

Моделирование пьезоэлектрических микрочастиц с использованием ии для ультразвуковой нейростимуляции

Муравьев Я. А.¹

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук- Проскурин А. А.¹

¹Университет ИТМО

yaroslav.muravev.work@yandex.ru

Введение

Стимуляция мозга является эффективным подходом к лечению неврологических и психиатрических заболеваний, однако существующие методики (tDCS, TMS) недостаточно точны, а инвазивные несут хирургические риски [1]. Наиболее перспективная методика на данный момент является транскраниальная фокусированная ультразвуковая стимуляция (tFUS), однако ключевой проблемой остается недостаточная пространственная локализация ультразвукового излучения. В рамках данной работы предлагается использовать биоразлагаемые пьезоэлектрические частицы, генерирующие электрическое поле при возбуждении акустической волной, способное воздействовать на мембранный потенциал нейронов. Целью работы является оптимизация геометрических параметров резонатора из биоразлагаемого материала для создания разности потенциалов, достаточной для открытия механочувствительных каналов.

Основная часть

Для оптимизации параметров пьезоэлектрического резонатора с целью неразрушающего возбуждения нейронов нами были применены методы анализа данных, что позволило решить следующие задачи:

- 1) Генерация параметрического датасета на основе численного моделирования методом конечных элементов с помощью пакета COMSOL Multiphysics. Варьируются геометрические параметры модели резонатора в форме цилиндра радиус в диапазоне от 5 до 20 мкм и высота от 3 до 10 мкм, что соответствует физиологически реалистичным размерам сомы нейрона. Для каждого сочетания параметров при фиксированных характеристиках падающего поля рассчитывается распределение электрического потенциала на торцах цилиндра. Полученный массив данных включает как статические значения (амплитуда напряжения, ёмкость системы), так и спектральные характеристики отклика.
- 2) Построение аппроксимационной модели, связывающей геометрию цилиндра с величиной генерируемого напряжения. По построенному ранее параметрическому датасету формируется обучающая выборка, на которой с помощью методов регрессионного анализа и нейросетевых аппроксиматоров строится метамодель [2]. Проводится сравнение различных подходов с целью определения наиболее точной аппроксимации.

3) Оптимизация геометрических параметров цилиндра при ограничениях, накладываемых размерами нейрона и технологией изготовления микрочастиц. Полученные оптимальные размеры используются для построения модели в COMSOL Multiphysics и получения точного распределения электрического потенциала в области контакта с мембраной, что позволяет количественно оценить степень деполяризации нейрона и вероятность активации механочувствительных каналов [3].

Выводы

Были определены оптимальные геометрические параметры биоразлагаемого пьезоэлектрического резонатора, обеспечивающие генерацию разности потенциалов, достаточную для уменьшения порога потенциала действия, что подтверждает принципиальную возможность применения предложенной конструкции для задач нейромодуляции.

Литература

1. Vagus nerve stimulation in brain diseases: Therapeutic applications and biological mechanisms / Y. Wang, H. Zhan, L. Zhang [et al.] // *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*. – 2021. – Vol. 127. – P. 37-53. – ISSN 0149-7634.
2. Hastie T. *The Elements of Statistical Learning* / T. Hastie, R. Tibshirani, J. Friedman. – New York : Springer, 2009. – 745 p. – ISBN 9780387848587.
3. Zhang Y. A Novel Triple-gate Model for Mechanosensitive Ion Channel Piezo1 / Y. Zhang, Q. Zou // 2022 10th International Conference on Bioinformatics and Computational Biology (ICBCB), 20-23 May 2022, Hangzhou, China. – [Piscataway] : IEEE, 2022. – P. 135-141.