

Разработка умной иглы для пункции полостной системы почки

**Вотчинников Н. А.¹, Зыкина А. А.¹, Алейник А. С.¹
Научный руководитель – канд. техн. наук Плясов С. А.¹**

¹Университет ИТМО
nvotchinnikov@yandex.ru

Работа выполнена в рамках темы НИОКТР №425048 «Разработка умной иглы для пункции полостной системы почки».

Введение

Пункция почки является одним из ключевых приложений медицинского направления малоинвазивных вмешательств. Неточное введение иглы может привести к кровотечениям и травмированию окружающих органов, а сложная анатомия почки затрудняет навигацию пункционной иглы при введении в полостную систему. Применяемые сегодня методы контроля — ультразвуковое и рентгенологическое сопровождение — имеют ряд ограничений, включая двухмерность изображения и его недостаточную чёткость. Даже при ультразвуковой навигации врачу сложно визуализировать глубинные структуры органов и удерживать иглу по строго заданной траектории. В связи с этим особую актуальность приобретают современные решения, обеспечивающие автоматизированную навигацию, сенсорный мониторинг и обратную связь в реальном времени [1].

Проект «Разработка умной иглы для пункции полостной системы почки» направлен на создание медицинского устройства нового поколения, сочетающего традиционные функции пункционной иглы с интеллектуальными датчиками, анализирующими электрические свойства тканей. В основе технологии лежит импедансная спектроскопия — метод, позволяющий идентифицировать тип биологической ткани по показателям её электропроводности и ёмкости. Предполагается, что такое решение повысит точность позиционирования иглы во время вмешательства, снизит риск повреждения сосудов и соседних органов, а также увеличит вероятность успешного первичного прокола.

Основная часть

Проект ориентирован на разработку компактного медицинского устройства, объединяющего стандартную пункционную иглу и систему измерения импеданса на её кончике с обработкой сигнала в реальном времени. Такое решение рассматривается как перспективный инструмент, дополняющий визуальный контроль и снижающий неопределённость при поиске полости почки. Ключевые технические требования включают измерение комплексного импеданса с временем отклика не более 0,3 с. и величиной измерительного тока не более 1 мА в диапазоне частот от 100 Гц до 100 кГц при диаметре иглы с диэлектрическим защитным покрытием от 0,5 до 1,5 мм.

В основе предлагаемой технологии лежит регистрация факта попадания в полостную систему почки методом импедансной спектроскопии. Принцип заключается в анализе электрического отклика от дистального конца иглы при воздействии синусоидального электрического поля заданной частоты.

В качестве чувствительного элемента использована стандартная биопсийная игла калибра 20G. На её стержень нанесено покрытие из полипараксилилена толщиной 15 мкм. Для подачи электрического сигнала и регистрации отклика реализованы омические контакты: один подключен к наружному цилиндру у основания иглы, второй — соединён с внутренней частью иглы посредством прижимного винтового контакта.

Для экспериментальной оценки работоспособности макета использовались следующие образцы:

- фрагмент грудной части свиньи, включающий кожу, жировую прослойку и мышечную ткань;
- бычья почка с мочеточником, через который в полостную систему вводился физиологический раствор.

Для обработки сигнала был создан исследовательский макет на базе платы Red Pitaya, обеспечивающей частоту дискретизации до 2 МГц при разрядности ЦАП/АЦП 14 бит [2]. С использованием данной платформы выполнены исследования электрических свойств экспериментальных образцов.

Выводы

Эксперименты, проведённые с применением макета на базе платы Red Pitaya, продемонстрировали наличие корреляции между типом биологической ткани и значениями действительной и мнимой составляющих её импеданса в доступном частотном диапазоне (от 1 кГц до 1 МГц). Так, средний импеданс мышечной ткани составил 37,5 Ом, жировой ткани – 40 Ом, почки – 41 Ом, при введении в полость почки – 36,5 Ом, при введении в полость, заполненной физиологическим раствором – 31 Ом.

Таким образом, подтверждены различия показателей импеданса для мышечной и жировой тканей, ткани почки, а также почечной полости, заполненной физиологическим раствором. Кроме того, установлена зависимость импеданса от глубины введения иглы в многослойный образец (жировая, мышечная и почечная ткани): при переходе кончика иглы из одного типа ткани в другой фиксируется скачкообразное изменение измеряемых параметров. Для определения надёжных порогов различения тканей по биоимпедансным характеристикам требуется формирование статистически значимой выборки данных.

Дальнейшее развитие проекта предусматривает совершенствование конструкции контактной группы иглы с возможностью её замены и улучшением электрических параметров, разработку оснастки для установки иглы в ультразвуковой датчик, создание аналогового приёмного тракта с обеспечением надёжной гальванической изоляции измерительной части от объекта исследования, оптимизацию измерительного модуля, а также разработку программного обеспечения для автоматического распознавания типов тканей и системы отображения результатов измерений.

Примечание. При написании данной статьи использован искусственный интеллект для стилистической коррекции текста и проверки грамматики.

Литература

1. Halonen S., Kari J., Ahonen P., Kronstrom K., Hyttinen J. Real-Time Bioimpedance-Based Biopsy Needle Can Identify Tissue Type with High Spatial Accuracy // *Annals of Biomedical Engineering*. 2019. Vol. 47, no. 3. P. 836–851. <https://doi.org/10.1007/s10439-018-02187-9>.
2. Ruiz-Vargas A., Arkwright J. W., Ivorra A. A Portable Bioimpedance Measurement System Based on Red Pitaya for Monitoring and Detecting Abnormalities in the Gastrointestinal Tract. // 2016 IEEE EMBS Conference on Biomedical Engineering and Sciences (IECBES). Kuala Lumpur, Malaysia, 2016. P. 150–154.

Вотчинников Н. А. _____

Зыкина А. А. _____

Алейник А. С. _____