

Контроль динамики развития ишемических процессов в сердце по энергетическому разбалансу меридианных структур организма

Аннотация

Предлагаются метод и техническое средство для контроля динамики развития ишемических процессов в сердце по энергетическому разбалансу биологически активных точек меридиана сердца.

Введение

По данным Европейского кардиологического общества смертность от ишемической болезни сердца (ИБС) лиц в возрасте от 35 до 64 лет в нашей стране превысила смертность от этой болезни в остальной Европе. Несмотря на успехи современной медицины, ИБС остается наиболее частым заболеванием среди лиц трудоспособного возраста, вызывая высокую инвалидизацию и смертность.

Одним из способов снижения рисков ИБС является оперативный контроль функционального состояния и функционального резерва сердца с использованием соответствующих инструментальных средств.

В работах [1]–[6] была показана перспективность использования энергетических характеристик меридианных структур организма для оценки состояния различных органов и систем, включая прогнозирование и оценку состояния сердечно-сосудистой системы.

При этом в силу простоты и дешевизны используемого оборудования и методик измерения появляется возможность контроля состояния сердца, включая динамику развития ишемических процессов в сердце в домашних условиях, с поступлением при необходимости сигналов о возможных критических ситуациях, требующих оказания квалифицированной врачебной помощи.

С учетом рекомендаций работ [1]–[5], для оценки динамики развития ишемических процессов в сердце выбран метод синтеза гибридных нечетких решающих правил прогнозирования и диагностики заболеваний по электрическим характеристикам биологически активных точек (БАТ) меридианных структур организма, основанный на биофизике акупунктуры, описанной в [1], [2].

В указанных работах описан метод, заключающийся в том, что для каждого типа решаемых задач эксперты определяют множество функций принадлежности по всем выбранным информативным БАТ, что является достаточно сложной задачей даже для специально обученных людей.

При этом каждый раз, когда меняются условия задачи, возникает необходимость корректировать или полностью изменять используемые наборы функций принадлежности.

Особенностью решения задач прогнозирования, ранней и дифференциальной диагностики и контроля динамики развития заболеваний, включая ИБС, является то, что при синтезе соответствующих решающих правил в качестве экспертов необходимо привлекать врачей-специалистов, а если в качестве информативных признаков используются энергетические характеристики БАТ, то в состав экспертной группы должны входить специалисты в области биофизики акупунктуры и рефлексотерапии, обученные работе с нечеткой технологией принятия решений.

Проведенными нами исследованиями было установлено, что за требуемое время не удается собрать и обучить экспертную группу разнородных специалистов, обеспечивающих приемлемую согласованность действий (по коэффициенту конкордации W – не менее 0,8).

В то же время, если разделить функции специалистов в области биофизики акупунктуры и рефлексотерапии и врачей-специалистов (в данной работе – кардиологов) и привлекать их для решения «своих», специфических задач, то каждая из этих двух групп становится способной к решению задач синтеза искомых нечетких моделей принятия решений с требуемыми показателями качества.

При этом задача объединения моделей, полученных двумя группами экспертов, достаточно легко решается в рамках из-

вестной методологии синтеза гибридных нечетких решающих правил [5], [7], [8].

Материалы и методы

Основное отличие предлагаемого метода от описанных в известной литературе состоит в том, что определяется величина энергетического разбаланса ER_S того списка БАТ, который относится к исследуемому органу и (или) системе S . Эта задача решается с привлечением экспертов в области биофизики акупунктуры и рефлексотерапии. Далее величина ER_S определяется как базовая переменная для функции принадлежности $\mu_r(ER_S)$ к исследуемой патологии. Эта задача решается с привлечением экспертов в составе врачей-специалистов (в данной работе – кардиологов). Таким образом, для определения уверенности U_r в принятии решения по патологии ω_r для задачи r ($r = PP$ – прогноз; $r = PC$ – ранняя стадия заболевания; $r = DD$ – дифференциальный диагноз; $r = DP$ – динамика развития) используются две модели:

$$ER_S = F_E(EY_{Sj}); \quad (1)$$

$$U_r = \mu_r(ER_S), \quad (2)$$

где EY_{Sj} – энергетический разбаланс БАТ с именем Y_{Sj} , выбранных как информативные по органу (системе) S .

