

СОВРЕМЕННОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИКРОРОБОТОВ В МЕДИЦИНЕ

Скоробогатов О.А., Дмитриев Н.В.

Уральский государственный университет путей сообщения, Екатеринбург

Ключевые слова: микророботы, медицина; бактериальный микроробот, управление перемещением робота, магнитное управление; робоэтика.

Аннотация. В статье рассмотрена проблематика использования микророботов в медицинской сфере. Показаны основные технологии обеспечения передвижения внутри человеческого тела на примере магнитно управляемого бактериального микроробота, реализующего доставку лекарства, и вариаций технологий доставки эмбрионов с помощью микроробототехники. С помощью анализа современных исследований выделены фундаментальные проблемы как технологического, так и этического характера и предложены возможные решения.

MODERN USE OF MICROROBOTS IN MEDICINE

Skorobogatov O.A., Dmitriev N.V.

Ural state university of railway transport, Yekaterinburg

Keywords: microrobots, medicine, bacterial microrobot, motion control of robot; magnetic control; roboethics.

Abstract. The article discusses the problems of using microrobots in the medical field. The basic technologies for ensuring movement inside the human body are shown using examples of a magnetically controlled bacterial microrobot that implements drug delivery, and variations of technologies for delivering embryos using microrobotics. By analyzing modern research, fundamental problems of both a technological and ethical nature are identified and possible solutions are proposed.

Микророботы размером с клетку человеческого тела представляют собой многообещающий новый инструмент для медицинских вмешательств. Они могут перемещаться по телу человека, доставлять лекарства [1, 2] и выполнять другие задачи, которые в настоящее время невозможны с помощью традиционных методов. Обычно для транспортировки используются кровеносные сосуды [3], так как они обеспечивают быстрое перемещение в жидкой среде. Под микророботами подразумеваются не только полностью созданные человеком устройства, но часто и обычные бактерии, которые искусственно модифицируются с помощью «имплантов».

Микророботы используют различные передовые технологии. Использование магнитных наночастиц [4] позволяет дистанционно управлять бактериальными роботами с помощью магнитных полей. При помощи алгоритмов роевого управления [5] можно реализовать качественно новые типы операций при отсутствии возможности внешнего управления. Использование биосовместимых материалов [6] обеспечивают безопасность использования роботов в организме человека.

Пример магнитно управляемого бактериального микроробота представлен на рисунке 1. По результатам анализа было выделено несколько проблем микророботов такого дизайна.

Некоторые типы данных микророботов могут сталкиваться с ограничениями в скорости передвижения и эффективности доставки из-за естественного взаимодействия бактерий с окружающими клетками и веществами. Это может ограничивать их способность быстро и точно перемещаться внутри организма.

Сложность интеграции различных типов носимой нагрузки вследствие изменения в целом симметричной формы бактерии «имплантатами» может ограничивать их функциональность и способность доставлять разнообразные терапевтические средства.

