Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

Б. П. Холодный, А. Я. Уклеин, С. Г. Брянцев, Элементы анализа физической модели акупунктурной точки как звена системы автоматической регуляции биологического объекта, *Вестн. Сам. гос. техн. ун-та. Сер. Физ.-мат. науки*, 2004, выпуск 27, 78–83

DOI: <https://doi.org/10.14498/vsgtu277>

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением

<http://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 34.227.88.159

26 апреля 2023 г., 11:08:15

ЭЛЕМЕНТЫ АНАЛИЗА ФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ АКУПУНКТУРНОЙ ТОЧКИ КАК ЗВЕНА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ РЕГУЛЯЦИИ БИОЛОГИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА

Приведен вариант фрагмента разработанной электрической модели акупунктурной точки биообъекта при электропунктурном воздействии на точку разнополярным напряжением; показана степень идентификации напряжений реакции реальной акупунктурной точки и ее электрической модели при одинаковом электропунктурном воздействии. Получен вариант математического описания модели акупунктурной точки как звена биотехнической системы автоматической регуляции живого организма.

Среди исследователей, занимающихся проблемами традиционной медицины и, в частности, иглоукалывания как в его классическом китайском (восточном) варианте, так и во всех инструментальных, аппаратных (западных) методах, до настоящего времени, к сожалению, пока ещё не сложилась единая точка зрения на физиологию процессов, происходящих при этом в биологическом объекте, хотя все едины во мнении, что иглотерапия, как метод, относится к регулирующим видам терапий. Одни исследователи, представляющие западную науку, настойчиво ищут объяснения феномена регуляции состояния организма с позиций нервизма, т. е. основываются на теории Павлова (отсюда – рефлексотерапия); другие, стоящие на фундаментальных древнекитайских философских принципах, продолжают искать подтверждение энергетическому подходу (и для них понятие «рефлекс» неприемлемо), хотя регуляция и по их мнению не только имеет место, но и первична по отношению к нервной системе. Известно, что до настоящего времени с научной точки зрения физиологические механизмы самого процесса регуляции как при классическом, так и аппаратном иглоукалывании однозначно не раскрыты, и ни одна из довольно большого количества предлагаемых гипотез убедительно не доказана. Позиции исследователей западной ориентации, объясняющие эти механизмы только посредством действия рефлекторных дуг, все-таки не могут считаться окончательно доказанными, поскольку специфические анатомические «носители», позволяющие системе акупунктурных точек биообъекта функционировать, осуществляя процессы регуляции, бесспорно не выявлены. Тучные клетки, рецепторы и т.д. [3], вероятно, играют свою роль, однако нет убедительного объяснения увеличения площади проекции заинтересованной акупунктурной точки (АТ) на кожном покрове при сохранении её регулирующих свойств. Пока, к сожалению, западная медицина и классическая физиология на этот вопрос однозначного и убедительного ответа не даёт. С другой стороны, классический китайский энергетический подход анатомического подтверждения также пока не нашел, хотя функционирование системы акупунктурных точек (как объекта в процессе регуляции) «неприлично» часто для западного исследователя действительно соответствует древнекитайским концепциям.

Анализ работ современных ученых по электрофизиологии иглоукалывания и электропунктуры [3,4,6], проведенный Центром здоровья СамГТУ, показал, что в большинстве случаев, когда исследователи анализируют процессы в тканях, клетках, на клеточных мембранах, вплоть до ионных насосов и т.п., исследования иглоукалывания и в классическом, и в электропунктурном вариантах строго в системном представлении (именно как систем автоматической регуляции) пока, к сожалению, не получают и проводятся только лишь на уровне изолированных элементов. Исследования же живого биообъекта или хотя бы его функционально законченных фрагментов (как системы или хотя бы звена автоматической регуляции) до анатомических и физиологических элементов фактически не доводятся.

