развитию Казахстана», 10-15 апреля 2025, г. Усть-Каменогорск, Казахстан;

2) XIX Международная Азиатская школа-семинар «Проблемы оптимизации сложных систем, 14-22 августа 2023, г. Новосибирск, Россия;

3) Международная конференция «Computational and Information Technologies in Science, Engineering and Education (CITech-2023)», 2 октября 2023 г., г.Усть-Каменогорск, Казахстан;

4) Международная конференция «Наука, образование и практики реализации ВИМ и ГИС технологий», 20-21 июня 2023, г.Усть-Каменогорск, Казахстан;

5) IX Международная научно-техническая конференция студентов, магистрантов и молодых ученых «Творчество молодых инновационному развитию Казахстана», посвященной 65-летию университета, 3-14 апреля 2023 г. Усть-Каменогорск, Казахстан.

Основные научные результаты, доказанные в диссертации, а также в статьях по теме исследования, включают:

1. Метод текстурной диагностики повреждений мениска, основанный на информационно-текстурной трансформации МРТ-изображений. Впервые предложен формализованный подход, позволяющий перейти от визуально-аналогового представления МРТ-срезов к их цифровой интерпретации на основе межпиксельных приращений яркости и структурных характеристик тканей, что обеспечивает повышение чувствительности выделения анатомических границ.

2. Комбинированный метод предварительной обработки МРТ-изображений, включающий сравнительный анализ нескольких фильтрационных подходов и выбор оптимальной методики улучшения контрастности и подавления шума. Доказано, что предложенная комбинация методов обеспечивает более высокое качество визуализации мягкотканых структур по сравнению с традиционными решениями.

3. Применение современных моделей глубокого обучения (YOLOv8-x, RT-DETR) для автоматического обнаружения разрывов менисков на МРТ-снимках. Выполнены экспериментальные исследования, подтверждающие повышение точности, устойчивости и скорости детекции по сравнению с классическими методами распознавания.

4. Архитектура интеллектуальной системы диагностики повреждений менисков, интегрирующая модуль текстурной диагностики и модуль детекции патологий на основе нейросетевых моделей. Разработана программная структура, обеспечивающая автоматизированную интерпретацию МРТ-изображений, хранение данных и взаимодействие с пользователем.

Диссертация имеет практическое значение: результаты диссертации внедрены в виде программного обеспечения магнитно-резонансной томографии патологий коленного сустава в ННЦТО им. Академика Батпенова Н.Д., отделение артроскопии и спортивной травмы, г. Астана, ноябрь 2025 г.

Для внедрения в практику предлагается: свидетельство о внесении сведений в государственный реестр прав на объекты, охраняемые авторским правом № 61988 от 090.09.2025. Вид объекта: программа для ЭВМ. Название объекта: «Программное обеспечение магнитно-резонансной томографии патологий коленного сустава». Автор: Танкибаева А.К.

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из введения, 4-х разделов, выводов, заключения, списка использованных источников из 144 наименований, диссертация изложена на 122 страницах компьютерного текста, включает 56 рисунков, 10 таблиц и 3 приложения.