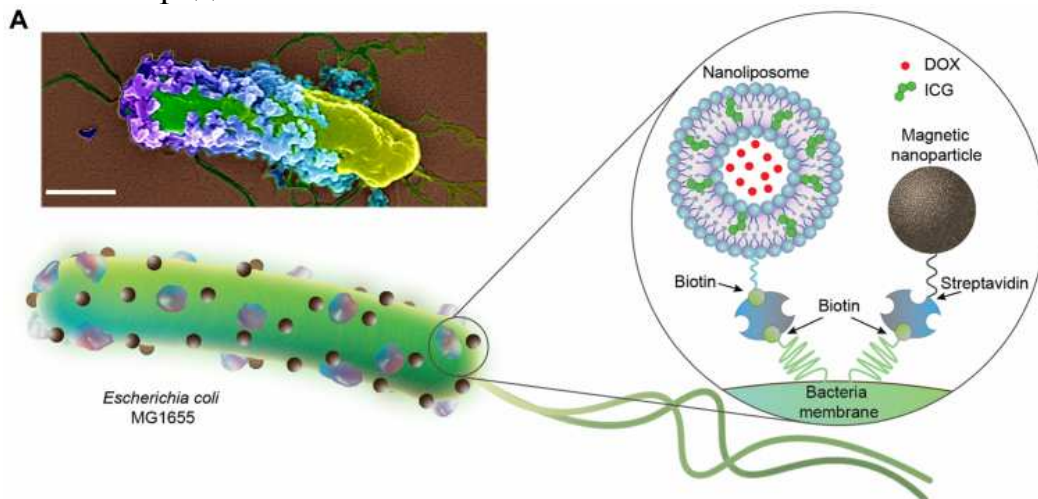


Рис. 1. Магнитно управляемый бактериальный микроробот [4]

Использование живых бактерий, таких как *Escherichia coli* (кишечная палочка), в качестве базовой платформы может вызвать вопросы по безопасности, так как необходимо предотвратить нежелательные эффекты в организме; негативные побочные эффекты от лечения не должны перекрывать улучшение состояния от лечения.

Кроме того, бактерии могут сталкиваться с различными условиями в организме, такими как изменения температуры, наличие антимикробных веществ и других факторов, что может влиять на их жизнеспособность и устойчивость.

Для преодоления проблем, связанных с магнитно управляемыми бактериальными микророботами, можно предпринять следующие шаги.

Исследователи могут работать над улучшением дизайна бактериальных микророботов, чтобы повысить их производительность, скорость и точность доставки нагрузки. Это может включать в себя оптимизацию формы, размера и материалов, подбор типа бактерии-носителя с помощью моделирования, в том числе с использованием комбинаций различных бактерий, что позволит компенсировать недостатки и достоинства, присущие разным видам.

Важны и работы по повышению устойчивости и безопасности бактерий внутри организма. Это может включать в себя генетические модификации, чтобы сделать бактерии более устойчивыми к внешним факторам, а также разработку мер безопасности для предотвращения нежелательных эффектов.

Пример использования микророботов в репродуктивной медицине показан на рисунке 2. Были выделены следующие проблемы.

Использование медицинских микророботов внутри человеческого организма влечет за собой риски, связанные с их безопасностью. Возможно, существуют риски возникновения воспалений, аллергических реакций или других нежелательных эффектов. Кроме того, организм может реагировать на микророботов иммунным ответом, что может снизить их эффективность и вызвать отторжение.