Некоторые исследователи выбирают какую-то, на их взгляд, достаточно адекватную физическую модель (чаще всего как «черный ящик»), передаточную функцию которой они и стремятся вывести и исследовать. При этом решается не всегда простая задача обеспечения максимальной адекватности электрической реализации физической модели и реального «живого» биологического фрагмента. Сложностей здесь более чем достаточно. Например, известно, что пути афферентной и эфферентной иннервации различны. При этом физиологически необъясним принятый практически всеми исследователями принцип равной или толерантной проводимости тока различной полярности для непатологической АТ. Если даже в качестве рабочей гипотезы принять иннервацию АТ одним нервным стволом, то и тогда, если направление и путь тока воздействия совпадает с физиологическим, не ясен путь тока при смене полярности тока

воздействия. Что же, законы нейрофизиологии перестали существовать и медиатор на синапсе подвержен инверсии? Тогда зачем разделение нервов на аксоны и дендриты? Это - вопрос восточной медицины электрофизиологам медицины западной. В свою очередь, последняя также может задать вопрос восточной медицине: пусть меридиан имеет энергетическую природу и осуществляет процессы регуляции в организме, и хотя физиологические носители «энергии Чи» анатомически пока не выявлены, то как же в норме по-восточному может быть полное динамическое энергетическое равновесие в меридиане и его фрагментах, если он имеет четкую энергетическую направленность - центробежную либо центростремительную? Ведь для движения энергии (пусть даже пока понятийно точно не определенной с точки зрения западной науки) должна же быть какая-то разность её уровней. Тем не менее, именно динамическое равновесие Инь-Ян (абсолютное либо толерантное) жизненной энергии «Чи» по-китайски или его эквивалентное электропунктурное проявление через полярные электропроводности (принятое в современной электропунктуре) является практически общепризнанным диагностическим, терапевтическим и прогностическим критерием применимости метода электропунктуры и его эффективности. Здесь важно отметить то, что и классическая китайская акупунктура, и современная западная инструментальная рефлексотерапия (во всех её аппаратных разновидностях) рассматривают процессы пунктурного воздействия на биологический объект с определением его необходимости и достаточности, по существу, как процессы регуляции. По-китайски, это - регуляция энергии «Чи» с определением правильности протекания терапевтического процесса и достаточности воздействия с помощью арсенала средств восточной медицины. С позиций западной медицины, это – регуляции гомеостаза с отслеживанием эффективности рефлексотерапии по объективным лабораторным показателям, а в самом процессе - по фиксируемым качественным и количественным показателям, принятым в виде определенных, специальных оценочных критериев. Важно здесь то, что при том и другом подходах рассматривается процесс восприятия любого способа воздействия (независимо от инструмента воздействия – иглы, полынной сигареты или аппарата электропунктуры) системой акупунктурных точек и соответствующее изменение ее состояния по существу как действие системы автоматического регулирования: имеется объект регулирования (биологический объект), управляющий объект (инструмент воздействия), возмущающие воздействия (возникновение заболеваний), система оценки (критерии оценки), причем почти всегда это – система автоматического регулирования с обратной связью.

За последние годы исследования нового метода традиционной медицины - адаптивной электропунктуры, проводимые в Центре здоровья СамГТУ [1,2], существенно продвинулись. Понимание процессов, происходящих в биологическом объекте и реальной акупунктурной точке при электропунктурном воздействии на нее аппаратами с биологической обратной связью, существенно эволюционировало [7,8]. Углубление исследований потребовало применения качественно нового оборудования, а полученные новые технологические возможности позволили произвести уточнение физико-математической модели акупунктурной точки – центрального объекта фундаментальных научных исследований, проводимых авторами.

В процессе разработки нового современного инструментария электропунктурной диагностики и терапии заболеваний [7] для проведения экспериментальных исследований появилась потребность создания физической модели АТ, отвечающей принятой в исследованиях концепции проявления динамики состояния реальной АТ при электропунктурном на нее воздействии.

В специальной литературе [4,5 и др.] показан ряд электрических моделей биологической ткани, однако с учетом принятой в адаптивной электропунктуре концепции электрофизиологической структуры АТ известные модели фрагментов биообъекта не отражают достаточно сложный характер реакции реальной АТ на электропунктурное воздействие.