При выборе модели оценки величины энергетического разбаланса целесообразно использовать рекомендации работ [1]–[5], в которых описан процесс синтеза нечетких моделей принятия решений по величине отклонений сопротивлений БАТ от их номинальных значений (δR_j).

В соответствии с этими рекомендациями формируется экспертная группа (в соответствии с рекомендациями квалиметрии – не менее 7 человек) из специалистов в области биофизики акупунктуры и рефлексотерапевтов, которые получают подготовку в области синтеза нечетких решающих правил по энергетической реакции БАТ. На тестовых задачах оценивается их коэффициент конкордации W . Если он ниже 0,8, то производится коррекция состава группы с их дообучением. Если $W \geq 0,8$, то эксперты решают задачу синтеза решающего правила (1) в соответствии со следующими рекомендациями.

По общепринятым атласам меридиан, например [6], определяются списки БАТ, «имеющих связи» с исследуемыми органами и системами. Если имеется возможность по получению обучающей выборки, то производится оценка информативности отобранных БАТ по Кульбаку с формированием списка информативных точек, который уточняется с учетом технологичности измерений их энергетических характеристик [1]–[5].

Из списка информативных БАТ с использованием алгоритма, описанного в работах [1], [2], выбирается группа диагностически значимых точек (ДЗТ), которые характеризуются тем, что одновременный выход сопротивлений БАТ за рамки установленных пределов (порогов) однозначно свидетельствует о нарушении энергетического баланса в структуре исследуемых органов (систем).

Условие энергетического разбаланса с выходом на расчет его уровня ER_S определяется выражением

$$\text{ЕСЛИ} \left[\left(\delta R_{r1}^D > \delta R^{II} \right) \text{ И } \left(\delta R_{r2}^D > \delta R^{II} \right), \dots, \left(\delta R_{r_{\text{гms}}}^D > \delta R^{II} \right) \right], \\ \text{ТО} \left[ER_S = F_E(EY_j) \right], \text{ ИНАЧЕ } (ER_S = 0), \quad (3)$$

где $\delta R_{Y_j}^D$ – величина относительного отклонения сопротивления R_{Y_j} из списка ДЗТ от своего номинального значения для БАТ с идентификатором Y_j ; δR^D – пороговое значение отклонений БАТ от номинального значения.

Исходя из величины информативности точки с номером j и (или) ее функций, определенных атласом меридиан, эксперты строят графики функций $EY_j(\delta R_j)$, для которых после усреднения определяются соответствующие аналитические выражения.

Максимальные значения EY_j^m рекомендуется выбрать из условия, что для выбранных точек из списка ДЗТ $ER_S \rightarrow 1$.

При наличии обучающих выборок вид и параметры агрегирующих функций F_E могут быть уточнены с использованием нечетких модификаций теории измерения латентных переменных и (или) метода группового учета аргументов [5]–[10].

После получения выражения (1) формируется экспертная группа из врачей-специалистов (кардиологов), которая изучает медико-биологические свойства параметра ER_S как информативного признака в задачах синтеза нечетких решающих правил прогнозирования, ранней и дифференциальной диагностики профессиональных заболеваний ω_j .

Согласованность действий этой экспертной группы проверяется по коэффициенту конкордации. При необходимости производятся коррекция и дообучение этой группы.

Учитывая меру доверия к роли биофизики акупунктуры и пользуясь рекомендациями работ [1], [2], [5], [8], для каждой патологии определяются формы и параметры функций принадлежности $m_{jF}(ER_S)$ к соответствующей математической модели.

Результаты

В работах [1], [2], [5] было показано, что для оценки состояния здоровья сердца в качестве информативных БАТ следует использовать точки С4, С6, С7, С8, и С9 с парой ДЗТ С7 и С9.

На экспертном уровне было определено, что появление и увеличение энергетического разбаланса $|\delta R_j| > 0$ свидетельствует об ухудшении функционального состояния (ФС), а уровень функционального состояния UFS целесообразно определять по величине энергетического разбаланса точек из ДЗТ в совокупности с другими информативными БАТ.

Для оценки величины UFS в соответствии с рекомендациями [1], [2], [5] введем понятие уровня ФС по каждой из информативных БАТ $UFSB_j(\delta R_j)$, типовой график которого представлен на рис. 1.

