

Пинкольский Павел Мирославович

**АВТОНОМНЫЕ ЭЛЕКТРОСТИМУЛЯТОРЫ ЖЕЛУДОЧНО-
КИШЕЧНОГО ТРАКТА С ЭНДОИОНОФОРЕЗОМ
МИКРОЭЛЕМЕНТОВ И МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ ИХ
ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ**

Специальность 05.11.17. – «Приборы, системы и изделия медицинского назначения»

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР)»

Научный руководитель: доктор технических наук,
профессор, Агафонников Виктор Филиппович

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор, Авдеева Диана Константиновна

кандидат технических наук,
Чухланцева Марина Михайловна

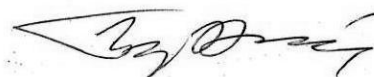
Ведущая организация: Научно-исследовательский
институт медицинских материалов
и имплантатов с памятью формы

Защита состоится « 7 » февраля 2012г. в 15-00 на заседании совета по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Д 212.269.09 при Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования Национальный исследовательский Томский политехнический университет по адресу: 634028, г. Томск, ул. Савиных, 7, ауд. 215 (актовый зал)

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО Национальный исследовательский Томский политехнический университет по адресу: 634034, г. Томск, ул. Белинского, 55

Автореферат разослан « » декабря 2011 г.

Ученый секретарь
совета по защите
докторских и кандидатских диссертаций
к.т.н., доцент



Б.Б. Винокуров

Актуальность работы

Существующие методы электрической стимуляции в определенной степени сложны и требуют участия специально подготовленного медицинского персонала, а самое главное, они не обеспечивают последовательной электростимуляции всех отделов желудочно-кишечного тракта.

Поэтому разработку и создание принципиально новой стимулирующей аппаратуры и методик ее применения как отдельно, так и в комплексной терапии больных с нарушением моторно-эвакуаторной функции желудочно-кишечного тракта следует считать актуальной задачей медицинской науки и здравоохранения.

До 75% абдоминальных хирургических операций сопровождается парезами желудочно-кишечного тракта. Попытки восстановления нарушенной моторно-эвакуаторной функции ЖКТ с помощью электрической стимуляции предпринимались еще в XIX веке, однако более эффективно она стала применяться для этой цели в последние годы, с накоплением научных сведений по электрофизиологии гладкой мускулатуры.

В связи с перспективностью практического применения АЭСЖКТ дальнейшая работа по совершенствованию его конструкции и расширению функциональных возможностей представляется целесообразной.

Цель работы

- Создание новых модификаций АЭСЖКТ с эндоионофорезом Se, Ca, I и внедрение их в медицинскую практику.
- Разработка экспериментального образца портативного индикатора функционирования ИФЭС.
- В процессе выполнения работы использовались теоретические и экспериментальные методы. При решении поставленных задач использован метод математического моделирования диффузионных процессов.

Задачи исследования

Для достижения поставленной цели потребовалось решить следующий задачи:

- привести анализ технологии нанесения микроэлементов на существующие АЭСЖКТ с эндоионофорезом Zn, Cr, Cu, чтобы можно было предложить новый способ нанесения микроэлементов на электроды АЭСЖКТ;

- изучить возможность термического напыления Se на АЭС ЖКТ;
- проанализировать результаты клинических испытаний АЭСЖКТ-Se;
- разработать новую конструкцию АЭСЖКТ для введения микроэлементов Са, I в организм, которые невозможно нанести на электрод не электрохимически, не напылением в вакууме;
- разработать малогабаритный, простой в применении прибор для индикации функционирования АЭСЖКТ как до применения, так и в процессе нахождения его в ЖКТ.

На защиту выносятся следующие положения:

- Технология эндоионофореза для введения микроэлементов с помощью автономного электростимулятора желудочно-кишечного тракта в живой организм;
- Математическая модель диффузионных процессов при наличие электрического поля;
- Методика оценки работоспособности стимуляторов с помощью малогабаритного индикатора функционирования АЭСЖКТ.

Научная новизна

- Доказано практическое значение введения микроэлемента селена с помощью АЭСЖКТ, как на животных, так и на человеке;
- Экспериментально оценена методика введения Са, I при помощи пористого никелида титана;
- Рассмотрено влияние на процессы диффузии в зависимости от типа материала электрода и конструкции АЭС ЖКТ.

Практическая значимость

- Разработаны и изготовлены новые изделия «Автономный электростимулятор желудочно-кишечного тракта-Se», «Автономный электростимулятор желудочно-кишечного тракта-Са», «Автономный электростимулятор желудочно-кишечного тракта-I»;
- Создан простой в управлении, малогабаритный индикатор функционирования АЭСЖКТ и защищен патентом;

- Получено разрешение МЗ РФ на серийное производство и применение в медицинской практике АЭСЖКТ-Se (ТУ 9444-018-07543077-2007);

- Подготовлен проект конструкторской документации на индикатор функционирования АЖСЖКТ.

Автор диссертации выполнил следующую работу

- Отработана технология нанесения Se на электрод АЭСЖКТ;
- Оформлен комплект КД на индикатор функционирования АЭСЖКТ;
- Проведены экспериментальные исследования диффузии Са, I с экспериментальных образцов АЭСЖКТ;
- Проведены клинические испытания АЭСЖКТ-Se;
- Выполнил математическое моделирование процессов диффузии при наличии электрического поля и при его отсутствии.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Первая глава посвящена обзору электростимуляции желудочно-кишечного тракта. Восстановлению нарушенной моторно-эвакуаторной функции желудочно-кишечного тракта с помощью электрической стимуляции (ЭС) проводились еще в конце XIX века, однако более успешно она стала применяться с накоплением научных сведений по электрофизиологии гладкой мускулатуры.