Ранее авторы для целей экспериментальных исследований предложили и использовали электрическую модель АТ, на первый взгляд, вполне отражающую наличие в реальной акупунктурной точке электрических аналогов основных ее электрофизиологических характеристик – общего ее сопротивления, определяющего величину среднего тока воздействия, электрической емкости точки и реально проявляющихся «полярных» сопротивлений точки соответствующим токам воздействия положительной и отрицательной полярностей. На модели также проявился известный для акупунктурных точек полупроводниковый эффект, реализованный определенным включением в схему модели двух полупроводниковых диодов, выполняющих функции ключей.

Принципиальная электрическая схема такой модели представлена на рис.1; эпюры напряжений, действующих на модели, – на рис. 2.

Р и с. 1. Простейшая электрическая модель акупунктурной точки

Р и с. 2. Эпюры напряжений на модели АТ

При подаче на вход модели АТ от аппарата адаптивной электропунктуры периодической последовательности разнополярных импульсов воздействия прямоугольной формы с одинаковой амплитудой (см. рис. 2, а) форма и параметры напряжений реакции модели АТ на указанное воздействие будут зависеть от положений движков переменных резисторов модели: резистором R1 устанавливают величину тока воздействия; резистором R2 – балансно-дисбалансное состояние модели, адекватно соответствующее состоянию реальной АТ. При этом если движок резистора R2 находится в среднем положении, то длительности разнополярных экспоненциальных импульсов на модели имеют равные значения (см. рис. 2, б), что отражает равновесное (балансное, здоровое) состояние реальной обследуемой акупунктурной точки; если движок резистора R2 сдвинут относительно среднего положения в ту или другую сторону, такое положение модели соответствует неравновесному (дисбалансному, патологическому) состоянию АТ (см. рис. 2, в). В последнем случае характер и степень дисбалансного состояния оценивается относительным процентным значением динамического соотношения длительностей отрицательного и положительного им-

пульсов реакции на воздействие; это значение отражает адекватное соотношение энергетической недостаточности или избыточности (по терминологии традиционной китайской медицины) или, другими словами, соотношение Иньского и Янского синдромов заболевания; например, {65% : 35%} - здесь преобладает Иньский синдром (недостаточность) в указанном числовом соотношении. Терапевтически на реальной АТ такое состояние требует возбуждающего лечебного электропунктурного воздействия с целью приведения ее в балансное, гармоническое состояние.

В Центре здоровья СамГТУ проведены серии экспериментов по исследованию адаптивной биотехнической системы ауторегуляции на новом современном оборудовании, позволяющем проследить и фиксировать динамику реакции обследуемой АТ на различные типы электропунктурного воздействия. При этом было выявлено существенное отличие полученных эпюр напряжений реакции реальной АТ (представлено на рис. 3) и ранее принятой авторами её физической модели (см. рис. 2, б, в): проявилась нетиповая форма напряжения на реальной АТ, физиологически объяснить происхождение которой ранее не представлялось возможным.

Немедленно возник вопрос о том, что электрофизиологические процессы, происходящие в «живой» акупунктурной точке, на самом деле гораздо сложнее, чем в смоделированной авторами её электрической модели. Почему имеет место такая реакция «живой» АТ? Скорее всего, можно предположить, что в начальный момент при смене полярности импульса воздействия происходит быстрая (порядка сотен микросекунд) физиологическая реполяризация клеточных структур АТ – создается крутой фронт увеличения напряжения реакции АТ на внешнее воздействие (аналог быстрой зарядки конденсатора малой емкости). Затем, по мере накопления электрических зарядов, возможно, происходит постепенное их насыщение с соответствующим уменьшением тока воздействия. Так может быть предположительно представлено объяснение рассматриваемого феномена с позиций западной медицины. С позиций традиционной китайской медицины это, скорее всего, может быть прокомментировано следующим образом. Ввиду

того, что меридиан иглоукалывания в китайской медицине принято рассматривать как «сосуд, заполняемый энергией», имеющий в организме главное русло и мелкие ответвления, то поскольку в начальный момент основной объем может быть «пустым», поэтому он, даже несмотря на наличие сужений основного русла и мелких ответвлений (имеющих физиологическую, а иногда и патологическую природу и играющих роль своего рода «гидравлических сопротивлений»), «заполняется» быстро и доля этого «гидравлического сопротивления» относительно невелика; однако при приближении к максимальному «заполнению» энергией роль «гидравлических сопротивлений» возрастает, и процесс заполнения плавно замедляется.

