

Нанотехнологии в медицине: перспективы интеграции с телемедициной, цифровыми технологиями и искусственным интеллектом

П.В. Селивёрстов

ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова» МО РФ, Санкт-Петербург
e-mail: seliverstov-pv@yandex.ru

Сведения об авторе

Селивёрстов Павел Васильевич, кандидат медицинских наук, доцент 2 кафедры (терапии усовершенствования врачей) ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова» МО РФ, 194044 г. Санкт-Петербург, ул. Лебедева, 6. e-mail: seliverstov-pv@yandex.ru, ORCID: 0000-0001-5623-4226.

Резюме

В статье рассматриваются перспективы интеграции нанотехнологий с телемедициной, цифровыми технологиями и искусственным интеллектом в современной медицине. Анализируются потенциальные применения наномедицины в диагностике, терапии, регенеративной медицине и создании новых лекарственных форм. Особое внимание уделяется роли наносенсоров в удаленном мониторинге пациентов, нанороботов в телехирургии и нанокomпьютеров в обработке медицинских данных. Обсуждаются преимущества и вызовы внедрения нанотехнологий в клиническую практику, а также их потенциал в трансформации здравоохранения, делая его более персонализированным, эффективным и доступным.

Ключевые слова: медицинские сестры, нанотехнологии, телемедицина, цифровое здравоохранение, удаленный мониторинг, наносенсоры, профессиональное образование, безопасность пациентов, инновации в сестринском деле, междисциплинарное взаимодействие.

Для цитирования: Селивёрстов П.В. Нанотехнологии в медицине: перспективы интеграции с телемедициной, цифровыми технологиями и искусственным интеллектом. Медицинская сестра. 2024; 26 (7): 34–43. DOI: <https://doi.org/10.29296/25879979-2024-07-05>

Nanotechnology in medicine: prospects for integration with telemedicine, digital technologies, and AI

P.V. Seliverstov

Military Medical Academy of S.M. Kirov, Saint Petersburg
e-mail: seliverstov-pv@yandex.ru

Information about the author

Seliverstov Pavel Vasilievich, Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, 2nd Department (of Therapy for Advanced Training) of Physicians Military Medical Academy named after S.M. Kirov MO RF. e-mail: seliverstov-pv@yandex.ru. ORCID: 0000-0001-5623-4226.

Abstract

The article examines the prospects of integrating nanotechnology with telemedicine, digital technologies, and artificial intelligence in modern medicine. It analyzes potential applications of nanomedicine in diagnostics, therapy, regenerative medicine, and the development of new drug formulations. Special attention is given to the role of

nanosensors in remote patient monitoring, nanorobots in telesurgery, and nanocomputers in medical data processing. The advantages and challenges of implementing nanotechnology in clinical practice are discussed, as well as its potential in transforming healthcare, making it more personalized, efficient, and accessible.

Keywords: Nurses, nanotechnology, telemedicine, digital healthcare, remote monitoring, nanosensors, professional education, patient safety, nursing innovations, interdisciplinary collaboration.

For citation: Seliverstov P. V. Nanotechnology in medicine: prospects for integration with telemedicine, digital technologies, and AI. *Meditsinskaya sestra (The Nurse)*. 2024; 26 (7): 34–43.

DOI: <https://doi.org/10.29296/25879979-2024-07-05>



Введение

Нанотехнологии (НТ) представляют собой междисциплинарную область науки и техники, связанную с изучением, созданием и применением объектов размером от 1 до 100 нанометров (нм). Один нм равен одной миллиардной доле метра, что сопоставимо с размерами отдельных молекул и атомов. Эта уникальная область исследований открывает новые возможности для манипулирования материей на атомарном и молекулярном уровнях, что имеет огромный потенциал для революционных изменений в различных сферах, включая медицину [1].

Роль НТ в современной медицине трудно переоценить, с их помощью открываются инновационные подходы к диагностике, лечению и профилактике различных заболеваний на молекулярном уровне. Некоторые ключевые аспекты их роли следующие:

- точная диагностика: наносенсоры (НС) и нанодатчики способны обнаруживать биомаркеры заболеваний на очень ранних стадиях, что значительно повышает шансы на успешное лечение [2];
- адресная доставка лекарств: наночастицы могут быть использованы как носители лекарственных средств, обеспечивая их точную доставку к пораженным клеткам или тканям [3];

- регенеративная медицина: наноматериалы применяются для создания скаффолдов и имплантатов, способствующих регенерации тканей и органов [4];
- персонализированная медицина: ИТ позволяют разрабатывать индивидуальные методы лечения, учитывающие генетические особенности пациента [5];
- улучшение медицинских устройств: использование наноматериалов позволяет создавать более эффективные и миниатюрные медицинские приборы и инструменты [6];
- новые методы визуализации: наночастицы могут служить контрастными агентами для улучшения качества медицинских изображений [7];
- борьба с инфекциями: наноматериалы с антимикробными свойствами используются для создания новых антибактериальных покрытий и препаратов [8].

