

УДК 614.2

***ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ В ПУЛЬМОНОЛОГИИ: МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ЛЕГКИХ И СОСУДОВ***

***Гупало В.А.,***

*студентка,*

*ФГБОУ ВО «Ижевская государственная медицинская академия»,*

*Ижевск, Россия*

***Ишина Ю.К.,***

*студентка,*

*ФГБОУ ВО «Ижевская государственная медицинская академия»,*

*Ижевск, Россия*

***Ямщикова Т.В.,***

*ассистент,*

*ФГБОУ ВО «Ижевская государственная медицинская академия»,*

*Ижевск, Россия*

**Аннотация.** В данной работе рассматривается применение технологии цифровых двойников в пульмонологии для моделирования работы легких и сосудистой системы. Цифровой двойник представляет собой виртуальную копию биологического объекта, которая позволяет проводить детальный анализ физиологических процессов и прогнозировать реакцию организма на различные воздействия. Моделирование работы легких и сосудов с помощью цифровых двойников способствует улучшению диагностики, персонализации лечения и мониторингу состояния пациентов с заболеваниями дыхательной системы. В статье обсуждаются основные методы создания цифровых

двойников, их возможности в симуляции дыхательных процессов и кровообращения, а также перспективы интеграции таких моделей в клиническую практику. Особое внимание уделяется потенциалу цифровых двойников для повышения эффективности терапии и снижения рисков осложнений при лечении пульмонологических заболеваний.

**Ключевые слова:** цифровые двойники, пульмонология, моделирование легких, моделирование сосудов, дыхательная система, виртуальное моделирование.

### ***DIGITAL TWINS IN PULMONOLOGY: MODELING THE FUNCTIONING OF THE LUNGS AND VESSELS***

***Gupalo V.A.,***

*student,*

*Izhevsk State Medical Academy,*

*Izhevsk, Russia*

***Ishina J.K.,***

*student,*

*Izhevsk State Medical Academy,*

*Izhevsk, Russia*

***Yamshchikova T.V.,***

*Assistant,*

*Izhevsk State Medical Academy,*

*Izhevsk, Russia*

**Annotation.** This paper discusses the use of digital twin technology in pulmonology to simulate the lungs and vascular system. A digital twin is a virtual copy of a biological object that allows for a detailed analysis of physiological processes and  
Дневник науки | [www.dnevniknauki.ru](http://www.dnevniknauki.ru) | СМИ Эл № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327

predicts the body's response to various influences. Modeling the lungs and blood vessels using digital twins helps improve diagnostics, personalize treatment, and monitor the condition of patients with respiratory diseases. The article discusses the main methods for creating digital twins, their capabilities in simulating respiratory processes and blood circulation, as well as the prospects for integrating such models into clinical practice. Particular attention is paid to the potential of digital twins to improve the effectiveness of therapy and reduce the risk of complications in the treatment of pulmonary diseases.

**Keywords:** digital twins, pulmonology, lung modeling, vascular modeling, respiratory system, virtual modeling.

**Актуальность.** Расширенная актуальность для научной статьи на тему “Цифровые двойники в пульмонологии: моделирование работы легких и сосудов”.

Современная пульмонология сталкивается с необходимостью повышения точности диагностики и эффективности лечения заболеваний дыхательной системы, таких как хроническая обструктивная болезнь легких (ХОБЛ), астма, легочная гипертензия и другие. Традиционные методы исследования часто ограничены в возможности комплексного анализа динамических процессов в легких и сосудах. В этом контексте технология цифровых двойников приобретает особую значимость, поскольку позволяет создавать точные виртуальные модели органов, отражающие индивидуальные особенности пациента. [1] Это открывает новые перспективы для персонализированного подхода в медицине, улучшения прогноза и оптимизации терапевтических стратегий.

