

УДК 537.636

ФЕРРОМАГНИТНЫЕ ПРОГРАММИРУЕМЫЕ МЯГКИЕ РОБОТЫ ДЛЯ МИНИМАЛЬНО ИНВАЗИВНОЙ ТРОМБОЭКСТРАКЦИИ

Пожиткова А.В. (Университет ИТМО), Кладько Д.В. (Университет ИТМО)

Научный руководитель – д.х.н., доцент Виноградов В.В.

(Университет ИТМО)

В данной работе рассмотрен программируемый магнитный мягкий робот с эффектом памяти для минимально инвазивной тромбоэкстракции *in vitro*. Была разработана методика приготовления и программирования данного материала для получения необходимой формы под действием магнитного поля, оценены параметры движения робота в жидкости. Далее была продемонстрирована применимость разработанной системы для задач тромбоэкстракции *in vitro*.

Введение.

Заболевания, связанные с тромбозами, являются основной причиной смертности в мире. Однако, современные методы лечения тромбоза (баллонная ангиопластика, стент-ретривер и др.) обладают недостатками, приводящими к значительным негативным последствиям, таким как инфекция, миграция и повторное образование тромба, кровотечение и внутренние повреждения сосудов. Таким образом, разработка эффективного и безопасного минимально инвазивного лечения тромбоза по-прежнему является актуальной задачей на сегодняшний день.

Основная часть.

В контексте данной проблемы мягкие магнитные роботы с эффектом памяти вызывают широкий интерес ввиду возможности их дистанционного управления с помощью магнитных полей, мягкого не травмирующего материала и их быстрого реагирования.

Идея нашей работы заключается в том, чтобы ввести такой магнитный материал в модельный венозный сосуд и доставить его до фибринового тромба с помощью внешнего магнитного поля. Затем мы с помощью магнитного поля изменим форму нашего робота с обычной полоски на спираль, которая является наиболее подходящей для нашей задачи, чтобы «пробурить» тромб. Таким образом, с помощью вращающегося магнитного поля мы зацепим тромб, а затем извлечем его из системы, имитирующей венозный сосуд.

Предлагаемый робот состоит из эластомерной матрицы, содержащей ферромагнитные наночастицы и полимер с фазовым переходом. Данный мягкий материал может изменять свою форму под действием магнитного поля на ту, которая была задана ранее посредством специального процесса перепрограммирования картин намагниченности. Этот подход включает в себя нагрев робота до температуры плавления полимера (PEG – полиэтиленгликоль) для свободного вращения магнитных частиц в силиконовой эластомерной матрице. Следующим шагом является расположение нагретого материала в специально разработанной магнитной установке, имеющей соответствующую топологию поля для программирования робота в желаемую форму. Приложенные магнитные поля меняют направления магнитных доменов в матрице, тем самым придавая материалу определенную желаемую картину намагниченности. Охлаждаясь до температуры ниже температуры плавления полимера, материал фиксирует свои магнитные домены в определенных направлениях.

Выводы.

В результате был подобран оптимальный состав робота, разработан дизайн и методика приготовления и программирования магнитного материала. Материал и его состав были полностью охарактеризованы различными физико-химическими методами.

Работа экспериментально подтверждает, что магнитный робот данного состава может быть перепрограммирован и использован для тромбэкстракции *in vitro*. Эксперименты с фибриновыми тромбами показали, что тромбэкстракция возможна примерно за 4 минуты.

Такие результаты открывают новые возможности для разработки малоинвазивного метода лечения тромбоза, который будет менее травмирующим и более безопасным для пациентов.

Данная работа была выполнена при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 21-73-10150).

Пожиткова А.В. (автор)

Виноградов В.В. (научный руководитель)