

СТАНДАРТИЗАЦИЯ ДАННЫХ МЕДИЦИНСКОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ЛУЧЕВОЙ ДИАГНОСТИКЕ АСЕПТИЧЕСКОГО НЕКРОЗА ГОЛОВКИ БЕДРЕННОЙ КОСТИ

Быковский Э. А., Богданович И. П., Быковская С. В.

Гродненский государственный медицинский университет

Актуальность. Асептический некроз головки бедренной кости (АНГБК) – тяжёлое дегенеративное заболевание, часто развивающееся у лиц трудоспособного возраста, приводящее к значительному ухудшению качества жизни и инвалидизации. АНГБК – одна из актуальных проблем современной травматологии и ортопедии. В странах Европы, США ежегодно выявляется от 5000 до 20 000 новых случаев заболевания. Социальная значимость данной проблемы обусловлена длительной нетрудоспособностью молодых пациентов с НГБК при отсутствии эффективного лечения, нарушением их социальной адаптации, снижением качества жизни и инвалидизацией. Единственным методом лечения в таких ситуациях остается ТЭТС, число которых при остеонекрозе составляет до 14,8% вмешательств. Несмотря на наличие высокоточных методов диагностики (МРТ, КТ), в реальной практике рентгенография остаётся первым этапом визуализации. Однако её чувствительность в выявлении ранних стадий (ARCO I-II) остаётся низкой – не превышает 30-40 % [1].

ИИ-технологии на базе сверточных нейронных сетей (CNN) уже показали свою эффективность в анализе медицинских изображений. Их внедрение в рутинную ортопедическую практику открывает возможности создания централизованных решений, которые помогут врачу принять решение о необходимости более дорогих методов обследования, таких как МРТ, только в действительно обоснованных случаях [2].

Несмотря на то, что результаты проведенных исследований показали эффективность использования CNN в анализе медицинских изображений, однако критической остается проблема неоднородности медицинского оборудования, используемого в различных лечебных учреждениях, особенно в условиях ограниченных ресурсов.

Цель – разработать и формализовать полный алгоритм оцифровки и стандартизации рентгенограмм тазобедренного сустава, предназначенный для формирования базы изображений, пригодной для последующей аннотации и применения в нейросетевых диагностических системах. Сформировать базу изображений.

Методы исследования. Выполнить отбор рентгенограмм пациентов с верифицированным по данным МРТ диагнозом АНГБК (классификация ARCO); разработку и изготовление устройства для оцифровки плёночных рентгенограмм; оцифровку 142 изображений; создание алгоритма стандартизации рентгенограмм; приведение изображений к единому стандартизированному формату.

Результаты и их обсуждение. Создан формализованный алгоритм стандартизации изображений, включающего этапы предварительной обработки, нормализации яркости, выделения плёночной области, локализации анатомически значимых структур, геометрического выравнивания и контроля качества. Алгоритм обеспечивает приведение разнородных изображений к единому формату, что является критически важным для формирования обучающих выборок, устойчивых к вариативности источников данных. Всего в исследование включено 142 рентгенограммы.

1.2 Разработка устройства для оцифровки рентгенограмм

Разработан и изготовлен специализированный оцифровочный модуль, включающий: равномерный светодиодный рассеянный источник света; матовую поверхность для устранения бликов и паразитных засветок; фиксированное расстояние и угол между плёнкой и камерой; систему крепления, обеспечивающую стабильность положения и отсутствие деформации плёнки; стандартизированный режим съёмки (ISO, выдержка, баланс белого), исключая вариативность между кадрами.

Получены однородные по плотности, цветовой температуре и геометрии цифровые изображения, что стало базой для последующей автоматической стандартизации.

1.3 Оцифровка исходного материала

Оцифрованы 142 плёночных рентгенограммы.

Устранены основные технические артефакты: отражения внешнего освещения; блики и пересветы; падение резкости по краям; перспективные искажения; разная ориентация изображений.

Файлам присвоены уникальные деперсонализированные идентификаторы.

1.4 Алгоритм стандартизации изображений – Этап ввода и предварительной обработки изображения: Загрузка изображения в исходном разрешении без изменения размеров. Конвертация в оттенки серого (битность 8-bit). Удаление чёрных полей по порогу интенсивности <5%. Применение гауссова фильтра: $\sigma=1,2$; размер ядра 5×5 пикселей. – Нормализация яркости и контраста: Перцентильная обрезка: нижний перцентиль 1%, верхний перцентиль 99%. Масштабирование диапазона интенсивности в 0–255. Применение CLANE: размер окна 8×8 ; clip-limit = 2.5. – Выделение границ плёнки и удаление внешнего фона: Пороговая бинаризация по методу Оцу. Морфологическое открытие: структура: эллипс, радиус 9 px. Заполнение внутренних областей – выделение маски плёнки. Обрезка изображения по маске. – Локализация анатомических структур и выделение ROI Детекция границ оператором Кенни: нижний порог 30; верхний порог 90. Поиск окружностей методом Хафа:

минимальный радиус: 80 px; максимальный радиус: 160 px; порог активации: 0.65. Определение центра головки бедренной кости. ROI формируется как квадрат со стороной $2.2 \times$ радиус головки. Геометрическая нормализация Автоматическое выравнивание по оси шейки бедренной кости. Угол коррекции вычисляется по линии центр головки – центр метафиза. Поворот изображения на $-\theta$. Масштабирование до стандарта 512×640 пикс. Padding – симметричный, интенсивность 0. – Проверка качества стандартизации Контраст – среднее значение интенсивности в ROI должно быть 70–180. Резкость – минимум 45 по шкале Laplacian variance. Обязательное присутствие головки, шейки и вертлужной впадины.

В результате выполнения работы оцифровано и стандартизировано 142 рентгенограммы, сформирован единый pre-dataset, готовый к последующей аннотации. Стандартизированный набор изображений станет основой для обучения диагностической CNN для раннего выявления АНГБК, устойчивой к различиям в оборудовании, протоколах исследования и качественных характеристиках изображений.

Выводы. ИИ-скрининг по рентгенограммам способен трансформировать первичную диагностику АНГБК, обеспечив раннее выявление заболевания в условиях ограниченного доступа к высокотехнологичным методам визуализации.

Результаты данной работы закладывают основу для обучения CNN адаптированной под условия работы с переменными данными, пригодной для внедрения в учреждения здравоохранения различного уровня оснащённости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мурзич, А. Э. Обоснование комплексной классификации некроза головки бедренной кости у взрослых / А. Э. Мурзич, О. А. Соколовский, Н. Н. Полещук // Здравоохранение. – 2020. – № 3. – С. 51-59.
2. Deep learning-based diagnosis of avascular necrosis of the femoral head on anteroposterior hip radiographs / A. Eroğlu, H. M. Bayram, M. T. Çiçek, S. Dedeoğlu // Journal of Orthopaedic Surgery and Research. – 2023. – Vol. 18, № 1. – P. 287.