

Роботизированные решения в лабораторной службе

Последовательное внедрение цифровых технологий и автоматизации выводит московскую лабораторную службу на лидирующие позиции в мире.



Андрей Комаров, главный внештатный специалист по клинической лабораторной диагностике Департамента здравоохранения города Москвы, директор Московского научно-практического центра лабораторных исследований Департамента здравоохранения г. Москвы.



Фото: НИИОЗММ

Одна из лабораторий Московского научно-практического центра лабораторных исследований

— Какое высокотехнологичное оборудование применяется сейчас в лабораторной службе Москвы?

— Лабораторная служба Москвы — одна из самых передовых в стране и мире по уровню оснащённости. У нас очень высокий уровень цифровизации и автоматизации лабораторных исследований, применяются самые современные технологии.

Городская система лабораторной диагностики делится на два больших блока. Первый — это централизованная лаборатория, обслуживающая все поликлиники города. Второй — лаборатории при стационарах, обеспечивающие круглосуточную работу больниц. Есть также специализированные лаборатории, выполняющие функции референс-центров, например, в Московском городском центре профилактики и борьбы со СПИДом, Московском городском научно-практическом центре борьбы с туберкулезом, Центре крови им. О. К. Гаврилова и других, где проводятся узкоспециализированные исследования. В шести онкологических стационарах работает собственная патоморфологическая служба для молекулярно-генетических и иммуногистохимических исследований.

Более 80% всех исследований выполняется с помощью высокопроизводительных автоматизированных анализаторов, включая отечественные. При такой нагрузке без автоматизации не обойтись.

— О каких средствах автоматизации идет речь?

— В первую очередь, это сортеры — устройства для сортировки проб, трековые линии, а также коллаборативные роботы. Их преимущества: низкая стоимость одной операции, универсальность, возможность перенастройки, компактность и способность работать рядом с человеком (отсюда и название – коллаборативные). Например, робот может сортировать пробы, а при необходимости — открывать крышки или выполнять другие задачи. За счет сменных захватов и программного обеспечения он адаптируется под разные функции. >>>

На базе Московского научно-практического центра лабораторных исследований мы создаем собственные роботизированные решения.

— **Расскажите, пожалуйста, подробнее.**

— В специализированном подразделении центра работают инженеры, робототехники, конструкторы, программисты. Мы приобретаем комплектующие и создаем собственные роботизированные ячейки. Множество таких решений уже внедрено.

Сейчас мы работаем над интеграцией коллаборативных роботов с транспортными тележками для внутренней логистики. В ближайшие месяцы ожидаем появления экспериментального андроидного робота-ассистента для сотрудников лаборатории. Ведутся работы по применению компьютерного зрения

и объединению роботов в кластеры. В течение нескольких лет планируется объединить все оборудование лаборатории в единую сеть с общим управлением, единым «мозгом».

Такая система позволит отслеживать перемещение всех объектов и людей в лаборатории, оценивать эффективность работы, фиксировать инциденты и оперативно на них реагировать. В условиях лаборатории качество — это синоним соответствия: если работа выполнена в точности по технологии, значит, она выполнена качественно.

— **Как обеспечивается это соответствие и качество?**

— Через унификацию процессов, стандартизацию, обучение персонала и максимальную автоматизацию. На простых рутинных функциях автоматизированные решения допускают

Современная лаборатория напоминает биотехнологическое производство



Фото: НИИОЗММ

В УСЛОВИЯХ ЛАБОРАТОРИИ КАЧЕСТВО — ЭТО СИНОНИМ СООТВЕТСТВИЯ: ЕСЛИ РАБОТА ВЫПОЛНЕНА В ТОЧНОСТИ ПО ТЕХНОЛОГИИ, ЗНАЧИТ, ОНА ВЫПОЛНЕНА КАЧЕСТВЕННО