Во-первых, технология цифровых двойников — виртуальных копий биологических органов и систем — позволяет создавать персонализированные модели, которые учитывают индивидуальные анатомические и

физиологические особенности пациента. [2] В пульмонологии это особенно важно, поскольку легкие и сосуды представляют собой сложную систему с множеством взаимосвязанных процессов, таких как вентиляция, перфузия, газообмен и кровообращение.

Во-вторых, использование цифровых двойников в пульмонологии позволяет не только более точно моделировать работу легких и сосудов, но и проводить виртуальные эксперименты, прогнозировать развитие заболеваний, оценивать эффективность различных методов лечения и минимизировать риски осложнений. Это способствует переходу от стандартных протоколов к персонализированной медицине, где терапия подбирается с учетом уникальных характеристик каждого пациента. [4] Кроме того, цифровые двойники могут значительно ускорить процесс клинических исследований и разработки новых лекарственных препаратов, снизить затраты на медицинское обслуживание и повысить качество жизни пациентов.

В-третьих, особую актуальность цифровые двойники приобретают в условиях роста числа пациентов с мультифакторными и сопутствующими заболеваниями, когда стандартные подходы оказываются недостаточно эффективными. Кроме того, пандемия COVID-19 подчеркнула важность глубокого понимания патофизиологии легких и сосудов, а также необходимости быстрого и точного моделирования различных сценариев развития болезни и ответных мер.

В-четвертых, внедрение цифровых двойников в клиническую практику способствует не только улучшению качества медицинской помощи, но и развитию научных исследований, позволяя тестировать новые методы лечения и медицинские устройства в виртуальной среде без риска для пациента.

Таким образом, развитие и применение цифровых двойников в пульмонологии является ключевым направлением, отвечающим современным

вызовам здравоохранения и способствующим переходу к более точной, безопасной и эффективной медицине. Однако, использование цифровых двойников открывает новые возможности для обучения медицинских специалистов, позволяя им на практике изучать сложные физиологические процессы и отрабатывать навыки принятия решений в виртуальной среде. Это способствует повышению квалификации врачей и улучшению качества медицинской помощи. [6] В перспективе интеграция цифровых двойников с системами искусственного интеллекта и большими данными позволит создавать еще более точные и адаптивные модели, что значительно расширит возможности персонализированной медицины и превентивных стратегий в пульмонологии. [7]

**Цель.** Изучить разработку и внедрение цифровых двойников легких и сосудов для повышения точности диагностики, прогнозирования и персонализации лечения заболеваний дыхательной системы, а также оценить их эффективность и практическую применимость в клинической пульмонологии.

**Материалы и методы.** Обзор литературы проводился в базах данных КиберЛенинка и Elibrary в августе 2025 года с использованием следующих терминов: «цифровой двойник», «пульмонология», «виртуальное моделирование». Источники литературы, включенные в обзор, были оригинальными исследованиями, обзорами, точками зрения и мнениями. [4] В данном обзоре мы представляем наше видение применения цифрового двойника в пульмонологии, которое пока может быть неполным и относительно неокончательным, и способно измениться с появлением регламентирующих документов, уточняющих понятие цифрового двойника, а также области и возможности его использования.

**Полученные результаты.** Концепция цифрового двойника была впервые предложена в 2002 году Майклом Гривесом из Мичиганского

Дневник науки | [www.dnevniknauki.ru](http://www.dnevniknauki.ru) | СМИ Эл № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327

университета. Согласно его модели, цифровой двойник включает три основных элемента: физический объект в реальном мире, виртуальный объект в цифровом пространстве и данные, которые связывают эти два компонента. В области здравоохранения понятие цифрового двойника пока не имеет однозначного определения и находится на стадии активного изучения, что частично связано с обсуждениями этических вопросов, связанных с применением искусственного интеллекта. [4] В здравоохранении цифровой двойник может представлять собой копию живого объекта (например, органа, ткани, лабораторного животного, человека и др.), а также материальный объект, процесс или медицинскую систему. В настоящее время динамическую работу цифрового двойника в медицине можно описать через несколько взаимосвязанных компонентов:

1. Объект исследования — это может быть человек (пациент или врач), медицинская организация или система здравоохранения, медицинское изделие, лекарственный препарат, а также процесс или медицинская услуга и другие.