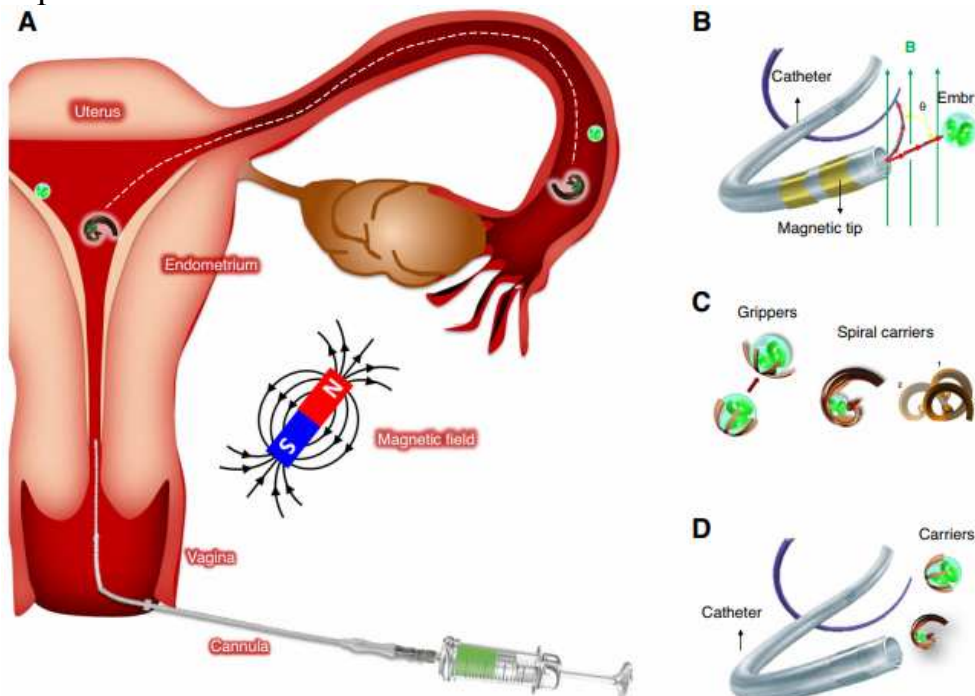


Рис. 2. Трансфер эмбрионов с помощью микророботов [6]:
 а) робот с микромотором; б) использование микрокатетера;
 с) использование роботов-носителей; д) комбинированный подход

Текущие технологии могут сталкиваться с ограничениями в размерах, энергопотреблении и других технических характеристиках микророботов, что может повлиять на их эффективность и функциональность. Микророботы требуют энергии для своего функционирования. Решение вопросов энергопитания, особенно при длительном пребывании внутри организма, может быть нетривиальной задачей.

Применение микророботов в репродуктивной медицине может вызвать этические вопросы, особенно если это связано с манипуляцией генетического материала или созданием модифицированных форм жизни. Принятие подобных технологий со стороны общества и культурные аспекты могут оказать влияние на их широкое внедрение в медицинскую практику.

Предложенные решения заключаются в следующем.

Для улучшения безопасности можно разработать стабильные и нетоксичные материалы, биосовместимых с человеческим организмом, чтобы минимизировать риск воспалений и аллергических реакций.

Необходимо проведение исследований, направленных на улучшение технологических характеристик микророботов (размеры, эффективные источники энергии, способы управления и передвижения). Для данного направления требуется активное содействие в создании международных стандартов и регулирований для использования медицинских микророботов; формировании

коллабораций между индустрией, научными и медицинскими сообществами для обмена информацией и опыты, в том числе и для систематического отслеживания долгосрочных эффектов и результатов применения микророботов.

С этической стороны необходимо активное вовлечение общественности и этических комитетов в обсуждение и разработку стандартов и правил использования медицинских микророботов в репродуктивной медицине. Во многих странах потребуются обновление и адаптация законодательства.

В целом можно отметить, что микророботы обладают огромным потенциалом для модернизации современной медицины. Они могут преодолеть ограничения традиционных методов лечения и обеспечить новые возможности для диагностики и лечения заболеваний. По мере развития технологий микророботов ожидается, что они станут все более важным инструментом в медицинской практике.

Список литературы

1. Zhang. F. Nanoparticle-modified microrobots for in vivo antibiotic delivery to treat acute bacterial pneumonia // Nature Materials. 2022, vol. 21, pp. 1324-1332. doi: 10.1038/s41563-022-01360-9.
2. Ye M. Magnetic Microrobots with Folate Targeting for Drug Delivery // Cyborg and Bionic Systems. 2023, vol. 4, doi: 10.34133/cbsystems.0019.
3. Городецкий А.Е. Управляемый микроробот для перемещения в сосудах человека // Информационно-управляющие системы. – 2019. – № 4(101). – С. 38-44. – DOI: 10.31799/1684-8853-2019-4-38-44.
4. Akolpoglu B. Magnetically steerable bacterial microrobots moving in 3D biological matrices for stimuli-responsive cargo delivery // ACS Applied Materials & Interfaces. 2022, vol. 8. doi: 10.1126/sciadv.abо6163.
5. Михайдаров Д.Э. Особенности использования роевой робототехники // Мехатроника, автоматика и робототехника. – 2023. – № 11. – С. 39-42. – DOI 10.26160/2541-8637-2023-11-39-42.
6. Nauber R. Medical microrobots in reproductive medicine from the bench to the clinic // Nature Communications. 2023, vol. 4. DOI: 10.1038/s41467-023-36215-7.

Сведения об авторах:

Скоробогатов Олег Алексеевич – студент;

Дмитриев Никита Владимирович – старший преподаватель кафедры «Мехатроника».