КРУПНЫЕ ЦЕНТРАЛИЗОВАННЫЕ ЛАБОРАТОРИИ ТРЕТЬЕГО УРОВНЯ ПОЛНОСТЬЮ АВТОМАТИЗИРОВАНЫ, НАЧИНАЯ ОТ РОБОТИЗИРОВАННЫХ ТЕЛЕЖЕК ДЛЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ПРОБ И ЗАКАНЧИВАЯ САМЫМ ЧУВСТВИТЕЛЬНЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ, ОБЪЕДИНЕННЫМ В ОБЩУЮ СЕТЬ



Фото: НИИОЗММ

меньше ошибок и работают существенно быстрее человека.

— Как организована сегодня работа лабораторной службы?

— Существует три уровня лабораторий. Лаборатории первого уровня (как правило, поликлинические) — это небольшие помещения (40–100 м²) с ограниченным набором оборудования и ручными методами. Автоматизация там нерациональна из-за малого объема проб. В Москве эти лаборатории упряднены, и весь биоматериал, собираемый в поликлиниках, перенаправляется в централизованную городскую лабораторию.

Второй уровень — это круглосуточные лаборатории стационаров, где обрабатывают 1000–3500 проб в сутки. Здесь уже требуется

автоматизация, например, применяются сортеры, используется высокотехнологичное лабораторное оборудование и программное обеспечение.

Крупные централизованные лаборатории третьего уровня полностью автоматизированы, начиная от роботизированных тележек для перемещения проб и заканчивая самым чувствительным оборудованием, объединенным в общую сеть. Современные крупные лаборатории — это высокотехнологичные пространства, напоминающие биотехнологические заводы, которые «выпускают» информацию о состоянии здоровья. Мы потребляем много реагентов и материалов, но главный продукт — это данные для врача и пациента. Накопление этих данных обеспечивает преемственность и позволяет использовать инструменты искусственного интеллекта для оценки рисков и маршрутизации пациентов. >>>

▲ Манипуляторы сортируют пробы



Фото: НИИОЗММ

▲ Цифровизация сделала возможной централизацию лабораторной службы

В ближайшем будущем система будет способна автоматически формировать направление на прием к специалисту на основе результатов лабораторных или инструментальных исследований. Подобная автоматизация значительно повысит качество диспансеризации за счет раннего выявления хронических заболеваний, включая кардиологические, эндокринологические и даже онкологические. Это позволит минимизировать риски для здоровья и продлить жизнь. Система здравоохранения благодаря автоматизации создает все условия для оперативного оказания помощи.

— **Можно ли привести конкретные сравнения: «было — стало»?**

— В Москве наблюдается неуклонный рост числа лабораторных исследований. Во время пандемии фиксировался взрывной рост количества молекулярно-генетических исследований. При этом на сегодняшний день в Москве мы также наблюдаем неуклонный рост ключевых количественных показателей: в период 2023-2024 годов на 49% увеличилось число обращений пациентов, на 69% – количество поступивших в производство проб, на 88% – количество выполненных исследований.

Вместе с тем важно отметить, что на фоне этой тенденции количество самих лабораторий сокращается. Раньше в каждой поликлинике (детской и взрослой) была своя лаборатория — сейчас их нет. Все исследования проводятся в централизованной лаборатории.

Некоторые стационары начинают переход на аутсорсинг, то есть исследования проводятся централизованной лабораторной службой: лаборатория находится непосредственно на территории стационара, рядом с пациентами и врачами, но работают в ней сотрудники Московского научно-практического центра лабораторных исследований. Ведь в реанимации порой счет идет на минуты, а для приемного отделения срок выполнения исследований — до получаса. Такая централизация позволяет работать по единым технологическим стандартам, в единой информационной системе, обеспечивая скорость и неизменный уровень качества. Централизация совершенно не требует сведения всего в одну локацию, а подразумевает именно единство требований к проведению исследований и уровню качества.