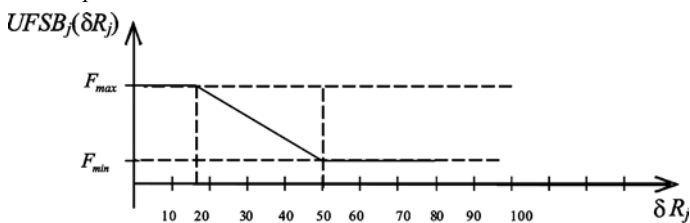


Рис. 1. Типовой график зависимости $UFSB_j(\delta R_j)$

Величина F_{max} выбирается экспертами и корректируется в ходе статистической проверки исходя из доверия экспертов к информативности точки с номером j по отношению к ее возможностям охарактеризовать понятие ФС сердечно-сосудистой системы (ССС) с учетом того, что различные точки (главные, сигнальные, сочувственные и т. д.) несут различную информацию о состоянии СССР. Величины F_{max} для различных точек в общем случае различны.

Они определяются на основании условия, насколько по энергетическому разбалансу точки можно судить о снижении уровня ФС. Поскольку по одной точке нельзя судить о полном отсутствии возможности системой выполнять свою работу, то $F_{min} > 0$.

В соответствии с рекомендациями [1], [2], [5], [8] оценку величины уровня FS сердечно-сосудистой системы по энергетическому разбалансу будем определять по формуле

ЕСЛИ $[(\delta R_{C7} > 15\%) \text{ И } (\delta R_{C9} > 15\%)]$, ТО

$$\left[UFS = \frac{1}{5} \sum_{j=1}^5 UFSB_j(\delta R_j) \right], \text{ ИНАЧЕ } (UFS = UFS^*),$$

где $j = 4, 6, 7, 8, 9$; UFS^* – величина уровня ФС, характеризующая информативную ценность ДЗТ для оценки функционального состояния сердечно-сосудистой системы. Для сердечно-сосудистой системы $UFS^* = 0,9$. Функции $UFSB_j(\delta R_j)$ описываются выражениями

$$UFSB_4(\delta R_{C4}) = \begin{cases} 0,3, & \text{если } \delta R_{C4} < 15\%; \\ -0,0018\delta R_{C4} + 0,33, & \text{если } 15\% \leq \delta R_{C4} < 70\%; \\ 0,2, & \text{если } \delta R_{C4} \geq 70\%; \end{cases}$$

$$UFSB_6(\delta R_{C6}) = \begin{cases} 0,3, & \text{если } \delta R_{C6} < 15\%; \\ -0,0018\delta R_{C6} + 0,33, & \text{если } 15\% \leq \delta R_{C6} < 70\%; \\ 0,2, & \text{если } \delta R_{C6} \geq 70\%; \end{cases}$$

$$UFSB_7(\delta R_{C7}) = \begin{cases} 0,7, & \text{если } \delta R_{C7} < 15\%; \\ -0,0014\delta R_{C7} + 0,91, & \text{если } 15\% \leq \delta R_{C7} < 50\%; \\ 0,2, & \text{если } \delta R_{C7} \geq 50\%; \end{cases}$$

$$UFSB_8(\delta R_{C8}) = \begin{cases} 0,9, & \text{если } \delta R_{C8} \leq 15\%; \\ -0,002\delta R_{C8} + 1,2, & \text{если } 15\% \leq \delta R_{C8} < 50\%; \\ 0,2, & \text{если } \delta R_{C8} \geq 50\%; \end{cases}$$

$$UFSB_9(\delta R_{C9}) = \begin{cases} 0,6, & \text{если } \delta R_{C9} \leq 15\%; \\ -0,0089\delta R_{C9} + 0,79, & \text{если } 15\% \leq \delta R_{C9} < 60\%; \\ 0,2, & \text{если } \delta R_{C9} \geq 60\%. \end{cases}$$

В работах [5], [8] было показано, что одним из показателей, характеризующих устойчивость органов и систем к появлению и развитию заболеваний, включая ССС, является соответствующий функциональный резерв, который может быть определен по энергетической реакции БАТ на дозированную эталонную нагрузку.

