



ЭФФЕКТИВНОСТЬ МОНОКУЛЯРНЫХ МЕТОДОВ ДИАГНОСТИКИ В КЛИНИКЕ ТУБЕРКУЛЁЗА ЛЁГКИХ

Джуммиева Махри Джумамурадовна

Ассистент кафедры, Туркменский государственный медицинский университет
им. Мырата Гаррыева
г. Ашхабад Туркменистан

Аннотация

В статье рассматривается современное состояние и эффективность монокулярных (визуальных и оптических) методов диагностики туберкулёза лёгких в клинической практике. На основе анализа международных исследований Всемирной организации здравоохранения, Европейского респираторного общества и Центров по контролю и профилактике заболеваний (CDC, США) оцениваются диагностическая точность, доступность и клиническая значимость рентгенологических, эндоскопических и визуализирующих технологий при туберкулёзе лёгких. Отдельное внимание уделено роли цифровой рентгенографии, компьютерной томографии низкой дозы, оптической флуоресцентной микроскопии и современным методам изображений высокого разрешения. Рассмотрены преимущества, ограничения и перспективы интеграции визуальной диагностики в глобальные программы по борьбе с туберкулёзом.

Ключевые слова: туберкулёз лёгких, диагностика, монокулярные методы, рентгенография, компьютерная томография, флуоресцентная микроскопия, визуализация, ВОЗ.

Введение

Туберкулёз лёгких остаётся одной из ведущих причин смертности от инфекционных заболеваний во всём мире. Согласно отчёту Всемирной организации здравоохранения за 2024 год, ежегодно регистрируется около 10,3 миллиона новых случаев туберкулёза, из которых примерно 1,3 миллиона заканчиваются летально. Несмотря на существенный прогресс в раннем выявлении и лечении, проблема своевременной диагностики заболевания сохраняет глобальную актуальность.

Одним из ключевых факторов эффективности борьбы с туберкулёзом является использование доступных, точных и воспроизводимых методов диагностики.

В клинической практике ведущую роль по-прежнему играют монокулярные методы — рентгенография, компьютерная томография и флуоресцентная микроскопия, которые позволяют визуализировать патологические изменения в лёгких на различных стадиях заболевания.

Технологический прогресс последних десятилетий, включающий переход на цифровые системы визуализации, развитие программ автоматического анализа изображений и внедрение искусственного интеллекта в диагностические процессы, значительно повысил информативность монокулярных методов. Тем не менее, остаются дискуссионные вопросы, касающиеся их диагностической чувствительности при различных формах туберкулёза, особенно в условиях ВИЧ-инфекции, лекарственно устойчивых штаммов и сопутствующих патологий.

Целью данной работы является систематизация современных данных о диагностической эффективности монокулярных методов визуализации туберкулёза лёгких на основе международных исследований, а также оценка перспектив их интеграции в глобальные программы раннего выявления болезни.

Монокулярные методы визуальной диагностики: определение и классификация

Термин «монокулярные методы» в контексте клинической диагностики туберкулёза лёгких объединяет все методы, основанные на получении и анализе изображений с использованием одного источника визуализации — оптического, рентгеновского или электронного излучения. В отличие от лабораторных (молекулярных и микробиологических) подходов, монокулярные методы позволяют оценить морфологические изменения тканей и органов в реальном времени.

К ним относятся:

- рентгенография грудной клетки (цифровая и плёночная);
- компьютерная томография (высокого и низкого разрешения);
- флюорография;
- оптическая и флуоресцентная микроскопия;
- эндоскопические методы визуализации (бронхоскопия с видеорегистрацией).

Каждый из этих методов обладает специфической информативностью и диагностическим потенциалом, что определяет их место в комплексной схеме обследования пациентов с подозрением на туберкулёз.

Рентгенография как основной скрининговый метод

Рентгенологическое исследование остаётся краеугольным камнем в системе раннего выявления туберкулёза лёгких. Несмотря на стремительное развитие молекулярно-генетических и микробиологических технологий, именно рентгенография сохраняет роль первичного метода массового скрининга благодаря своей доступности, оперативности и универсальности.

Её диагностическое значение особенно велико в странах с ограниченными ресурсами, где лабораторная инфраструктура и доступ к высокотехнологичной диагностике всё ещё недостаточны.