Количество персонала вслед за числом лабораторий тоже снижается, но при этом благодаря автоматизации и централизации производительность труда неизменно растет.

— **Как происходил процесс централизации лабораторной службы города?**

— Процесс централизации лабораторной службы Москвы продолжался около 20 лет. Сначала были окружные централизованные лаборатории, затем их число сокращалось, в итоге образовалась единая лаборатория с несколькими крупными филиалами, где



обрабатываются 150–170 тысяч проб ежедневно. Ранее подобных масштабов никогда не было в России — на сегодняшний день их нет даже у коммерческих сетей. При этом сохранились стационарные лаборатории специализированных учреждений, обеспечивающие экстренные нужды круглосуточных стационаров.

Визуально лаборатории изменились: большие залы с анализаторами, едиными поверхностями, удобными для стерильной обработки, хорошим освещением.

— А символ лаборатории — микроскоп — присутствует в этих больших залах?

— Конечно. Микроскопы обязательно нужны для морфологических, цитологических, микробиологических исследований. Там, где технологии не позволяют провести автоматизацию, работают люди. И в принципе автоматизация

не заменяет людей, но меняет их функции. Лаборанты освобождаются от рутины для выполнения более интеллектуальных задач. Например, робот теперь открывает крышки пробирок — это тяжелая и монотонная работа, которую раньше выполняли вручную.

— Значит, лаборантов теперь — в связи с автоматизацией процессов — требуется меньше?

— Да, лаборантов становится меньше. С внедрением искусственного интеллекта может сократиться и число врачей, выполняющих стандартизированные функции. Однако в отличие от автоматизации рутинных манипуляций с пробами, использование ИИ в диагностике порождает дискуссии о юридической ответственности за принимаемые решения, прежде всего из-за отсутствия наработанной практики. При этом >>>

Некоторые хрупкие пробы пока нет возможности доверить роботам ▼



Фото: НИИОЗММ

В МОСКВЕ ЕДИНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ С НЕСКОЛЬКИМИ КРУПНЫМИ ФИЛИАЛАМИ ОБРАБАТЫВАЕТ 150-170 ТЫСЯЧ ПРОБ ЕЖЕДНЕВНО



Фото: НИИОЗММ

▲ С цифровизацией претерпевает изменения функционал сотрудников лаборатории

квалифицированные лаборанты нужны для бесперебойной работы лаборатории — для калибровки оборудования, контроля качества, подготовки реагентов — их труд видоизменился, но не исчез.

— **Требуются ли изменения в обучении для сотрудников?**

— Да, это актуальный вопрос, потому что мы внедряем решения, которых еще нет в мире. Уровень автоматизации в московских лабораториях в несколько раз выше по сравнению, например, с китайскими. Мы демонстрируем не только высокую производительность, но и исключительно эффективное использование пространства, достигнутое благодаря комплексной автоматизации процессов. Что касается подготовки кадров, то здесь мы уже сформировали собственные учебные программы для сотрудников. В планах — получение лицензии на дополнительное профессиональное

образование. Это позволит нам готовить специалистов под наши конкретные задачи и привлекать для обучения внешних слушателей.

— **Вы упомянули искусственный интеллект. Насколько он внедрен в лабораторной службе?**

— Внедрение искусственного интеллекта в лабораторную диагностику остается сложным и дискуссионным вопросом, особенно в части юридической ответственности за принимаемые решения. В отличие от автоматизации физических процессов, где вопросы решены, здесь применение ИИ сталкивается с отсутствием устоявшейся практики и нормативно-правового регулирования.

