

Митин А.А.

## Обзор электрохимических датчиков для джоульметрического исследования биологических объектов

В настоящее время одной из важных задач медицины является оценка состояния биологических тканей и жидкостей. Практически при каждом заболевании необходимы диагностика на ранних стадиях и выбор оптимальной тактики лечения. Существующие в настоящий момент методы оценки состояния биологических объектов (рентгенологические, радионуклидные, ультразвуковые, компьютерная томография, магниторезонансная томография) накладывают ограничения, связанные с большими размерами применяемой аппаратуры, ее высокой стоимостью, оказанием на человека лучевой нагрузки, низкой чувствительностью, невысокой информативностью, и т. д. В связи с этим перед разработчиками медицинской аппаратуры стоит вопрос создания приборов контроля состояния биологических объектов, реализующих новые методы, лишенные большинства из вышеперечисленных недостатков.

В последнее время в качестве решения поставленной задачи стали применять электрохимические методы анализа, которые основаны на измерении электрических параметров биологических объектов при пропускании через них электрического тока. Основные достоинства данных методов заключаются в простоте реализации, низкой стоимости аппаратуры, оперативности использования, безопасности для здоровья человека.

Один из новых и наиболее перспективных методов – джоульметрический. Он основан на изучении свойств объектов путем наблюдения за их откликом на внешнее электрическое воздействие. Для этого в исследуемый объект вводятся электроды, и система «электрод – объект – электрод» становится неким датчиком, способным характеризовать свойства среды, заключаемой в образуемом межэлектродном пространстве. В качестве регистрируемых параметров наиболее часто при этом выступают значения пропускаемого через

электроды тока и вызванного им падения напряжения на электродах во время электрического воздействия. По существу речь идет о снятии вольтамперных характеристик. Суть данного метода в том, что происходящие в тканях и органах патологические процессы (воспаление, новообразования) вызывают изменение их электрохимических свойств. Таким образом, зная характеристики здоровых тканей, при помощи данного метода можно с высокой точностью определять границы патологий.

В основу джоульметрического метода контроля состояния биологических объектов положено соответствие между работой, совершаемой внешним источником электрической энергии, и изменением состояния исследуемого объекта [1]. Если в качестве внешнего воздействия использовать ток  $I(t)$ , а в качестве параметра, характеризующего состояние объекта, изменение межэлектродного напряжения  $U(t)$  во времени, то значения затраченной работы  $A(t)$  на временном интервале от  $t_0$  до  $t$  можно определить на основании следующей зависимости:

$$A(t) = \int_{t_0}^t I(t)U(t)dt.$$

При этом наличие значений входного воздействия и отклика в виде набора выходных переменных позволяет определять передаточную функцию исследуемой системы и идентифицировать параметры элементов принятых эквивалентных схем замещения.

Расширение возможностей применения джоульметрии в системах распознавания образов связано с увеличением количества формируемых информативных признаков. Один из вариантов решения этой проблемы связан с декомпозицией обобщенного значения работы на отдельные составляющие и использованием их в качестве самостоятельных признаков (рис. 1).

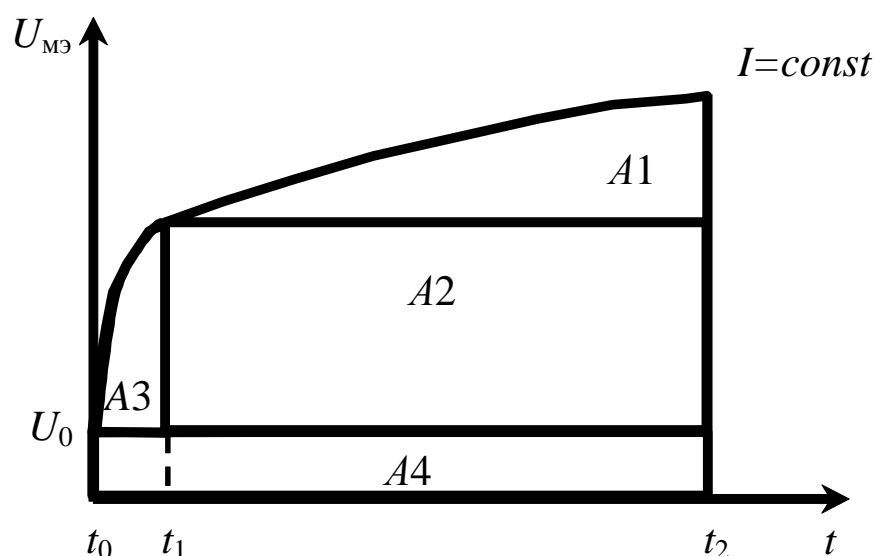


Рисунок 1. Графическая интерпретация джоульметрического декомпозиционного метода

Если принять значение  $t_1$  за момент окончания процесса заряда двойного электрического слоя, значение  $t_2$  за момент окончания процесса электрохимических реакций и значение  $U_0$  за падение напряжения на электрохимической ячейке в момент коммутации тока, то согласно рисунку общая работа, совершенная током  $I$ , складывается из следующих компонент:

- $A1$  - характеризует активность электрохимических реакций;
- $A2$  - характеризует сопротивление электрохимической реакции;
- $A3$  - характеризует емкость двойного электрического слоя и
- $A4$  - характеризует межэлектродное сопротивление.