2. Данные и информация, полученные с помощью интеллектуального анализа сведений, собранных у объекта исследования, формирующие цифровой образ (цифровой двойник), при необходимости дополненные технологиями расширенной реальности для создания цифровой модели.

3. Оценка рисков и прогнозирование результатов работы или лечения, специфичных для конкретного объекта исследования, с учётом контекста рассматриваемого цифрового двойника, что служит основой для принятия решений в каждом конкретном случае.

Источник данных для цифрового двойника в здравоохранении может представлять собой, например, электронную медицинскую карту пациента с накопленной за длительный период информацией (установленные диагнозы,

проведённые лечебные процедуры, результаты анализов и прочие медицинские сведения), а также данные с носимых медицинских устройств, используемых для мониторинга состояния здоровья, отслеживания физической активности и сна, ранней диагностики, планирования и выполнения назначений и манипуляций, а также для оценки эффективности реабилитации. [3] В контексте пульмонологии цифровой двойник может дополнительно использовать данные, полученные с помощью специализированных диагностических методов, таких как компьютерная томография легких, спиральная КТ, магнитно-резонансная томография, а также результаты функциональных тестов дыхательной системы (спирометрия, пиковая экспираторная скорость). Эти данные позволяют создавать точные виртуальные модели легких и дыхательных путей, что способствует более точной диагностики, моделированию патологических процессов, прогнозированию развития заболеваний. Кроме того, цифровой двойник в пульмонологии может использовать данные о вентиляции, перфузии и газообмене, полученные с помощью современных неинвазивных методов мониторинга, что позволяет персонализировать лечение и отслеживать динамику заболевания в реальном времени.

При формировании виртуальной модели цифрового двойника в пульмонологии сведения из разных источников проходят предварительную предобработку. Затем создаётся цифровой образ пациента — база данных с чётко структурированной информацией (анамнез, диагнозы дыхательной системы, история обострений, результаты спирометрии, рентгеновские и КТ-исследования, лабораторные маркёры, данные о приёме препаратов, данные о курении и факторов риска, показатели из носимых устройств: пульсоксиметрия, частота дыхания, активность и сон).

На основе предобработанного цифрового двойника в едином хранилище выполняют выборку анамнезов и кейсов, аналогичных по структуре и

Дневник науки | [www.dnevniknauki.ru](http://www.dnevniknauki.ru) | СМИ Эл № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327

клиническим характеристикам (степень тяжести заболевания, фенотип заболевания и т.д.). Полученную выборку разделяют на обучающую, валидационную и тестовую группы и обрабатывают на платформах машинного обучения (H2O.ai, RapidMiner, KNIME, Logitom и др.) с применением соответствующих алгоритмов (классификация обострений, прогнозирование функции лёгких, риск инфицирования, оценка ответной реакции на терапию, прогноз реабилитации). [9]

Результаты, полученные на обученной модели, интегрируют в цифрового двойника для прогнозирования клинических исходов и принятия решений. После оценки и расчёта рисков выводы могут быть применены в клинической практике для конкретного пациента: корректировка терапии, планирование мониторинга, ранняя интервенция при признаках обострения и оптимизация программ реабилитации.

**Вывод.** В заключение данной работы можно сделать вывод, касающийся внедрения цифровых двойников в пульмонологию, моделируя работу легких и сосудов, кровоснабжающие легкие. Внедрение цифровых двойников клинических рекомендаций в пульмонологии приведёт к унификации и оцифровке всех используемых руководств по заболеваниям дыхательной системы. [1] Цифровой формат рекомендаций обеспечит:

- 1) Соответствие принципам доказательной медицины, т.е. явное указание уровня доказательности и силы рекомендаций для лечения и диагностики заболеваний лёгких (ХОБЛ, астма, пневмонии, интерстициальные заболевания и др.).
- 2) Стандартизованную методологию и оперативные обновления, т.е. быструю интеграцию новых результатов клинических исследований и руководств в цифровой файл рекомендаций с возможностью мгновенного распространения в клиниках.