Традиционные методы, способы применения и аппаратура позволяют восстановить угнетенную функцию ЖКТ в основном рефлекторным путем, поскольку электроды, посредством которых подводятся электрические импульсы, обычно локализованы в каком-то одном месте на стимулируемом органе, а прямой эффект электрического импульса на гладкую мускулатуру возможен на небольшом удалении от электрода. При этом исключается периодичность моторной функции органа, так как он находится под воздействием электрических импульсов вплоть до отключения аппарата. Кроме того, при длительном воздействии электрическими импульсами на один и тот же участок гладких мышц полых органов может иметь место запредельное торможение, когда вместо эффекта усиления моторики наблюдается еще большее ее угнетение, а также повреждение тканей.

Решению данной проблемы способствовало создание принципиально нового устройства для стимуляции ЖКТ – автономного электростимулятора (АЭС) желудочно-кишечного тракта. Разработка базовой модели АЭС в виде глотаемой капсулы осуществлена совместными усилиями ученых и инженеров Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники, Сибирского государственного медицинского университета, НИИ Полупроводниковых приборов (г. Томск), Новосибирского завода полупроводниковых приборов.

Отчетливое повышение местной моторной активности регистрировалось уже через 5-10 минут от начала стимуляции.

Применение АЭС обеспечивает ряд существенных преимуществ по сравнению со стационарными аппаратами: во-первых, полностью исключается возможность поражения пациента электрическим током; во-вторых, пациент не «привязан» к стационарному аппарату и, в принципе, может заниматься своей

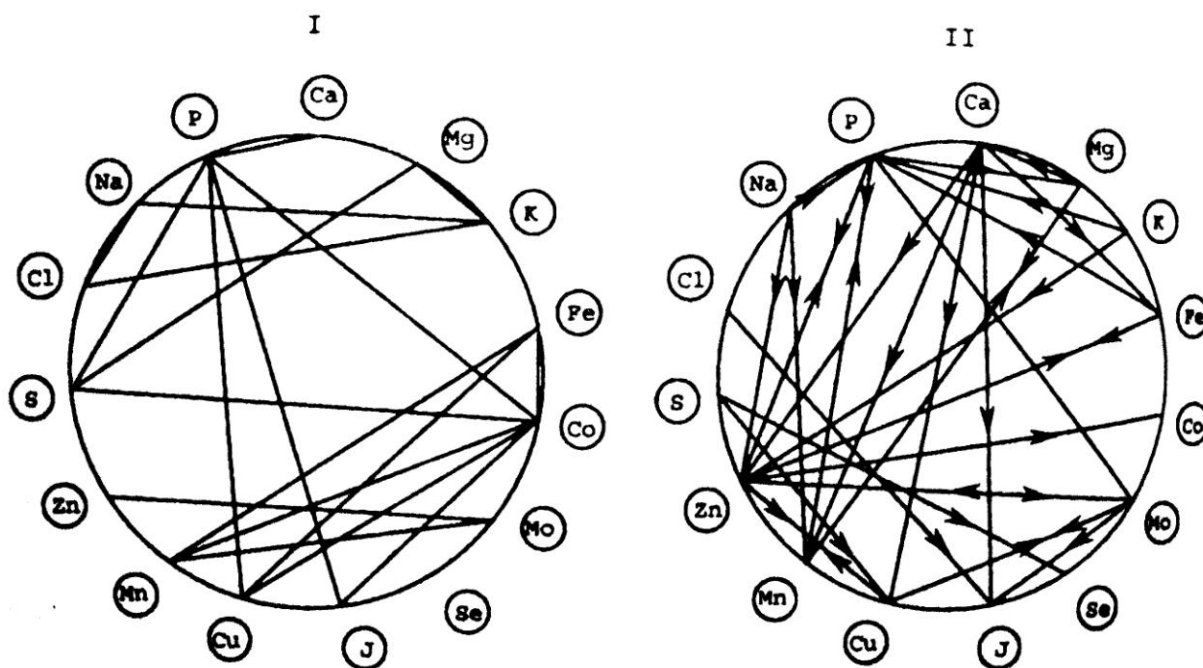
обычной деятельностью; в-третьих, АЭС последовательно проходит весь ЖКТ и нормализует перистальтику всех его участков без нарушения синхронизации их периодической активности. Существенно, что АЭС более длительное время находится в тех участках ЖКТ, моторика которых ослаблена в большей степени, и в результате такие участки автоматически более продолжительное время подвергаются воздействию электрических импульсов.

Во второй главе проведен анализ влияния микроэлементов на организм в свете теории Самохоцкого А.С. Рассмотрены понятия антагонизма и синергизма микроэлементов. Собраны материалы по влиянию на организм, таких микроэлементов, как медь, цинк, хром. И изменения происходившие в организме при введение данных элементов с помощью АЭС ЖКТ.

Микроэлементы в живом организме присутствуют в весьма низких концентрациях, но оказывают большое влияние на обменные процессы. Являются универсальным индикатором, сигнализирующим о любых болезнях, о всяком нарушении в работе организма – это электролитный состав крови. Отклонения элементов от нормы служат количественной оценкой болезни. Задача врача – указать центральной нервной системе, каких микроэлементов недостает, восполнить недостачу, выровнять их соотношения.