Фактически ИИ применяется в лабораториях в четырех ключевых направлениях: как система поддержки принятия решений на основе больших данных, как компьютерное зрение для анализа изображений



КЛЮЧЕВОЙ ВОПРОС БУДУЩЕГО — ГДЕ ПРОВЕСТИ ГРАНЬ МЕЖДУ ДОВЕРИЕМ АЛГОРИТМУ И КОМПЕТЕНЦИЕЙ ВРАЧА С УЧЕТОМ БЫСТРОГО РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЙ, ПОЗВОЛЯЮЩИХ ОБЪЕДИНИТЬ ИИ С РОБОТОТЕХНИКОЙ



Фото: НИИОЗММ

в патоморфологии, а также используется в качестве системы поддержки принятия врачебного решения, например, для оценки клинического анализа крови, и синтетической модели валидации данных. Мы активно развиваем систему, которая на основе половозрастных данных и истории пациента автоматически проверяет корректность анализов, а также используем компьютерное зрение в жидкостной цитологии и других областях.

Однако практика показывает, что ИИ может деградировать, воспринимая накопленные ошибки в статистических данных как норму. Более того, есть американское исследование, которое показало, что врачи, привыкая к поддержке ИИ, теряют навыки — исследования фиксируют рост ошибок на 20 % после прекращения использования системы. Ключевой вопрос будущего — где провести грань между доверием алгоритму и компетенцией врача, особенно с учетом быстрого развития технологий, позволяющих объединить ИИ с робототехникой.

Прямо сейчас мы реализуем научно-практическую модель, где ИИ анализирует микробиологические чашки и дает команды роботу для манипуляций с посевами. Планируется, что система будет сама манипулировать объектами в зависимости от того, что распознал искусственный интеллект — наличие или отсутствие роста посева, реакции на тот или иной антибиотик. То есть базовый ИИ мы научили — сейчас идет создание роботизированной модели, которая, получая эти данные, будет выполнять определенные манипуляции.

В условиях дефицита кадров автоматизация становится не просто оптимизацией, а необходимостью для обеспечения доступности медицинской помощи, позволяя компенсировать нехватку сотен специалистов.

— **Может ли ИИ сделать вывод по анализам, с учетом анамнеза пациента, пола, возраста — что норма, что нет?** >>>

▲
Даже при самом высоком уровне автоматизации контроль процессов остается за человеком



► В Москве доступны самые разные виды анализов



Фото: НИИОЗММ

— Искусственный интеллект способен анализировать результаты лабораторных исследований в контексте целостной картины пациента. Алгоритм учитывает возраст, пол, данные анамнеза и предыдущих исследований, что позволяет ему корректно интерпретировать даже патологические результаты. Например, он может определить, что показатель, формально выходящий за референсные значения, является нормальным

для конкретного пациента, или, наоборот — выявить несоответствие, когда один параметр противоречит другим, что может указывать на ошибку преаналитического этапа или проблемы с калибровкой оборудования. Так, ИИ способен заподозрить ошибку, если у пациента с ранее установленной первой группой крови внезапно определяется вторая, или если исчезают маркеры хронической инфекции, что клинически маловероятно.



Фото: НИИОЗММ

Ключевая задача — создание системы, где ИИ выступает в роли интеллектуального фильтра. Он проводит первичную валидацию результатов, автоматически подтверждая корректные выводы и отсеивая явные ошибки, а клинически сложные или противоречивые случаи передает на оценку врачу. Такой подход повышает производительность, но не отменяет необходимости критического мышления. К внедрению ИИ важно относиться взвешенно, избегая крайностей: от полного отрицания — до слепой веры в его непогрешимость.

— То есть ИИ сейчас больше для внутреннего контроля?

— В большей степени да. Чтобы ИИ мог самостоятельно выдавать результаты, он должен быть зарегистрирован как медицинское изделие.

— Какие еще новые технологии развиваются в лабораторной службе?

— Развиваются генетические и хромато-масс-спектрометрические исследования. В Москве созданы геномные центры, которые занимаются мониторингом инфекционных агентов, исследованиями в области онкологии, редких заболеваний.

Наш геномный центр занимается мониторингом инфекционных агентов. Мы секвенируем микроорганизмы, отслеживаем популяцию вирусов и бактерий, устойчивость к антибиотикам. Это позволяет прогнозировать эпидемии, разрабатывать вакцины, принимать необходимые управленческие решения.