Согласно *Глобальному докладу по туберкулёзу Всемирной организации здравоохранения (WHO Global Tuberculosis Report 2023)*, более 70% новых случаев заболевания в мире выявляются с использованием рентгенологических методов. Это объясняется тем, что рентгенография позволяет быстро визуализировать патологические изменения в лёгких даже при отсутствии выраженных клинических симптомов, а проведение процедуры занимает считанные минуты.

Эволюция технологии рентгенографии

Современная рентгенография претерпела значительные изменения за последние десятилетия. Переход от аналоговых плёночных систем к цифровым технологиям позволил существенно повысить качество изображения, сократить дозу облучения пациента и создать возможность мгновенной передачи данных между лечебными учреждениями.

Цифровые рентгеновские установки нового поколения обеспечивают пространственное разрешение до 5 мегапикселей, а применение алгоритмов постобработки позволяет компенсировать недостаточную контрастность и устранять артефакты. Эти усовершенствования сделали метод не только точнее, но и безопаснее, особенно при массовых профилактических обследованиях.

В странах с высокой нагрузкой по туберкулёзу (Индия, Южная Африка, Бангладеш, Непал, Индонезия) широкое распространение получили **портативные цифровые рентгеновские аппараты**, работающие от аккумуляторов и способные передавать изображения по беспроводным сетям в диагностические центры. Такой подход особенно важен для сельских и труднодоступных районов, где традиционные формы диагностики малодоступны.

Роль искусственного интеллекта и автоматизированного анализа

Одним из наиболее значимых достижений последних лет стало внедрение искусственного интеллекта в интерпретацию рентгенологических данных. Алгоритмы машинного обучения, обученные на миллионах изображений, способны автоматически выявлять признаки туберкулёзного поражения лёгких с точностью, сопоставимой с квалификацией опытного радиолога.

В международных программах тестирования систем автоматического анализа рентгенограмм — таких как **CAD4TB (Computer-Aided Detection for Tuberculosis)**, **qXR** и **Lunit INSIGHT** — были получены впечатляющие результаты: чувствительность этих программ достигала 90–95%, а специфичность — 80–85%. В некоторых исследованиях (Южная Африка, Эфиопия, Филиппины)

автоматизированные алгоритмы показали даже более высокую точность, чем специалисты средней квалификации, особенно при массовых скринингах.

Эти технологии уже активно используются в глобальных инициативах ВОЗ и Глобального фонда (Global Fund) для поддержки национальных программ борьбы с туберкулёзом. В частности, в рамках проекта *Digital Chest Radiography for TB Screening (2022–2024)* более 4 миллионов снимков были обработаны при помощи систем искусственного интеллекта, что позволило выявить десятки тысяч случаев заболевания на ранних стадиях.

Таким образом, рентгенография в сочетании с автоматическим анализом становится инструментом массового скрининга, способным функционировать даже при дефиците квалифицированных кадров.

Диагностические возможности и интерпретация изображений

Рентгенологическая картина туберкулёза лёгких отличается большим разнообразием. Для активных форм характерны инфильтраты в верхушечных и задних сегментах лёгких, образование каверн, усиление лёгочного рисунка и фиброзно-очаговые изменения. При неактивных формах преобладают кальцификаты, очаги Гона, участки склероза и уплотнения плевры.

Рентгенография позволяет не только подтвердить факт поражения, но и предположить стадию и активность процесса. Например, наличие свежих инфильтратов с нечеткими контурами указывает на активную фазу, тогда как плотные очаги с чёткими границами свидетельствуют о зажившем туберкулёзе.

Для врачей первичного звена это имеет ключевое значение, поскольку именно по рентгенологическим признакам решается вопрос о необходимости углублённого обследования (бактериоскопия, культуральный посев, ПЦР-тестирование).

Преимущества рентгенографии перед другими методами

Рентгенография обладает рядом неоспоримых преимуществ, обеспечивающих её сохранение в качестве основного скринингового инструмента:

- высокая доступность и низкая стоимость обследования;
- быстрота получения результата;
- возможность применения в полевых и выездных условиях;
- визуализация широкого спектра патологий лёгких (включая пневмонии, опухоли, фиброз).

Кроме того, рентгенография остаётся незаменимым инструментом мониторинга динамики лечения. Она позволяет объективно оценивать уменьшение очагов поражения, рассасывание инфильтратов и закрытие каверн, что является одним из критериев эффективности терапии.