Синергистами, можно считать такие элементы, которые: а) взаимно способствуют абсорбции друг друга в пищеварительном канале; б) взаимодействуют в осуществлении какой-либо обменной функции на тканевом и клеточном уровне.

Антагонистами можно считать элементы, которые: а) тормозят абсорбцию друг друга в пищеварительном канале; б) оказывают противоположное влияние на какую-либо биохимическую функцию в организме. В отличие от синергизма, который чаще бывает взаимным, антагонизм может быть либо обоюдным, либо односторонним.



(→ односторонний; →← взаимный)

Рисунок 1 – метаболические взаимосвязи жизненно необходимых микроэлементов:

I – синергизм; II – антагонизм.

Бесконечная сеть нервных рецепторов, пронизывающих все органы и ткани, принимает на себя действие всех раздражителей внешней и внутренней среды, трансформирует их в процессе нервного возбуждения, которое рефлекторным аппаратом доводится до рабочих органов, изменяя их морфологическое и функциональное состояние, то есть формирует здоровье или болезнь в зависимости от органического или неорганического раздражителя. Поэтому с позиции нервизма не туберкулезная палочка создает каверны в легких, температуру и прочие болезни, не стафилококк формирует сепсис, а сам организм. Для того чтобы знать, каких микроэлементов не хватает организму, необходимо провести анализ сыворотки крови.

Медь является одним из важнейших микроэлементов, участвующих в процессах тканевого дыхания и кроветворения.

При дефиците меди в организме уменьшается абсорбция железа, увеличивается скорость обмена железа плазмы и внедрение его в эритроциты, развивается микроцитарная анемия, гипохромия, гипоферремия, уменьшается продолжительность жизни эритроцитов.

Медь не только участвует в кроветворении, но необходима для нормального течения многих физиологических процессов:

- пигментации и кератизации;
- остеогенеза;
- формирование миелина;
- воспроизводительной функции.

Цинк входит в состав карбоангидразы, фермента участвующего в поддержании кислотно-щелочного равновесия и других металлоферментов, влияет на активность тропных гормонов гипофиза, участвует в реализации биологического действия инсулина, обладает липотропными свойствами, нормализуя жировой обмен, повышая интенсивность распада жиров в организме и предотвращая жировую дистрофию печени. Есть данные об участии цинка в кроветворении. Цинк необходим для нормального функционирования гипофиза, поджелудочной железы и семенных пузырьков.

Недостаточность хрома проявляется в угнетении роста, сокращении продолжительности жизни и нарушении обмена глюкозы, липидов и белка. При ишемической болезни сердца и инфаркте миокарда наблюдается недостаток хрома.

Третья глава посвящена разработке новых конструкции АЭС ЖКТ для введения микроэлементов в организм.

При функционировании АЭС в кислотно-щелочной среде ЖКТ имеют место электрохимическая коррозия электродов и эндоионофорез. За счет этих двух процессов при надлежащих модификации АЭС можно вводить в живой организм недостающие микроэлементы на фоне стимуляции ЖКТ.

В качестве электродных материалов АЭС при этом могут быть использованы сами микроэлементы или их сплавы. Поскольку далеко не все необходимые микроэлементы удовлетворяют в полной мере конструкционным требованиям, более гибким и оправданным представляется другой подход: изготовление электрода-основания из нейтрального достаточно инертного материала с последующим нанесением покрытия, содержащего микроэлемент в оптимальной дозе.

Для нанесения используется процесс термического вакуумного напыления. Селен в вакууме возгоняется при температуре 200°C.

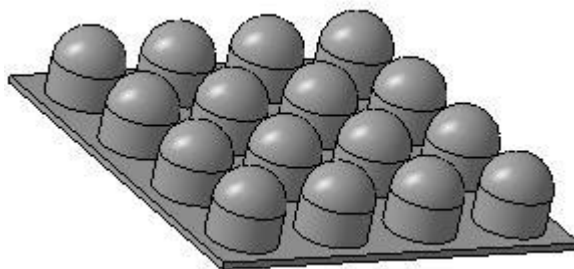


Рисунок 2 – Держатель для колпачков

Были проведены клинические испытания данной модификации АЭС ЖКТ в Томской областной клинической больнице.

Испытания АЭС ЖКТ-Se проходили в несколько стадий:

- 1) Анализ состояния пациента до применения АЭС ЖКТ-Se, включает в себя полный анализ крови;
- 2) Применение АЭС ЖКТ-Se;
- 3) Анализ крови через 2 дня после применения АЭС ЖКТ-Se;
- 4) Анализ крови через 7 дней после применения АЭС ЖКТ-Se.

Если описать более подробно, то происходит следующее. Сначала происходит увеличение продуктов распада вследствие ускорения процессов обмена, через некоторое время из-за ускоренных обменных процессов происходит их снижение, вследствие ускоренного вывода их из организма.

Наблюдается снижение содержания глюкозы и липидов низкой плотности (холестерина) в крови. По данным изменениям в составе крови, можно сделать рекомендации по применению данного типа электростимулятора для снижения риска заболевания сахарным диабетом и сердечно-сосудистыми заболеваниями, а также как физиотерапевтическое средство, совместно с медикаментозным лечением.