В электродных реакциях носитель заряда (ион или электрон) переходит через ионный двойной слой из одной фазы в другую. На его переход затрачивается определенная энергия. При этом он преодолевает потенциальный барьер. В свою очередь, потенциальный барьер зависит от разности потенциалов, возникающей между электродом и электролитом при пропускании через них тока. При одновременном протекании нескольких электродных реакций устанавливается некоторый смешанный потенциальный барьер, отличающийся от барьера каждой реакции в отдельности [2]. Очевидно, что наибольшей вероятностью вступления в реакции будут обладать частицы,

потенциальный барьер которых не превышает значений потенциального барьера формируемого, при заданном значении тока. Такое поведение частиц создает основу для управления электрохимическими реакциями по потенциальному барьеру.

В этой связи для решения поставленной задачи на кафедре «Медицинские приборы и оборудование» Пензенского государственного университета был разработан и внедрен в практику метод джоульметрии [1].

Метод используется для оценки активности внутриполостных воспалительных процессов, воспалительных процессов в лобных и клиновидных пазухах, для контроля формирования костного регенерата, а также для диагностики состояния биологических объектов и реализации тканесохраняющих методик проведения операций с 1994 года. В основу метода джоульметрии положена оценка значений работы, затрачиваемой внешним источником электрической энергии, на электрохимические преобразования в межэлектродном пространстве двухэлектродного датчика, размещаемого в исследуемой физиологической жидкости (биоткани). Для реализации данного метода был создан ряд портативных приборов.

Одна из основных проблем при реализации джоульметрического метода исследования свойств тканей человека – выбор типа и конструкции зондового датчика. Основным элементом датчика является система «электрод–биообъект–электрод». Свойства биологического объекта определяют прохождение сигнала между электродами. Границы раздела между электродами можно представить эквивалентной электрической цепью, либо передаточной функцией, учитывающей процессы переноса заряда в двойном электрическом слое вблизи поверхностей электродов, диффузии, кристаллизации и протекания электрохимических реакций.

Существует несколько вариантов конструктивного исполнения электрохимических датчиков. Выбор датчика и типа используемых электродов

обусловлен различными факторами и зачастую связан с возможностью их изготовления.

В ряде электрохимических методов для исследования биологических объектов используется ртутно-капельный электрод. Его основное достоинство – постоянно обновляющаяся поверхность электрода. Однако при решении задач определения границ резекции новообразований и оценки динамики внутриполостных воспалительных процессов использование этого метода ограничено условиями контроля, а также токсичностью ртути. В связи с этим в дальнейшем будут рассматриваться конструкции датчиков с твердыми электродами, которые способны без деформации проникать в достаточно плотные структуры биологических тканей.

Как правило, электроды выполняются из серебра, золота, платины и углерода.

На рисунке 1 приведена конструкция двухэлектродного датчика, предназначенного для оценки динамики внутриполостных воспалительных процессов. Его особенность заключается в том, что электроды размещены на конце силиконовой трубки Каншина, используемой при дендрировании абсцессов.

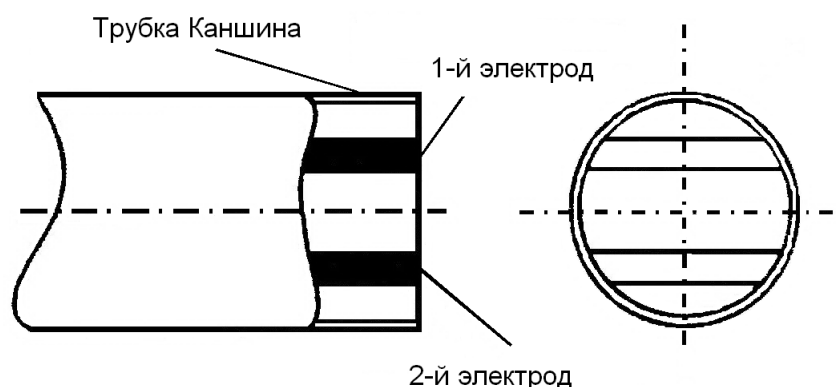


Рисунок 1. Конструкция датчика для оценки динамики внутриполостных воспалительных процессов.

На рисунке 2 приведена конструкция игольчатого датчика для оценки параметров биологических тканей.