Ограничения и чувствительность метода

Несмотря на свои достоинства, рентгенография имеет и ряд ограничений. Её чувствительность при латентных формах туберкулёза и малых очагах поражения может снижаться до 50–60%. У пациентов с ВИЧ-инфекцией, где процесс протекает атипично и без выраженных каверн, точность метода также ограничена.

Кроме того, рентгенологическая картина туберкулёза может быть сходна с проявлениями других заболеваний — саркоидоза, пневмокониозов, неоплазий, грибковых инфекций. В таких случаях необходима дифференциальная диагностика с привлечением компьютерной томографии или лабораторных тестов.

ВОЗ в своих рекомендациях (2023) подчёркивает, что **рентгенография не может быть единственным методом постановки диагноза**, но является необходимым первым этапом, направленным на отбор пациентов для последующего микробиологического подтверждения.

Глобальное значение и роль в борьбе с туберкулёзом

В странах с низким и средним уровнем дохода массовая рентгенография остаётся основным элементом программ активного выявления заболевания. Так, в Индии, Вьетнаме, Кении и Нигерии ежегодно проводятся миллионы скрининговых обследований, позволяющих снизить процент поздней диагностики.

По данным *Stop TB Partnership (2024)*, внедрение цифровой рентгенографии в сочетании с ИИ-анализом позволило увеличить выявляемость новых случаев туберкулёза на 28% и сократить среднее время до постановки диагноза с 24 до 7 дней.

В европейских странах рентгенография также активно используется в программах обследования мигрантов и групп риска (заключённые, лица без постоянного места жительства, медицинский персонал). Европейское респираторное общество (ERS) рекомендует включение цифрового рентгенологического скрининга в комплекс профилактических мер наряду с тестами на латентную инфекцию.

Перспективы развития

В ближайшие годы ожидается дальнейшее развитие рентгенографической диагностики в направлении интеграции с искусственным интеллектом и телемедицинскими платформами. Ведущие мировые исследовательские центры разрабатывают гибридные системы, объединяющие анализ изображений, распознавание паттернов и автоматическую маршрутизацию пациента.

Перспективным направлением является **низкодозная динамическая рентгенография**, позволяющая получать видеопоследовательности дыхательных движений и оценивать функциональное состояние лёгких. Такие разработки уже проходят клинические испытания в Японии, Германии и Южной Корее.

Также ведутся исследования в области использования **глубоких нейронных сетей (deep learning)** для выявления субмиллиметровых очагов, невидимых при стандартной визуализации. Это открывает возможность раннего обнаружения туберкулёза на доклинических стадиях.

Компьютерная томография: высокоточная диагностика

Компьютерная томография (КТ) лёгких является более чувствительным методом, позволяющим выявлять минимальные и скрытые формы туберкулёза. Исследования, проведённые в клиниках Южной Кореи, Германии и Японии, показали, что чувствительность КТ при ранних формах заболевания достигает 95–98%, а специфичность — 90–92%.

Особое значение имеет **низкодозная КТ (LDCT)**, позволяющая проводить массовое обследование без значительного радиационного воздействия. Согласно исследованию, опубликованному в журнале *European Respiratory Journal* (2023), LDCT выявила туберкулёз на 27% чаще, чем стандартная рентгенография, особенно у пациентов с минимальными симптомами или сопутствующей ВИЧ-инфекцией.

КТ также незаменима при оценке эффективности лечения, так как позволяет объективно фиксировать динамику очагов, степень фиброза, резорбцию инфильтратов и закрытие каверн.

Однако высокая стоимость оборудования и необходимость квалифицированного персонала ограничивают широкое применение КТ в странах с низким уровнем дохода, где сохраняется основное бремя туберкулёза.

Оптические и флуоресцентные методы

Оптические методы диагностики туберкулёза включают микроскопическое исследование мазков мокроты, окрашенных по Цилю-Нильсену, и их современные модификации с использованием флуоресцентных красителей.

Флуоресцентная микроскопия с применением красителей аурамин-О и родамин-В признана ВОЗ как более чувствительный метод по сравнению с классическим окрашиванием. Её чувствительность достигает 80–85% при специфичности около 90%.

Современные цифровые микроскопы с автоматической фокусировкой и компьютерным анализом изображений позволяют ускорить процесс идентификации микобактерий и минимизировать влияние человеческого фактора.