Также развивается фармакогеномика — прогнозирование реакции человека на лекарства на основе его генома. В будущем, возможно, в электронной медицинской >>>

▲ Благодаря анализу больших данных, алгоритм в состоянии оценить в исследовании отклонение от нормы

НАШ ГЕНОМНЫЙ ЦЕНТР ЗАНИМАЕТСЯ МОНИТОРИНГОМ ИНФЕКЦИОННЫХ АГЕНТОВ. МЫ СЕКВЕНИРУЕМ МИКРООРГАНИЗМЫ, **ОТСЛЕЖИВАЕМ ПОПУЛЯЦИЮ ВИРУСОВ И БАКТЕРИЙ, УСТОЙЧИВОСТЬ К АНТИБИОТИКАМ**

карте пациента будет указана информация о том, какие лекарственные препараты недостаточно эффективны для него конкретно или вызывают реакцию непереносимости. Такие данные, безусловно, будут помогать врачам назначать правильное лечение.

Сегодня в онкологии на основе генетического анализа, после секвенирования опухоли, уже подбирается таргетная терапия. Теоретически подобная практика возможна и в других областях медицины.

— Как проводится популяционный анализ микроорганизмов?

— Мы отбираем пробы у пациентов с симптомами ОРВИ, полученные в амбулаторных и стационарных медицинских организациях. Сначала проводится ПЦР-тестирование, затем — углубленное секвенирование. Это

позволяет определить доминирующие штаммы и их свойства, чтобы спрогнозировать начало эпидемии. Москва — один из немногих городов мира, который действует таким образом.

— Получается, лабораторная служба теперь — это не только анализы, но и серьезная исследовательская работа?

— Да. Особого внимания заслуживают исследования в области антибиотикорезистентности в стационарах. Это очень серьезная мировая проблема. Понимание того, какие микроорганизмы циркулируют в отделениях реанимации и стационарах, как они реагируют на те или иные антибиотики, становится критически важным. Для этого мы проводим комплексное обследование стационаров

Московская лабораторная служба стала базой для серьезных научных исследований






с использованием как фенотипических (микробиологическим методом), так и молекулярно-генетических исследований. Это позволяет точно определить спектр микроорганизмов и выявить гены резистентности к антибиотикам. Такая информация необходима для рационального назначения антибиотиков первой линии, исключения неэффективных препаратов и формирования стратегии циклического применения антибиотиков для сохранения их эффективности.

Особое значение имеет концепция антибиотикорезерва — препаратов, к которым чувствительность микроорганизмов временно сохраняется. Эти резервные антибиотики используются в случаях, когда стандартная терапия неэффективна. Параллельно мы изучаем и альтернативные методы борьбы с инфекциями, включая применение фагов и моноклональных антител. Эти направления пока не получили широкого практического применения из-за сложностей администрирования и производства, и они остаются перспективными для лечения инфекций, вызванных полирезистентными штаммами микроорганизмов.

— Как удается координировать такую большую систему?

— Лабораторная служба Москвы функционирует как единый слаженный организм. Это стало возможным благодаря внедрению общегородских стандартов и цифровых решений: единой системы лабораторных исследований (ЕСЛИ), общего справочника тестов и биоматериалов, унифицированных подходов к контролю качества и новому программному обеспечению.

Именно такая системная унификация является фундаментом для автоматизации процессов. Она обеспечивает бесшовную интеграцию между всеми участками работы и позволяет масштабировать прорывные решения на весь мегаполис. В этом состоит ключевое организационное преимущество Москвы: даже регионы с меньшей нагрузкой не всегда достигают подобной эффективности из-за отсутствия целостного системного подхода. Успех определяется не столько объемом финансирования, сколько выверенной организационной стратегией и едиными стандартами работы. 

▲
Робот-манипулятор за работой