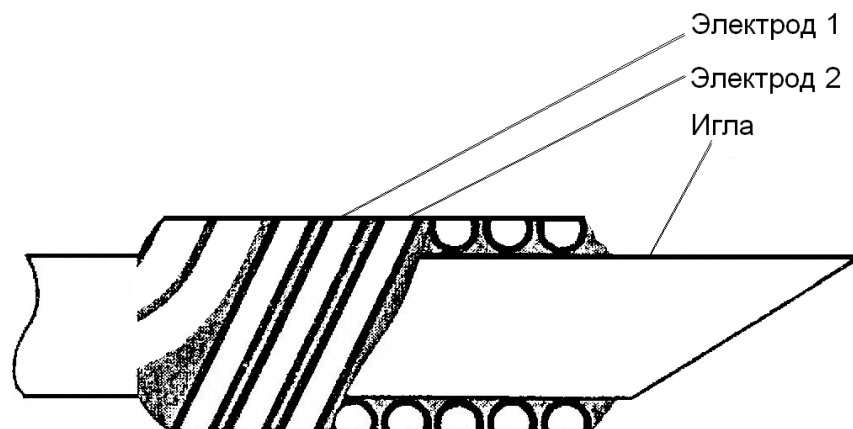


Рисунок 2. Конструкция игольчатого датчика для оценки параметров биологических тканей

Датчик содержит электроды, которые выполнены в виде двух изолированных серебряных проводов, намотанных параллельно друг другу с равномерным шагом на изолированную поверхность иглы. Такая конструкция датчика снижает травматичность при введении его в исследуемый орган.

Для определения границ резекций новообразования используется матричный датчик, изображенный на рисунке 3.

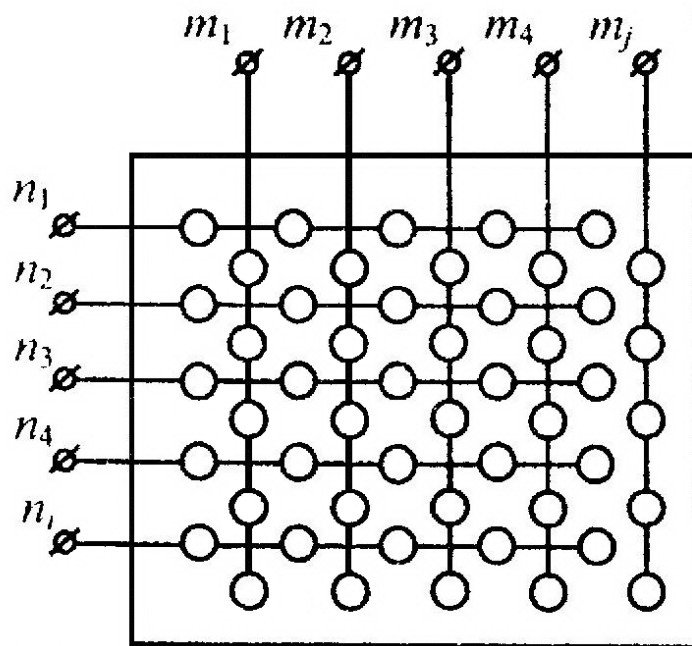


Рисунок 3. Конструкция матричного датчика для оценки параметров биологических тканей

Отличительная особенность этого датчика заключается в расположении микроэлектродов на плоской поверхности в виде контактных площадок, соединенных  $n_j$  горизонтальных и  $m_j$  вертикальных полос. Схема подключения матричного датчика приведена на рисунке 4. Каждая контактная площадка горизонтальных полос коммутируется с площадками вертикальных полос. В результате обработки данных становится возможным получение данных о распределении значений параметров относительно оцениваемой поверхности.

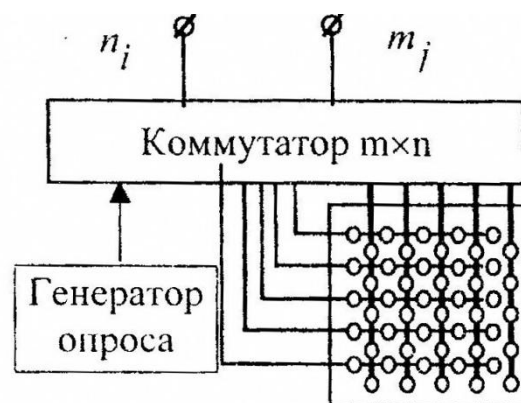


Рисунок 4. Схема подключения матричного датчика.

Основной недостаток твердых электродов заключается в загрязнении их поверхности и образовании пленки из продуктов реакций в процессе работы. Кроме того, с течением времени электроды могут адсорбировать поверхностно-активные вещества. Это ухудшает воспроизводимость результатов. В связи с этим необходимо проводить тщательную предварительную механическую обработку поверхности электродов перед началом их использования.

Одним из перспективных направлений развития датчиков для джоульметрических исследований связано с применением модифицированных электродов. В их конструкции предполагается наличие на поверхности электродов многослойного или субмногослойного покрытия. В качестве материала покрытия используются полимеры. В настоящее время разработаны методы химической полимеризации соответствующих мономеров с образованием сцепленных с поверхностью редкос-полимерных пленок. Подбором соответствующих пленок достигается настройка датчика на конкретные электрохимические реакции.



*Библиографический список*

1. Волчихин В.И., Геращенко С.И., Геращенко С.М. Джоульметрические медицинские приборы и системы. М.: РАН, 2008. 131 с.