Р и с. 3. Эпюры напряжения на живой точке

Для осуществления проводимых Центром здоровья фундаментальных исследований по проблемам электрофизиологии системы акупунктурных точек при применении адаптивной электропунктуры и для более глубокого понимания процессов, происходящих при этом в живом организме, важно было построить электрическую модель, наиболее адекватно отображающую функционирование «живой» АТ.

Большая серия экспериментальных форм напряжений реакции реальной АТ (см. рис.3), полученная авторами при типовых электропунктурных воздействиях на точку напряжениями различной полярности, позволила впервые в области электропунктуры итеративно разработать и построить такую электрическую модель АТ, которая при электропунктурном воздействии на нее отражала бы форму напряжения реакции на воздействие, адекватно близкую форме напряжения реакции на реальной «живой» АТ.

Упрощенная электрическая схема новой модели АТ приведена на рис.4.

Новая модель, в принципе отражая аналогичную концепцию структуры реальной АТ, отличается следующим:

- плечевые «полярные» сопротивления R_2 и R_2' коммутируются не диодами, а контактами поляризованного реле SW, исключая при этом погрешности в работе модели, возникавшие ранее из-за ненулевых прямых и конечных обратных сопротивлений диодов токам соответственно положительной и отрицательной полярностей;

- в новой модели возможна раздельная взаимно независимая установка «полярных» сопротивлений, что фактически заложено физиологически в структуре реальной АТ при различных ее состояниях в норме и патологии;

- значения электрических параметров элементов схемы выбраны такими, которые при типовом электропунктурном воздействии на модель дают на ней форму напряжения реакции, достаточно близкую к фор-

Р и с. 4. Новая электрическая модель акупунктурной точки

ме аналогичного напряжения на реальной точке;

- цепь с усилителем ДА управления поляризованным реле позволяет строго синхронизировать по времени и по фазе работу реле с импульсной разнополярной последовательностью электропунктурного воздействия на модель АТ.

Проведенные экспериментальные исследования новой модели при различных установках «полярных» сопротивлений для отображения возможных состояний реальной АТ показали в большинстве случаев достаточно близкую адекватность предполагаемой структуры точки и структуры ее физической модели. Однако необходимо отметить, что при некоторых патологических состояниях ряда реальных АТ напряжения их реакций на электропунктурное воздействие имеют более сложную форму, что видимо определяется особенностями динамики конкретных электрофизиологических процессов в обследуемой АТ.

В качестве примера на рис.5 представлен вариант эпюры напряжения реакции новой электрической модели АТ с определенными установками параметров схемы.

Р и с. 5. Напряжение на новой модели АТ

Поставленная задача идентификации АТ как объекта математического моделирования может быть более строго решена при дальнейших исследованиях путем построения на базе известных физико-физиологических допущений целого ряда эквивалентных электрических схем замещения АТ. Для каждой такой схемы может быть определена соответствующая передаточная функция, коэффициенты которой будут зависеть от параметров электрических элементов схемы, и затем построены кривые переходных процессов для типового входного воздействия. Применяя оптимизационные методы (по критерию

минимального отклонения этих кривых от экспериментально полученных графиков в равномерной или квадратичной норме), можно определить реальные электрические параметры элементов схем замещения, а также выбрать из нескольких возможных такую структуру схемы, которая наиболее адекватно отвечает функционированию «живой» АТ.

Математический анализ новой физической модели АТ приводится ниже. С целью упрощения описания модели АТ принято условие ее работы с одним «полярным» плечевым резистором (например, положительным), поскольку в течение длительности действия импульса этой полярности противоположный по полярности резистор бездействует. А при действии на модель АТ импульса отрицательной полярности результаты описания с учетом своего знака будут (по действующему принципу суперпозиции) аналогичными.

На рис.6 представлена электрическая схема для указанного случая.

В качестве типового сигнала входного воздействия принята единичная положительная ступенька напряжения.