Некоторые элементы такие, как кальций не возможно напылить на электрод-анод, поэтому было решено создать новую конструкцию АЭС ЖКТ, которая бы обеспечила ионофорез кальция в организме больного.

Электрод анод был изготовлен из пористого углярафита и из пористого NiTi.

Насыщали пористый электрод-анод насыщенным раствором CaCl_2 . Исследование диффузии кальция с электродов такой конструкции проводилось с помощью ионоселективного электрода «Вольта-4000» в деионизованной воде.

Измеряем потенциал кальций-селективного электрода согласно инструкции на него. Кальций селективный электрод и электрод сравнения подключаем к высокоомному входу универсального измерительного прибора. Электрод сравнения с исследуемым раствором соединен через электролитический ключ, заполненный насыщенным раствором хлорида калия. В исследуемый раствор опускается АЭС ЖКТ. Измерения концентрации ионов кальция проводятся в объеме пробы 200 мл.

Зависимость количества хлорида кальция вышедшего в деионизованной воде с электрода из никелида титана от времени приведена на рисунке 3.



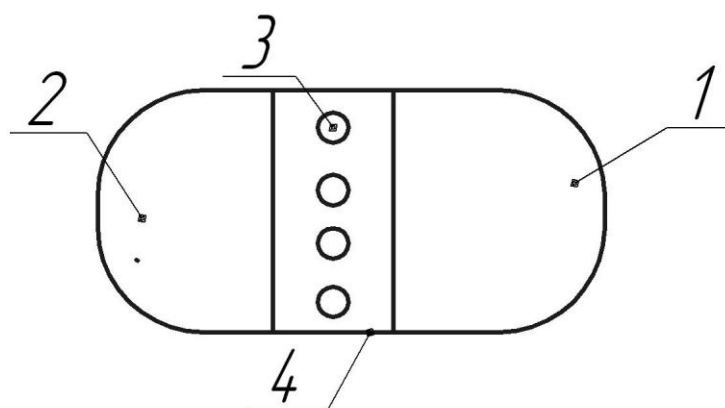
$m1$ – без стимуляции

$m2$ – со стимуляцией

Рисунок 3 – Зависимость количества хлорида кальция, поступившего в деионизованную воду с электрода из никелида титана АЭС ЖКТ от времени

Из рисунка четко видно, что диффузия кальция в деионизованную воду с электрода анода пористой конструкции замедляется при включении генератора стимулирующих импульсов. Аналогична картина наблюдается и у АЭС с электродом из пористого углерода.

Поэтому была предложена принципиально новая конструкция АЭС ЖКТ в которой пористый NiTi внедрен в виде вкраплений в изолирующую втулку (рис. 4)



1 – катод; 2 – анод; 3 – NiTi; 4 – втулка из полистирола УПС-1002

Рисунок 4 – Конструкция АЭС ЖКТ с внедрением пористого NiTi (3) во втулку (4).

Результаты измерений количества кальция диффундирующего в воду с АЭС ЖКТ с включением пористого NiTi во втулку, представлены на рисунке 5.



m1 – без стимуляции

m2 – со стимуляцией

Рисунок 5 – Зависимость массы CaCl_2 , поступившего в деионизированную воду со втулки с внедренным NiTi, от времени.

В качестве источника использовали раствор соли йода KI, которым насыщали пористый никелид титана.

Исследование диффузии йода в деионизованную воду с АЭС ЖКТ такой конструкции проводилось с помощью ионоселективного электрода. Электрохимическая ячейка состоит из двух сосудов соединенных ионным мостиком. В первый сосуд, заполненный насыщенным раствором KCl, помещается хлор-серебряный электрод сравнения, во второй, заполненный деионизованной

водой, – йодселективный электрод и АЭС, насыщенный KI. Измерение потенциала между электродами проводилось с помощью вольтметра.

Для исследования процессов диффузии ионов йода был проведен ряд опытов без напряжения и при рабочем напряжении АЭС ЖКТ равном 4,5 В.

По экспериментальным точкам было построено две зависимости $f = C(t)$ без напряжения, кривая 1 и 2 при напряжении питания, представленные на рисунке 6, которые для наглядности построены в относительных единицах $f = \frac{C(t)}{C_0}$,

где $C(t)$ – текущее значение массы йода;

C_0 – максимальное значение массы йода перешедшего в деионизованную воду.

По итогам эксперимента видно, что процесс выхода ионов I^- в деионизованную воду без напряжения идет медленнее, чем при наличие напряжения на АЭС ЖКТ.

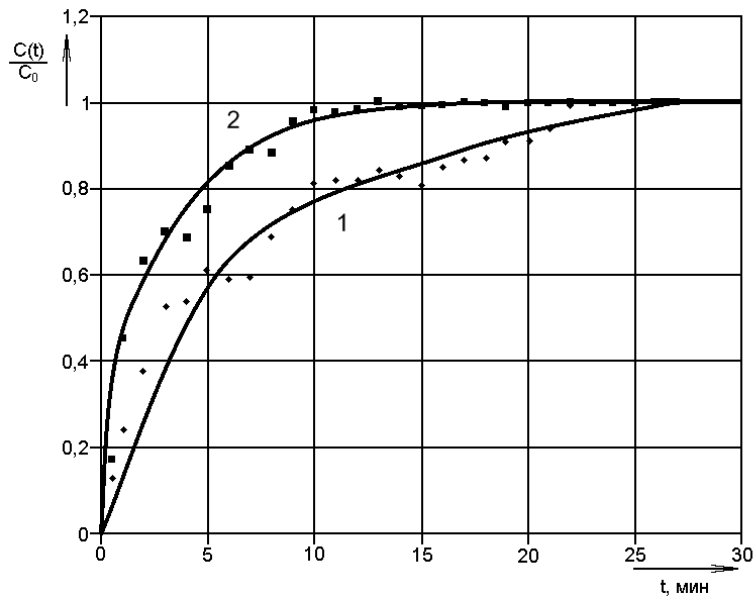
Исследуем процессы диффузии ионов I^- из пористого никелида титана при отсутствии источника питания в АЭС ЖКТ, т.е установим, подчиняется ли диффузия ионов йода в деионизованной воде второму закону Фика для одномерной диффузии в дифференциальной форме:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial z^2},$$