Интеграция ИТ с цифровыми технологиями, телемедициной и искусственным интеллектом (ИИ) открывает еще более широкие перспективы для развития здравоохранения. Подобная синергия позволяет создавать инновационные решения для удаленного мониторинга здоровья, анализа больших объемов медицинских данных и разработки более эффективных методов лечения.

В свою очередь, развитие телемедицинских технологий значительно ускорилось в последние годы, что во многом обусловлено пандемией COVID-19 и массовыми ограничениями на передвижение. В связи с чем, согласно данным ВОЗ, более половины стран сообщили об использовании телемедицины в качестве альтернативы очных консультаций во время пандемии. Подобные меры способствовали увеличению темпа цифровизации здравоохранения [40]. Так, ключевыми направлениями стали электронные медицинские карты (ЭМК) [9]; мобильное здравоохранение (mHealth), использование мобильных приложений и носимых устройств для мониторинга здоровья; большие данные в здравоохранении – анализ больших объемов медицинских данных для улучшения диагностики и лечения; облачные технологии – хранение и обработка медицинских данных в облаке; то есть ИИ – становится все более важным инструментом в медицине.

Основные области применения последнего включают диагностику, использование систем на основе ИИ для анализа медицинских изображений (например, рентгеновских снимков, МРТ) с точностью, сопоставимой с опытными радиологами; разработку лекарств для ускорения процесса открытия новых лекарственных средств. В персонализированной медицине ИИ помогает в разработке индивидуальных планов лечения на основе генетических и других данных пациента, при прогнозировании заболеваний (создаются ИИ-модели для предсказания рисков развития заболеваний на основе различных факторов) и пр.

Согласно отчету Global Market Insights, мировой рынок ИИ в здравоохранении оценивался более чем в 6,5 млрд долларов в 2021 г. и, по прогнозам, будет расти со среднегодовым темпом роста более 38% с 2022 по 2030 гг. [10]. Однако, несмотря на значительный прогресс, внедрение этих технологий сталкивается с рядом

вызовов, включая вопросы безопасности данных, этические проблемы, необходимость обучения медицинского персонала и обеспечение доступности технологий для всех слоев населения.

Наномедицина в диагностике

Бесспорно, наномедицина открывает революционные возможности в сфере медицинской диагностики, позволяя выявлять заболевания на самых ранних стадиях с беспрецедентной точностью. Применение ИТ в диагностике охватывает широкий спектр инновационных решений. ИИ, основанные на наночастицах, способны обнаруживать биомаркеры заболеваний в минимальных концентрациях, что особенно важно для ранней диагностики рака [11]. Квантовые точки, представляющие собой полупроводниковые нанокристаллы, используют как флуоресцентные метки для визуализации биологических процессов, находя применение в диагностике различных заболеваний [12].

Наночастицы успешно применяются для улучшения методов визуализации: магнитные наночастицы повышают четкость изображений МРТ [13], а золотые наночастицы улучшают контрастность в компьютерной томографии [14]. Концепция «лаборатории-на-чипе» позволяет интегрировать множество лабораторных функций на миниатюрном устройстве, обеспечивая быстрый и точный анализ биологических образцов. Нано-баркоды, обладающие уникальными оптическими свойствами, применяются для одновременного обнаружения множества биомаркеров в мультимплексном анализе [15].

Наноразмерные кантилеверы – миниатюрные балки, изгибающиеся при связывании с определенными молекулами, используются для обнаружения специфических белков или ДНК [16]. Аптамеры на основе наночастиц представляют собой синтетические молекулы, способные специфически связываться с целевыми биомолекулами, что позволяет создавать высокочувствительные диагностические тесты [17]. Наноструктурированные поверхности разрабатываются для захвата и анализа редких клеток или молекул, например циркулирующих опухолевых клеток в крови [18].

Преимущества наномедицины в диагностике включают повышенную чувствительность и специфичность тестов [19], возможность ранней диагностики заболеваний, минимальную инвазивность процедур, быстроту получения результатов и возможность проведения анализов непосредственно у постели больного. Текущие исследования направлены на создание умных наночастиц, способных не только обнаруживать, но и характеризовать заболевания, разработку неинвазивных методов диагностики на основе анализа выдыхаемого воздуха [20] и интеграцию ИИ [21] с носимыми устройствами для постоянного мониторинга здоровья [22].

Несмотря на значительный прогресс, внедрение наномедицинских диагностических технологий в клиническую практику сталкивается с рядом проблем, включая вопросы безопасности, стандартизации методов и необходимость проведения масштабных клинических испытаний. Наномедицина продолжает развиваться, обещая революционизировать подход к диагностике и лечению заболеваний в ближайшем будущем.

Наномедицина в терапии

НТ трансформируют подходы к лечению различных заболеваний, предлагая эффективные и менее инвазивные методы терапии. Адресная доставка лекарств с помощью наночастиц позволяет точно доставлять препараты к пораженным клеткам или тканям [23]. Липосомы, полимерные наночастицы и дендримеры служат носителями, снижающими побочные эффекты и повышающими эффективность лечения, преодолевая биологические барьеры, включая гематоэнцефалический [24].