- 3) Связь с клиническими данными и справочниками, т.е. автоматическая валидация и обогащение рекомендаций ссылками на регламенты, протоколы диагностики (спирометрия, БДТ, КТ), фармакотерапевтические базы и локальные стандарты оказания помощи.
- 4) Снижение субъективности принятия решений, т.е. уменьшение вариативности практики между врачами за счёт строго описанных алгоритмов выбора терапии, критериев госпитализации и мониторинга

Практические преимущества для пульмонологии заключаются в:

- 1) Персонализации терапии, т.е. цифровой рекомендательный двойник позволяет автоматически подбирать оптимальные схемы терапии на основе фенотипа пациента (экспериментальный/биологический профиль, тяжесть ХОБЛ, наличие астматического компонента, коморбидности).
- 2) Поддержке принятия клинических решений в реальном времени, т.е. интеграция с ЭМК и цифровыми двойниками пациентов позволит выдавать наглядные подсказки: необходимость введения бронходилататоров, старт антибактериальной терапии при подозрении на пневмонию, показания к госпитализации или оксигенотерапии.
- 3) Улучшении качества и безопасности ухода, т.е. автоматическая проверка взаимодействий медикаментов, дозировок для пациентов с почечной/печёночной недостаточностью, предупреждения о противопоказаниях.

### Библиографический список.

1. Богун С. А. Проблемы правовой природы цифровых двойников // Вестник ЮУрГУ. Серия: Право. – 2023 – Т.23 – №2 – С. 62-66
2. Зуенкова Ю. А. Опыт и перспективы применения цифровых двойников в общественном здравоохранении // Менеджер здравоохранения. – 2022 – №6 – С. 69-77
3. Иванов В.В., Зуев Д.И. Цифровой двойник и цифровая личность: понятие, соотношение, значение в процессе совершения киберпреступлений и в праве в целом // Правовое государство: теория и практика. - 2022. - № 4. - С. 138-144.
4. Кобякова О.С., Стародубов В.И., Куракова Н.Г., Цветкова Л.А. Цифровые двойники в здравоохранении: оценка технологических и практических перспектив // Вестник РАМН. – 2021. – № 5. – Режим доступа – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovye-dvoyniki-v-zdravoohranenii-otsenka-tehnologicheskikh-i-prakticheskikh-perspektiv> (Дата обращения: 24.08.2025).
5. Лазарев А. В., Калининская А. А. Цифровое здравоохранение и цифровые двойники как его составляющие (систематический обзор) // Проблемы социальной гигиены, здравоохранения и истории медицины. – 2024. – №32 – С.3
6. Лapidус Л. В., Кравченко А. А. Внедрение цифровых двойников в производственные циклы биотехнологических компаний в контексте концепции Pharma 4.0 // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2024 – №5 – С.11-25

7. Мадалиев А., Иванов В. М. Аддитивные технологии и цифровые двойники: из промышленности в медицину // Здоровье - основа человеческого потенциала: проблемы и пути их решения. – 2019. –Т. 14, № 1. – С. 229-234.
8. Наливайко Ю. А., Денисова Н. А. Анализ направлений использования технологии цифровых двойников в сфере здравоохранения // Труды Института бизнес-коммуникаций. – 2021. — С. 43.
9. Прохоров А., Лысачев М. Цифровой двойник. Анализ, тренды, мировой опыт // АльянсПринт. – 2020. – 401 с.
10. Прохорова Н. Д., Лебедев Г. С., Прасолов М. С., Казакова А. А. Применение цифровых двойников в здравоохранении. // Менеджер здравоохранения. – 2024. – 11:88 – С.96 – Режим доступа – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-tsifrovyyh-dvoynikov-v-zdravooohranenii/viewer> (Дата обращения 24.08.2025)

*Оригинальность 76%*