где C – концентрация диффузанта, в зависимости от времени (t) и глубины диффузии (z);

D – коэффициент диффузии ионов йода ($D = 4,1 \frac{cm^2}{c}$).

Так как в нашем случае мы имеем дело с диффузией из непостоянного источника, то начальные и граничные условия при всех значениях z , кроме $z = 0$, будут иметь следующий вид:



1 – в отсутствие электрического поля; 2 – при наличие электрического поля.

Рисунок 6 – Экспериментальная зависимость $f = \frac{C(t)}{C_0}$:

$$C(z,0) = C_0 \quad \text{при } z = 0$$

$$C(z,t) = 0 \quad \text{при } z = \infty$$

$$M = \text{const}$$

В этом случае:

$$C(z,t) = \frac{M}{\sqrt{\pi Dt}} \cdot \exp\left(-\frac{z^2}{4Dt}\right),$$

где M – поток массы диффузанта.

Уравнение диффузии при наличие электрического поля E :

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} - \mu^+ E \frac{\partial C}{\partial z},$$

Решение уравнения имеет вид:

$$C(z,t) = \frac{M}{\sqrt{\pi Dt}} \cdot e^{-\frac{z^2}{4Dt}} \cdot \left[\frac{vz}{2D} - \frac{v^2 t}{4D} \right],$$

где M – поток массы вещества;

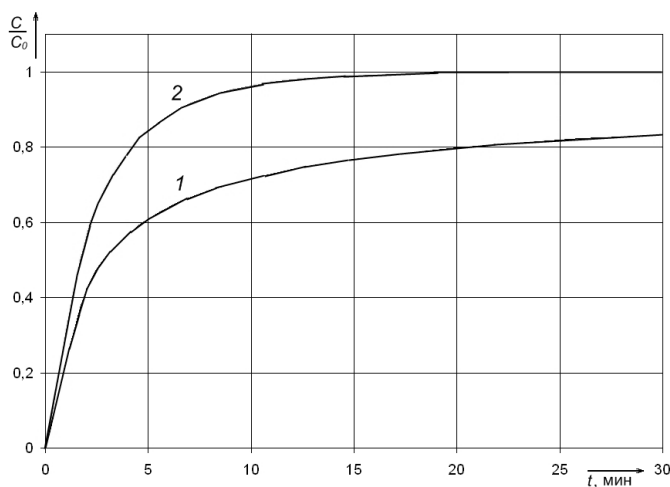
$v = E \cdot \mu_+$ – дрейфовая скорость.

Напряженность электрического поля между электродами при напряжении

питания $E = 0,02 \frac{B}{cm}$.

Для оценки динамики выхода ионов Γ и для сравнения построенной математической модели с экспериментальными данными, так как проводилось измерение распределения ионов йода в объеме деионизованной воды от времени, построим эти же зависимости от времени по формуле 3 в отсутствие электрического поля и формуле (5) при наличии электрического поля при $z = 20$ мм от источника ионов йода.

Зависимости $f(t) = \frac{C(t)}{C_0}$ в отсутствие напряжения (1) и при наличии напряжения (2) представлены на рис. 7.



1 – в отсутствие электрического поля; 2 – при наличии электрического поля.

Рисунок 7 – теоретическая зависимость $f = \frac{C(t)}{C_0}$ при потенциале на электроде $E = 0,02 \frac{B}{см}$ и расстоянии от источника диффузии $z = 20$ мм.

Построенная зависимость позволяет сделать выводы о правильности используемой математической модели.

Исследование диффузии кальция

В качестве источника использовали раствор соли кальция $CaCl_2$, которым насыщали пористый никелид титана.

Естественно, прежде чем проводить исследования на живом организме, целесообразно исследовать процесс диффузии ионов Ca^{2+} в имитирующих средах, например в деионизованной воде.

Исследование диффузии кальция в деионизованную воду с АЭС ЖКТ такой конструкции проводилось кондуктометрическим методом. Переход от сопротивления раствора к концентрации ионов кальция осуществляется по формуле .

$$C = \frac{\sigma}{0,32},$$

где, σ - проводимость раствора, См;

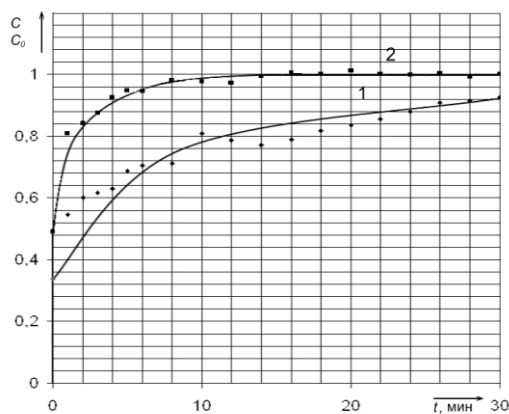
C – концентрация кальция вышедшего в раствор, мг/мл.