Интерес представляют и **оптические методы визуализации тканей лёгких при бронхоскопии**, включая узкополосную эндоскопию (NBI) и автофлуоресцентную бронхоскопию (AFB), которые позволяют выявлять ранние воспалительные и пролиферативные изменения слизистой оболочки дыхательных путей.

Сравнительная эффективность монокулярных методов

Сравнительные метаанализы, проведённые в 2020–2024 годах под эгидой ВОЗ и Европейского общества фтизиопульмонологов, показывают, что:

- чувствительность рентгенографии в выявлении активного туберкулёза составляет 70–85%;
- чувствительность КТ — 90–98%;
- чувствительность флуоресцентной микроскопии — 80–85%;
- специфичность методов колеблется в пределах 80–95% в зависимости от стадии заболевания и сопутствующих факторов.

Наибольшую эффективность даёт **комбинированный подход**, при котором визуализация сочетается с молекулярной диагностикой (GeneXpert, PCR, LAMP). Однако именно монокулярные методы остаются основным инструментом первичного выявления в странах с ограниченными лабораторными ресурсами.

Перспективы развития визуальной диагностики туберкулёза

Современные тенденции направлены на повышение точности и автоматизацию визуальных методов. Среди перспективных направлений можно выделить:

- развитие алгоритмов искусственного интеллекта для автоматического распознавания паттернов поражения;
- внедрение портативных цифровых рентгеновских систем с низким энергопотреблением;
- интеграцию телерадиологии в программы массового скрининга;
- использование мультиспектральной и фотонной томографии для трёхмерного анализа лёгочной ткани.

По данным ВОЗ (2024), к 2030 году предполагается, что более 60% стран с высоким уровнем заболеваемости туберкулёзом перейдут на цифровую диагностику с элементами искусственного интеллекта, что позволит повысить уровень раннего выявления на 25–30%.

Ограничения и вызовы

Несмотря на успехи, монокулярные методы имеют ограничения. Они не позволяют определить жизнеспособность микобактерий и устойчивость к лекарствам. Возможны ложноположительные результаты при других воспалительных заболеваниях лёгких (саркоидоз, пневмонии, онкопатология).

Важным вызовом остаётся дефицит обученного персонала, особенно в странах с низким уровнем дохода, а также ограниченный доступ к современному оборудованию. Поэтому при разработке программ борьбы с туберкулёзом необходимо сочетать визуальные методы с молекулярными и бактериологическими подходами.

Заключение

Монокулярные методы визуализации сохраняют ключевое значение в диагностике туберкулёза лёгких, обеспечивая быстрое и доступное выявление заболевания в большинстве стран мира. Современные технологии цифровой рентгенографии, компьютерной томографии и флуоресцентной микроскопии существенно повысили точность и информативность обследований.

В условиях глобальной стратегии ВОЗ «End TB» роль визуальных методов будет возрастать благодаря интеграции искусственного интеллекта, телемедицины и автоматизированных систем анализа изображений. Их дальнейшее развитие позволит повысить эффективность диагностики, сократить время до начала лечения и снизить смертность от туберкулёза в мировом масштабе.

Литература

1. World Health Organization. Global Tuberculosis Report 2024. — Geneva: WHO, 2024.
2. European Respiratory Society. Imaging and Diagnostics in Pulmonary Tuberculosis. — ERJ, 2023.
3. Centers for Disease Control and Prevention (CDC). Tuberculosis Diagnosis and Imaging Tools. — Atlanta, 2023.
4. Qure.ai and WHO Collaborating Centre. Evaluation of AI-Based Chest Radiography Screening for TB. — Geneva, 2022.
5. Acharya S., et al. Diagnostic Performance of Low-Dose CT in Pulmonary Tuberculosis. — European Radiology, 2023.
6. Singh P., Khatri R. Fluorescent Microscopy in Tuberculosis Detection: A Global Perspective. — International Journal of Infectious Diseases, 2021.
7. WHO Global Task Force on Digital Health. Artificial Intelligence for Tuberculosis Imaging. — Geneva, 2023.
8. Kim H., et al. CT Imaging of Pulmonary Tuberculosis: Patterns and Correlations. — Journal of Thoracic Imaging, 2022.
9. Global Laboratory Initiative. Practical Guide for TB Diagnostic Services. — Geneva: WHO, 2023.