С учетом позиционных обозначений, приведенных на схеме рис.6, операторный коэффициент $K(p)$ передачи модели может быть представлен как

$$K(p) = \frac{R'}{R_0 + R'} \times \frac{\frac{T'}{R'} p + 1}{\frac{T' T''}{R_0 + R'} p^2 + \frac{T'' R' + T' (1 + R'')}{R_0 + R'} p + 1}, \quad (1)$$

где $T' = R_T R_1 C_1$; $T'' = R_0 C_T$; $R' = R_T + R_1$; $R'' = \frac{R_0}{R_T}$. Подставляя в полученное выражение ре-

альные значения принятых электрических параметров схемы, можно получить передаточную функцию $W(p)$ приведенной модели АТ как звена биотехнической системы регуляции с ее реальными коэффициентами:

$$W(p) = 0,58 \frac{0,026p + 1}{3 \cdot 10^{-4} p^2 + 0,127p + 1}. \quad (2)$$

Дифференциальное уравнение этого звена может быть представлено в виде

$$3 \cdot 10^{-4} \ddot{u}_{\text{вых}}(t) + 0,127 \dot{u}_{\text{вых}}(t) + u_{\text{вых}}(t) = 0,01508 \dot{u}_{\text{вх}}(t) + 0,58 u_{\text{вх}}(t). \quad (3)$$

Отсюда получаем характеристическое уравнение для реальных коэффициентов

$$p^2 + 423p + 3333 = 0, \quad (4)$$

решение которого дает значения

$$p_1 = -414,968; \quad p_2 = -8,032 \quad (5)$$

Вещественный характер корней характеристического уравнения определяет электрическую модель АТ как апериодическое звено второго порядка.

По полученным результатам анализа можно сделать вывод, что физико-математическое моделирование реальной АТ позволяет, с одной стороны, осуществить в некотором очередном итеративном приближении математический анализ электрофизиологических процессов, происходящих при иглоукалывании и электропунктурном воздействии, и углубить их понимание. С другой стороны, такой анализ может открыть путь к созданию современного инструментария качественно более высокого уровня для фундаментальных исследований в области традиционной китайской медицины, что позволит продолжить усилия по углублению понимания традиционного восточного подхода к здоровью человека с позиций современной западной науки. Прикладные результаты проводимых исследований позволяют создавать более совершенные биотехнические автоматизированные системы для осуществления диагностики, коррекции состояния здоровья человека и построения прогноза.

Р и с. 6. Схема фрагмента модели АТ при электропунктурном воздействии положительным сигналом

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Брянецев С.Г., Уклеин А.Я. Проблемы анализа биотехнической системы адаптивной электропунктуры. // Математическое моделирование и краевые задачи. Труды одиннадцатой межвузовской конференции. Самара: СамГТУ, 2001. С. 8-11.
2. Холодный Б.П., Уклеин А.Я. Некоторые аспекты применимости САР для коррекции ауторегуляции живых систем в адаптивной электропунктуре // Математическое моделирование и краевые задачи. Труды одиннадцатой межвузовской конференции. Самара: СамГТУ, 2001. С. 106-109.
3. Портнов Ф.Г. Электропунктурная рефлексотерапия. 3-е изд., перераб. и доп. Рига: Зинатне, 1987. 352 с.
4. Ромоданов А.П., Богданов Г.Б., Лященко Д.С. Первичные механизмы действия иглоукалывания и прижигания. Киев: Вища школа. Головное изд-во, 1984. 112 с.
5. Лоцилов В.И., Калакутский Л.И. Биотехнические системы электростимуляции. М.:ВИНИТИ, 1988. 178с.
6. Марков Ю.В. Рефлексотерапия в современной медицине: От мифов и легенд к реальности. Спб.: Наука, 1992. 182 с.
7. Патент на изобретение 2173976 РФ. МПК А 61 Н 39/00. Устройство адаптивной электропунктуры / С.Г. Брянецев, А.Я. Уклеин, Б.П. Холодный (РФ). 6 с.: ил. Опубл. 27.09.2001, Бюл. № 27.
8. Холодный Б.П., Уклеин А.Я., Брянецев С.Г. Адаптивная электропунктура // Традиционная медицина - 2000. Сб. материалов конгресса. М.: НПЦ ТМГ МЗ РФ, 2000. С. 98-100.

Поступила 15.04.2003 г.