Для исследования процессов диффузии ионов кальция были проведены ряд опытов в отсутствие электрического поля и при наличие электрического поля.

По экспериментальным точкам было построено две зависимости $f = C(t)$ без напряжения, кривая 1 и 2 при напряжении питания, представленные на рис. 1, которые для наглядности построены в относительных единицах $f = \frac{C(t)}{C_0}$,

где $C(t)$ – текущее значение массы кальция;

C_0 – максимальное значение массы кальция перешедшего в деионизованную воду.



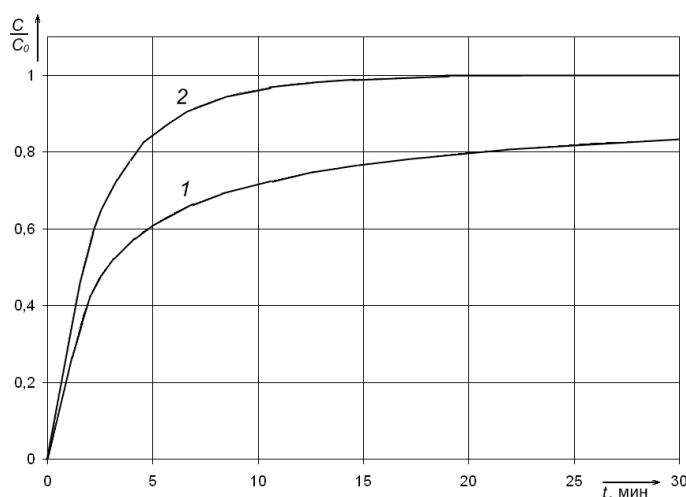
1 – в отсутствие электрического поля; 2 – при наличие электрического поля.

Рисунок 8 – Экспериментальная зависимость $f = \frac{C(t)}{C_0}$:

По итогам эксперимента видно, что процесс выхода ионов Ca^{2+} в деионизованную воду без напряжения идет медленнее, чем при наличие напряжения на АЭС ЖКТ.

Построим математическую модель данного процесса исходя из законов Фика для обоснования полученных экспериментальных данных, так как проводилось измерение распределения ионов кальция в объеме деионизованной воды от времени, построим эти же зависимости от времени в отсутствии электрического поля и при наличии электрического поля при $z = 20$ мм от источника ионов кальция.

Зависимости $f(t) = \frac{C(t)}{C_0}$ в отсутствии напряжения (1) и при наличии напряжения (2) представлены на рис.9.



1 – в отсутствие электрического поля; 2 – при наличие электрического поля.

Рисунок 9 – теоретическая зависимость $f = \frac{C(t)}{C_0}$

Построенная зависимость позволяет сделать выводы о правильности используемой математической модели.

Четвертая глава посвящена разработке устройства для упрощения контроля функционирования АЭС ЖКТ, как до его применения пациентом, так и во время работы в среде ЖКТ.

Наличие функционирующей капсулы в ЖКТ может быть определено при помощи электрокардиографа, электроды которого закреплены в общепринятых местах.

.В этом случае одновременно регистрируются электрический сигнал, сопровождающий работу сердца, и электрические импульсы генерируемые капсулой. Такой способ контроля функционирования АЭСЖКТ доступен только для врачей, которые в состоянии расшифровать записанный электрокардиографом сигнал.

Наличие капсулы в ЖКТ можно определить рентгенографически. Однако такой способ определения местоположения капсулы в ЖКТ не позволяет определить функционирует или не функционирует АЭСЖКТ.

Для выполнения поставленной задачи необходимо разработать прибор с усилением низкочастотного сигнала, который бы регистрировал собственные стимулирующие импульсы АЭС ЖКТ выходящие на поверхность тела через кожу человека. Совершенно очевидно, что уровень этих сигналов будет сравним с биосигналами или чуть выше их.

АЭС ЖКТ изготовлен в виде капсулы и состоит из двух полусфер, служащих электродами, которые по аналогии с электрическим диполем являются полюсами.

Вектор ЭДС диполя (электростимулятора) может быть изображен отрезком прямой, соединяющей оба его полюса.

В связи с возможными изменениями положения электростимулятора при его движении в ЖКТ будет меняться величина и направление электрического поля диполя, а, следовательно, и величина импульсного напряжения стимулирующих импульсов на коже пациента.

В нашем случае для индикации функционирования АЭС важна качественная информация, т.е. врачу важно знать: идет процесс или отсутствует. Поэтому для отображения качественной информации могут быть применены световые и звуковые индикаторы.

Исходя из вышесказанного, была разработана функциональная схема индикатора функционирования электронного стимулятора (ИФЭС), обеспечивающая качественную, а не количественную информацию о наличии электрических импульсов АЭС ЖКТ на коже пациента.

Эта схема была выбрана исходя из требований минимизации габаритов, массы, потребления энергии, а так же электробезопасности, отсутствию настроечных элементов, простоты управления и малой стоимости аппарата.



