

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОСЕНСОРОВ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ОСЛОЖНЕНИЙ ПОСЛЕ ЭНДОПРОТЕЗИРОВАНИЯ

Остапюк С.И., Преснова Е.С.

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), Москва

Ключевые слова: электрохимический биосенсор, оптический биосенсор, пьезоэлектрический биосенсор, тепловой биосенсор, эндопротезирование, биомаркер, имплант.

Аннотация. В статье исследуется потенциал биосенсоров для раннего выявления осложнений после эндопротезирования. Рассматривается способность этих датчиков обнаруживать и измерять биомаркеры, которые указывают на воспалительные процессы и инфекции в организме. В исследовании также анализируется потенциальная интеграция биосенсоров в послеоперационный уход и ее влияние на результаты лечения и качество жизни пациентов.

THE USE OF BIOSENSORS FOR THE DIAGNOSIS OF COMPLICATIONS AFTER ENDOPROSTHETICS

Ostapuyuk S.I., Presnova E.S.

Moscow Aviation Institute, Moscow

Keywords: electrochemical biosensor, optical biosensor, piezoelectric biosensor, thermal biosensor, endoprosthetics, biomarker, implant.

Abstract. The paper explores the potential of biosensors for the early detection of complications following endoprosthetic surgery. It examines the ability of these sensors to detect and measure biomarkers that indicate inflammatory processes and infections within the body. The study also analyzes the potential integration of biosensors into postoperative care and its impact on treatment outcomes and patient quality of life.

Введение

Эндопротезирование крупных суставов (тазобедренный и коленный) – эффективный способ лечения артрита и травм, что позволяет значительно повысить качество жизни пациентов. Но, несмотря на огромные достижения в области хирургии и материаловедения, процедура сопряжена с риском возникновения таких осложнений, как инфекции, асептическое расшатывание протеза, периимплантный остеолит, вывихи и тромбоэмболические осложнения, которые могут привести к необходимости повторных операций, снижению функциональности и ухудшению общего состояния здоровья пациента. Ранняя и точная диагностика осложнений после эндопротезирования имеет критическое значение для своевременного и эффективного лечения.

Традиционные методы диагностики, такие как рентгенография, лабораторные анализы (например, СОЭ и С-реактивный белок) и пункционная биопсия, имеют свои ограничения по чувствительности, специфичности и срокам выполнения. В частности, для раннего выявления инфекционных осложнений эти методы часто оказываются недостаточно информативными, что может привести к задержкам в установлении диагноза и начале лечения. В последние годы активно развиваются новые методы диагностики, направленные на повышение точности и

скорости обнаружения осложнений. Наиболее перспективным направлением являются биосенсоры — аналитические устройства, использующие биологические компоненты, такие как: антитела, ферменты и нуклеиновые кислоты, для выявления целевых веществ (биомаркеров) в биологических жидкостях. Биосенсоры обладают потенциалом для обеспечения высокочувствительной, быстрой и минимально инвазивной диагностики [1].

Виды биосенсоров

1. Электрохимические

Принцип работы основан на измерении электрических параметров (ток, напряжение, сопротивление), изменяемых при реакции между биологической молекулой и сенсором. Такие устройства особенно популярны из-за их высокой чувствительности и компактности.

Применение: выявление воспалительных маркеров, таких как С-реактивный белок (CRP), интерлейкин-6 (IL-6), прокальцитонин.

2. Оптические

Используют световые явления (например, флуоресценцию, поглощение, отражение) для определения целевых молекул. Они обеспечивают высокую точность и скорость анализа.

Применение: мониторинг инфекционных агентов, а также других биомолекул в синовиальной жидкости.

3. Пьезоэлектрические

Работают на основе изменений массы на поверхности сенсора, преобразующихся в электрический сигнал. Это подход особенно эффективен для диагностики процессов, связанных с деградацией и биоинтеграцией имплантата.

Применение: оценка стабильности эндопротеза, сосудистого роста вокруг имплантата.

4. Тепловые

Реагируют на тепловые изменения, возникающие в ходе химических реакций между целевой молекулой и биосенсорным элементом, что также можно использовать для диагностики воспалительных процессов.

Применение: выявление маркеров бактериальной инфекции в тканях вокруг протеза [2].

Оценка интеграции протеза с помощью биосенсоров

Биосенсоры дают возможность мониторить биомаркеры, связанные с процессом заживления, реакцией на имплантат и потенциальными осложнениями, прямо в области контакта протеза с костной тканью или в соседних биологических жидкостях. Основное достоинство данного подхода - возможность получения актуальной информации о состоянии тканей вокруг имплантата. Это позволяет отслеживать динамику процессов заживления и выявлять отклонения от нормального течения событий еще до появления клинических симптомов.

Биосенсоры способны количественно оценивать биомеханическую среду, фиксируя физические параметры, такие как сжатие, сдвиг или растяжение, температуру и давление. Биохимические сенсоры обычно отслеживают наличие или концентрацию определённых биомаркеров, включая клетки, молекулы, и

белки. К распространённым биологическим жидкостям, используемым для биохимических датчиков, относятся моча, пот, сыворотка крови или локальные жидкости вокруг опорно-двигательного аппарата, например синовиальная жидкость в области коленных суставов, подверженных остеоартриту – дегенеративному заболеванию суставного хряща и кости [2].

В рамках эндопротезирования пьезоэлектрические биосенсоры могут быть встроены непосредственно в имплантат или установлены вне него для мониторинга деформаций, вибраций и других механических характеристик, возникающих в области контакта протеза с костной тканью. При успешной остеоинтеграции нагрузка на протез распределяется равномерно, а механические параметры, такие как частота и амплитуда вибраций во время ходьбы или других движений, остаются стабильными на протяжении длительного времени. В противном случае, при недостаточной остеоинтеграции или наличии воспалительных процессов в области имплантата, механическая нагрузка может распределяться неравномерно, что приводит к увеличению деформаций, изменению частоты и амплитуды вибраций, а также может вызвать трение между протезом и костью [3].

Вывод

Биосенсоры – устройства, способные обнаруживать и количественно оценивать биомаркеры воспалительных и инфекционных процессов. Интеграция биосенсоров в послеоперационный уход может существенно улучшить исходы лечения и повысить качество жизни пациентов.

Таким образом, использование биосенсоров в диагностике осложнений после эндопротезирования повышает безопасность и эффективность хирургического лечения, а также ведет к развитию персонализированного подхода в реабилитации пациентов.

Список литературы

1. Kylie E.Nash, Keat Ghee Ong, Robert E. Guldberg. Implantable biosensors for musculoskeletal health // *Connective Tissue Research*. 2022, vol. 63, pp. 228-242.
2. Brett S. Klosterhoff, Melissa Tsang, Didi She, Keat Ghee Ong, Mark G. Allen, Nick J. Willett, Robert E. Guldberg. Implantable Sensors for Regenerative Medicine // *Journal of Biomechanical Engineering*. 2017, vol. 139, pp. 16-27.
3. Hatice Ceylan Koydemir¹ and Aydogan Ozcan. Wearable and Implantable Sensors for Biomedical Applications // *Annual Reviews of Analytical Chemistry*. 2018, vol. 11, pp. 127-46.

Сведения об авторах:

Остатюк София Ивановна – инспектор дирекции института «Материаловедения и технологии материалов»;

Преснова Елизавета Сергеевна – инспектор отдела по работе с образовательными учреждениями.