С учетом специфики исследуемого заболевания, традиционно используемую физическую нагрузку предлагается заменить на электрическую нагрузку, подаваемую как «противоток» естественному току меридиана сердца по Лиможе [2], [6]. С учетом выбранных ДЗТ, «противоток» энергии следует подавать в точках С3, С9. Согласно рекомендациям [2], [6], в качестве «тормозящей» нагрузочной пробы целесообразно выбрать однополярные прямоугольные импульсы частотой 80 Гц с регулируемой длительностью, заполняемые частотой 700 кГц с амплитудой 2 В.

Базовую переменную для оценки величины функционального резерва по энергетическому разбалансу БАТ предлагается определять по формуле

$$Z = \frac{UFS^0 - UFS^N}{UFS^0},$$

где UFS^0 – уровень оценки функционального состояния до нагрузки, UFS^N – после нагрузки.

При $UFS^0 = UFS^N$ тормозные сигналы не изменяют энергетику меридиана сердца, что соответствует максимальной величине функционального резерва, оцениваемого по энергетическому разбалансу БАТ. При $UFS^N = UFS^{\min}$ ($UFS^{\min} = 0,2$) величина функционального резерва минимальна.

С учетом этого эксперты построили график уровня функционального резерва UFR , представленный на рис. 2.

Аналитически график, представленный на рис. 2, описывается выражением

$$UFR = -2Z + 1.$$

По показателям UFS и UFR текущее состояние пациента с ИБС по энергетике БАТ удобно в соответствии с рекомендациями [5], [8] оценивать выражением

$$SI = UFS + UFR - UFS \cdot UFR.$$

С учетом сказанного и с учетом индивидуальных особенностей энергетики меридианных структур организма, оценку динамики развития ИБС удобно проводить, используя два показателя:

$$OD_1 = SI_K - SI_T;$$

$$OD_2 = (SI_K - SI_T) / T_K,$$

где SI_K – показатель SI , измеренный в контрольное время; SI_T – текущее измерение; T_K – время между текущим и контрольным измерениями.

Знак и величина параметров OD_1 и OD_2 характеризуют направление и величину изменения состояния пациента с ИБС. В случае неблагоприятных тенденций пациент должен быть направлен к врачу для уточнения его состояния [11], [12].

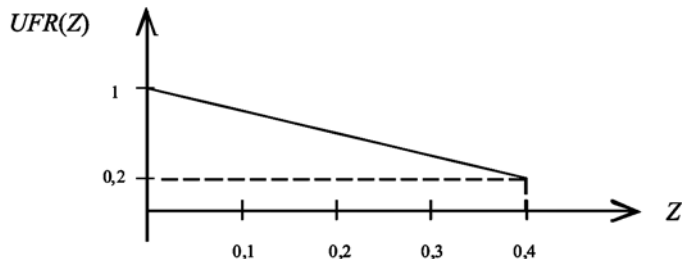


Рис. 2. График уровня функционального резерва

Достижения современной микроэлектроники позволяют создавать простые и дешевые приборы для контроля изменения электрического сопротивления БАТ и создания «тормозящих» электрических импульсов. На рис. 3 представлен вариант схемы такого прибора, выполненного с использованием аналогового интерфейса типа AD5933.

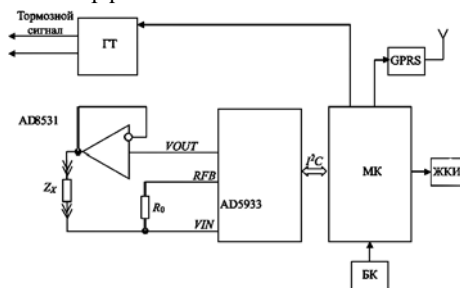


Рис. 3. Структурная схема прибора оценки динамики протекания ИБС

В этой схеме Z_X – измеряемый импеданс БАТ. Измерительный ток для оценки активной и реактивной составляющих Z_X создается внутренним генератором AD5933. Сопротивление R_0 задает коэффициент передачи внутреннего усилителя этой микросхемы. Тормозной сигнал формируется генератором тока (ГТ) по команде с микроконтроллера МК. Микроконтроллер производит все необходимые вычисления, включая расчет OD_1 и OD_2 , сопровождая их текстовыми комментариями. Отображение данных осуществляется жидкокристаллическим индикатором ЖКИ. Задание режимов работы и команд управления осуществляет блок клавиатуры (БК), информация о тревожном состоянии пациента врачу передается через модуль GPRS.