19

боковых стенок корпуса выполнено отверстие для прохода через него к управляющей части сдвоенного механического выключателя отличающийся тем, что в него дополнительно введены однополюсный механический переключатель (9), преобразователь однополярного напряжения автономного источника питания в положительное и отрицательное напряжение относительно общего для прибора (10) проводника, имитатор сигнала АЭСЖКТ и два спаренных, нормально разомкнутых, электронных ключа (12), сигнальные входы которых соединены с сигнальными выходными имитаторы сигнала АЭСЖКТ (11), усилитель напряжения выполнен дифференциальным, входные электроды для снятия напряжения с кожи человека, выполнены в виде двух одинаковых пластин, закрепленных на первом основании корпуса, на его внешней стороне, с зазором между собой, в качестве сдвоенного механического выключателя выбран сдвоенный, нормально разомкнутый, нажимной кнопочный выключатель, в качестве звукового излучателя выбран динамик, размещенный внутри корпуса, часть второго основания корпуса, расположенная над динамиком, выполнена перфорированной на боковой стенке корпуса, на которой выполнено вышеупомянутое отверстие, образовано дополнительное отверстие для прохода через него ручки однополюсного переключателя, внутри корпуса размещена печатная плата, на которой расположены дифференциальный усилитель, ждущий мультивибратор звуковых частот, усилитель тока, автономный источник питания, однополюсный переключатель, преобразователь напряжения автономного источника питания, имитатор сигнала АЭСЖКТ, два спаренных, нормально разомкнутых, электронных ключа, сдвоенный нормально разомкнутый, нажимной кнопочный выключатель, выпрямитель сигнала АЭСЖКТ и двухвходовой световой индикатор, две входные пластины-электроды соединены через отверстия в первом основании корпуса с противофазными входами дифференциального усилителя напряжения с единичными проводниками, сигнальный выход двухполярного компаратора-ограничителя соединен со входом ждущего мультивибратора, автономный источник питания соединен с общим входом однополюсного механического переключателя, первый выход однополюсного механического переключателя соединен со входом преобразователя напряжения автономного источника питания, а его первый выход с входом первого из спаренных

механических выключателей и с цепями питания ждущего мультивибратора, усилителя тока и двух спаренных электронных ключей, второй выход однополюсного переключателя соединен со вторым входом спаренных механических выключателей, первый выход этих выключателей соединен с цепью питания имитатора сигнала АЭСЖКТ и цепью управления двух спаренных электронных ключей, второй выход со вторым входом двухвходового светового индикатора, а разнополярные выходы преобразователя напряжения автономного источника питания соединены с цепями питания дифференциального усилителя напряжения и двухполярного компаратора-ограничителя.

Конструкция ИФЭС позволяет осуществлять три режима работы:

Первый режим – проверка функционирования АЭС ЖКТ перед его применением пациентом, при этом ИФЭС выдает звуковую и световую индикацию;

Второй режим – проверка функционирования АЭС ЖКТ, находящегося в желудочно-кишечном тракте пациента, при этом ИФЭС выдает звуковую и световую индикацию;

Третий режим – контроль работоспособности схемы ИФЭС, при этом ИФЭС выдает звуковую и световую индикацию. Эта индикация также свидетельствуют об исправности источника питания ИФЭС.

Внешний вид ИФЭС представлен на рисунке 11. Индикатор выполнен в виде параллелепипеда. Внутри корпуса находятся источник питания и электрическая схема на двух печатных платах. Корпус ИФЭС состоит из основания 1, крышки 2, крышки батарейного отсека 3 и верхней крышки 4, на которой установлены переключатели чувствительности 5 и питания 7, а также кнопка контроля схемы индикатора 6. Крышка 2 с основанием 1 образует неразъемное соединение с помощью четырех винтов-саморезов 8. В основании имеется отсек для установки источника питания – батареи «Крона–ВЦ» или аналогичных по характеристикам источников питания напряжением 9 В. Батарейный отсек закрывается крышкой 3. В основании имеются круглое отверстие для светового индикатора 9 и отверстия, расположенные по концентрическим окружностям, для звукового индикатора 10. На крышке 2 корпуса имеются два входных электрода 11 для снятия наведенного напряжения от импульсов тока АЭС ЖКТ с брюшной поверхности пациента и два

вспомогательных электрода 12 для наложения на них колпаками автономного электростимулятора при проверке его функционирования. Для подключения электродов к электрической схеме индикатора в корпусе крышки соответственно имеются четыре круглых отверстия. Электроды 11,12 образуют неразъемное соединение с крышкой 2 с помощью склеивания их соприкасающихся поверхностей.

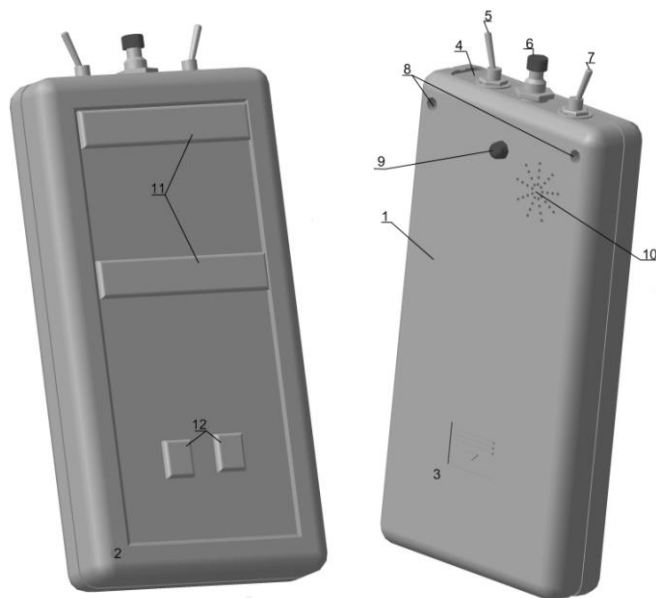


Рисунок 11 – Внешний вид ИФЭС

Заключение

1 Проведены систематические и комплексные исследования по влиянию электростимуляции на перистальтику кишечника, которая существенным образом отличается от электростимуляции сердечной мышцы.