Фототермическая терапия использует золотые наночастицы или углеродные нанотрубки для локального разрушения опухолевых клеток под воздействием лазерного излучения. Магнитная гипертермия применяет магнитные наночастицы, генерирующие тепло в переменном магнитном поле для нагрева и уничтожения опухолевых клеток [25]. Генная терапия прогрессирует благодаря наноносителям, доставляющим генетический материал в клетки для лечения наследственных заболеваний и рака.

Концепция нанороботов (НР) предполагает создание устройств размером с клетку для удаления бляшек в артериях, уничтожения раковых клеток и прецизионной доставки лекарств [26].

В регенеративной медицине используются наноструктурированные скаффолды и наночастицы для стимуляции регенерации тканей. Антимикробные свойства наночастиц серебра, меди и оксида цинка применяют в борьбе с инфекциями и создании защитных покрытий для медицинских устройств. Иммуноterapia развивается с помощью наноносителей для доставки иммуномодуляторов и вакцин, открывая новые возможности в лечении аутоиммунных заболеваний. Наноэмульсии улучшают трансдермальную доставку лекарств, повышая эффективность лечения кожных заболеваний. Фотодинамическая терапия с фотосенсибилизаторами на основе наночастиц применяется в онкологии и дерматологии. Преимущества наномедицины включают повышение эффективности лечения, снижение побочных эффектов, преодоление лекарственной устойчивости и персонализацию терапии.

Исследования сфокусированы на создании умных наночастиц, реагирующих на изменения микроокружения, разработке мультифункциональных наноформ для терастики и изучении биосовместимых материалов для минимизации долгосрочных эффектов.

Внедрение наномедицинских технологий в клиническую практику сталкивается с проблемами безопасности, масштабирования производства, необходимостью длительных испытаний и регуляторными барьерами. Несмотря на это потенциал наномедицины в изменении подходов к лечению заболеваний остается значительным, обещая существенные изменения в медицинской практике будущего.

Наномедицина в регенеративной медицине

НТ меняют регенеративную медицину, предлагая инновационные решения для восстановления и замены поврежденных тканей и органов. Наноструктурированные скаффолды, имитирующие внеклеточный матрикс, соз-

даются из нановолокон, нанопористых материалов и самособирающихся пептидов, способствуют регенерации костной и нервной ткани, хрящей, кожи.

Наночастицы успешно используют для контролируемой доставки факторов роста и генов, стимулируя ангиогенез и регенерацию нервной ткани. Липосомы, полимерные наночастицы и наногели служат эффективными носителями биоактивных молекул. Магнитные наночастицы позволяют управлять клеточным поведением, обеспечивая направленную миграцию клеток и создание организованных тканевых структур [27].

В 3D-биопечати применяют наноконструктивные биочернила, позволяющие создавать сложные тканевые конструкции и органоиды. Нанотопография поверхностей контролирует адгезию, пролиферацию и дифференцировку клеток, улучшая интеграцию имплантатов и направляя дифференцировку стволовых клеток.

Наночастицы, высвобождающие ионы кальция и стронция, стимулируют остеогенез и заживление ран. Нановолокна, полученные методом электроспиннинга, используют для создания искусственных кровеносных сосудов и нервных проводников. Инъекционные наногели служат носителями клеток и биоактивных молекул, обеспечивая минимально инвазивную доставку стволовых клеток.

Преимущества НТ в регенеративной медицине включают улучшенную биомиметику, контроль над поведением клеток на наноуровне, повышенную биосовместимость материалов, возможность создания сложных тканевых структур и контролируемое высвобождение биоактивных веществ.

Текущие исследования направлены на создание умных наноматериалов, реагирующих на изменения окружающей среды, разработку биоразлагаемых наноскаффолдов с контролируемой скоростью деградации, интеграцию НС в тканеинженерные конструкции и изучение взаимодействия наноматериалов с иммунной системой.

Таким образом, наномедицина в регенеративной медицине открывает перспективы лечения ранее неизлечимых состояний, значительно улучшая качество жизни пациентов. Продолжающиеся исследования обещают революционные изменения в подходах к восстановлению тканей и органов в ближайшем будущем, трансформируя возможности медицины в целом.

Наномедицина в создании новых лекарственных форм

НТ радикально меняют подходы к разработке лекарственных средств, создавая инновационные формы доставки с улучшенными фармакокинетическими и фармакодинамическими свойствами. Липосомы, сферические везикулы из фосфолипидного бислоя, успешно применяются для доставки противоопухолевых и противогрибковых препаратов, как в случае Доксила – липосомального доксорубина для лечения рака.

Полимерные наночастицы из биоразлагаемых материалов обеспечивают контролируемое высвобождение лекарств и доставку белков и пептидов. Пример – Абраксан, наночастицы альбумина с паклитакселом для терапии рака. Твердые липидные наночастицы повышают биодо-