Заключение

В статье рассмотрен перспективный вариант средств контроля динамики развития ишемических процессов в сердце при условии, что диагноз ИБС уже установлен и требуется оперативное наблюдение за состоянием здоровья пациента в клинических, амбулаторных и домашних условиях.

В настоящее время описанные методы и средства контроля проходят клинические испытания в больницах г. Курска и Курской области.

Список литературы:

1. Корневский Н.А., Крупчатников Р.А. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений для врачей-рефлексотерапевтов. – Старый Оскол: ТНТ, 2013. 424 с.
2. Корневский Н.А., Крупчатников Р.А., Аль-Касасбех Р.Т. Теоретические основы биофизики акупунктуры с приложениями

в медицине, психологии и экологии на основе нечетких сетевых моделей. Монография. – Старый Оскол: ТНТ, 2018. 528 с.

3. Серегин С.П., Воробьева О.Н., Корневская С.Н. Математические модели прогнозирования и профилактики рецидивов инфарктов миокарда в реабилитационном периоде. Монография. – Курск: Юго-Зап. гос. ун-т, 2015. 166 с.
4. Корневский Н.А., Гадалов В.Н., Снопков В.Н. Математические модели рефлекторных систем организма человека и их использование для прогнозирования и диагностики заболеваний // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2012. Т. 11. № 2. С. 515-521.
5. Корневский Н.А., Шуткин А.Н., Горбатенко С.А., Серебровский В.И. Оценка и управление состоянием здоровья обучающихся на основе гибридных интеллектуальных технологий. Монография. – Старый Оскол: ТНТ, 2016. 472 с.
6. Гаваа Лувсан Традиционные и современные аспекты восточной рефлексотерапии. – М.: Наука, 1986. 576 с.
7. Корневский Н.А. Использование нечеткой логики принятия решений для медицинских экспертных систем // Медицинская техника. 2015. № 1 (289). С. 33-35.
8. Корневский Н.А., Родионова С.Н., Хрипина И.И. Методология синтеза гибридных нечетких решающих правил для медицинских интеллектуальных систем поддержки принятия решений. Монография. – Старый Оскол: ТНТ, 2019. 472.
9. Корневский Н.А., Артеменко М.В., Провоторов В.Я., Новиков Л.А. Метод синтеза нечетких решающих правил на основе моделей системных взаимосвязей для решения задач прогнозирования и диагностики заболеваний // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2014. Т. 13. № 4. С. 881-886.
10. Корневский Н.А., Шуткин А.Н., Бойцова Е.А. Оценка и управление состоянием здоровья на основе моделей Г. Раша // Медицинская техника. 2015. № 6. С. 37-40.
11. Быков А.В., Корневская С.Н., Комлев И.А. Прогнозирование развития критического состояния кровообращения сердца на основе нечетких моделей // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2018. № 1 (26). Т. 8. С. 74-87.
12. Комлев И.А., Шаталова О.В., Дегтярев С.В. Прогнозирование и оценка степени тяжести ишемии сердца на основе гибридных нечетких моделей // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2019. № 1 (30). Т. 9. С. 133-145.

Николай Алексеевич Корневский, д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой биомедицинской инженерии,

ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет»,

Игорь Юрьевич Григоров, преподаватель,

ОБПУ «Курский автотехнический колледж»,

Ксения Викторовна Разумова, программист II категории,

кафедра биомедицинской инженерии,

ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет»,

г. Курск,

Вячеслав Алексеевич Горбунов, д-р физ.-мат. наук, профессор,

кафедра информатики и информационных технологий,

ФГБОУ ВО «Вологодский государственный университет»,

г. Вологда,

Валентина Викторовна Дмитриева, канд. техн. наук,

ст. преподаватель, кафедра электрофизических установок,

НИЯУ «МИФИ»,

г. Москва,

Сергей Викторович Дегтярев, д-р техн. наук, профессор,

кафедра информационных систем и технологий,

ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет»,

г. Курск,

e-mail: kstu-bmi@yandex.ru