2 Предложен новый способ интенсивной терапии больных с помощью АЭС ЖКТ с эндоионофорезом таких микроэлементов как Se, Ca, I.

3 Отработана технология нанесения Se на колпачки электроды АЭС ЖКТ с использованием процесса сублимации Se в вакууме.

4 Проведены клинические испытания АЭС ЖКТ-Se. Подтвердившие эффективность введения микроэлемента в организм.

5 Разработана принципиально новая конструкция АЭС ЖКТ с вкраплениями пористого NiTi в диэлектрическую втулку, которая обеспечивает эффективный эндоионофорез таких микроэлементов, как Ca, J и др. микроэлементов.

6 Установлено с помощью модельного эксперимента и подтверждено расчетом эффективное введение микроэлементов в живой организм с помощью новой конструкции АЭС ЖКТ с вкраплениями во втулку пористого NiTi.

7 Предложена математическая модель диффузии микроэлементов из вкраплений во втулку на основании уравнения Фика и подтверждена эффективность доставки микроэлементов в живой организм с помощью данного метода.

8. Был проведен анализ методов индикации функционирования АЭС ЖКТ. И выбран оптимальный способ в рамках поставленной задачи.

9. Разработан прибор для определения работоспособности АЭС ЖКТ, как до его применения пациентом, так и во время работы его в желудочно-кишечном тракте.

10. Проведены испытания и подготовка комплекта КД для производства данного прибора.

11 Получен патент на индикатор функционирования.

Список работ опубликованных по теме диссертации

1. Патент RU №2354978, МПК G01R 19/55. Индикатор функционирования автономного электростимулятора желудочно-кишечного тракта. /Потапенков С.С., Агафонников В.Ф., Агафонникова Е.В., Пинкольский П.М., – Заявл. 20.08.2007. Оpubл. 10.05.2009. Бюл. №13.
2. 9. Пат. № 85342 РФ, Электростимулятор желудочно-кишечного тракта с эндогенным ионофорезом микроэлементов и магнитотерапией / Агафонников В.Ф., Потапенков В.Ф., Пинкольский П.М. – № 2009102491 заявл. 26.01.2009; опубл. 10.08.2009, Бюл. № 22 – 4 с.
3. 10. Пинкольский П.М. «Индикатор функционирования автономного электростимулятора желудочно-кишечного тракта» // «Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники». — 2010. — № 1(21) ч.2. — С. 105-108.
4. Порядок разработки и постановки на серийное производство изделий медицинской техники : руководство к лабораторной работе по курсу

"Конструирование и технология биомедицинской аппаратуры" для студентов радиоконструкторского факультета / В. Ф. Агафонников, П. М. Пинкольский ; Федеральное агентство по образованию, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Кафедра конструирования узлов и деталей РЭА. - Томск : ТУСУР, 2007. - 19 с.

5. Определение скорости растворения цинка с электрода автономного электростимулятора желудочно-кишечного тракта : доклад, тезисы доклада / П. М. Пинкольский // Научная сессия ТУСУР-2009. - Томск : В-Спектр, 2009. - Ч. 1. - С.153-155.

6. Автономные электростимуляторы желудочно-кишечного тракта с эндогенным ионофорезом селена : доклад / П. М. Пинкольский // Научная сессия ТУСУР-2010. - Томск : В-Спектр. - Ч. 1. - С.218-220.

7. В.Ф. Агафонников, П.М. Пинкольский, Г.Ц. Дамбаев, С.В. Гюнтер, Т.Л. Чекалкин, О.В. Кокорев Использование пористого никелида титана в электронном нормализаторе микроэлементов /Материалы с памятью формы и новые медицинские технологии //под редакцией В.И. Гюнтера. - Томск : НПП «МИЦ», 2010. - С.287-290.

8. В.Ф. Агафонников, П.М. Пинкольский, Г.Ц. Дамбаев, С.В. Гюнтер Автономный электростимулятор желудочно-кишечного тракта с элементами из пористого никелида титана для эндогенного электрофореза ионами йода /Материалы с памятью формы и новые медицинские технологии //под редакцией В.И. Гюнтера. - Томск : НПП «МИЦ», 2010. - С.287-290.

9. В.Ф. Агафонников, П.М. Пинкольский, Г.Ц. Дамбаев, С.В. Гюнтер, Т.Л. Чекалкин, О.В. Кокорев ЭЛЕКТРОННЫЙ НОРМАЛИЗАТОР МИКРОЭЛЕМЕНТОВ // Имплантаты с памятью формы. – 2010. – № 1-2. – С. 64-67

10. Beata Jablonska, Dymitr Zaworonkow, Mieczyslaw Lesiechka, Viktor Fillippovich Agafonnikov, Pavel Miroslavovich Pinkolsky, Pawel Lampe Zaparcia – etiopatogeneza, diagnostyka i leczenie / Postepy Nauk Medycznych, t. XXIV, Suplement 2. – Warshawa Borgis, 2011 33 – 38 s. (В печати)