

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Лебедева Дмитрия Юрьевича «Исследование свойств мгновенного сердечного ритма на основе модели мультифрактальной динамики», представленную к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 - Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Построение эффективных математических моделей чрезвычайно сложных систем, принцип работы которых неизвестен, является актуальной задачей. Исследование в данной диссертации сердечно-сосудистой системы человека на основе математического моделирования и метода мультифрактальной динамики ставит важный вопрос о выявлении новых маркеров неблагоприятных сердечно-сосудистых эпизодов - быстро протекающих внезапных нарушений сердечного ритма.

Диссертация посвящена развитию и анализу методов математического моделирования мгновенного сердечного ритма (МСР) на основе модели мультифрактальной динамики (МФД) с целью исследования свойств его динамики с использованием больших массивов данных, полученных в результате холтеровского мониторирования (ХМ). Метод мультифрактальной динамики, основанный на положениях теории катастроф, позволяет адекватно подойти к проблеме описания переходных и кризисных состояний сложных систем. В рамках данной диссертации показан фрактальный (самоподобный) характер мгновенного сердечного ритма и проведено с помощью построенных математических моделей исследование скачков МСР, которые с математической точки зрения представляют собой катастрофы.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложения.

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель исследования и научные задачи, изложены положения, выносимые на защиту, их новизна, обоснованность и достоверность, представлены сведения о публикациях, апробации и реализации основных результатов диссертации.

В главе 1 приведены общие сведения о ХМ, фракталах, самоподобию вариаций МСР и способах расчета фрактальной размерности кривых МСР и скаттерограмм МСР. Отражены вопросы предварительной обработки данных и приведены доводы в пользу использования модели МФД.

В главе 2 строятся математические модели МСР на базе модели МФД, основы которой излагаются в этой главе. На первом этапе моделирования произведен выбор переменных и параметров математической модели. Получены уравнения, описывающие кусочно-линейный тренд МСР. Предложена классификация типов его динамики в зависимости от значения фрактальной размерности D кривой сердечного ритма.

В главе 3 проведен анализ динамики МСР на основе построенных математических моделей по реальным данным пациентов Тверского областного кардиологического диспансера.

В главе 4 построена математическая модель, описывающая скачки МСР и на ее основе проведен анализ данных ХМ. В ней скачки МСР представляют собой катастрофы, флагом которых служит значение фрактальной размерности МСР. Скачки МСР в построенной модели имеют место тогда, когда фрактальная размерность МСР D достигает точки бифуркации D_b .

В главе 5 предложено анализировать вариабельность сердечного ритма на всем интервале наблюдения с помощью оценки показателей скаттерограмм МСР, сочетающих в себе количественный и качественный подходы. Количественный анализ включает в себя показатели фрактальной размерности по множеству точек двумерной скаттерограммы. Составлен и реализован новый алгоритм вычисления фрактальной размерности D скаттерограмм МСР. В его основе лежит использование нормировочной функции, построенной по данным измерений фрактальных размерностей различных фрактальных решеток с известной переменной фрактальной размерностью в R^2 клеточным методом. Для визуализации различных форм нарушений ритма сердца предложен более информативный по сравнению с двумерными скаттерограммами метод визуализации массива суточных данных ХМ на основе цветных трехмерных скаттерограмм.

В заключении сформулированы основные результаты работы.

В диссертации автором получены следующие важные результаты:

1. На основании опытных данных построена функция МСР $y(t)$ и показан ее фрактальный (самоподобный) характер с погрешностью не более 5%. Также показана фрактальность (самоподобие) скатерограммы МСР с крайне низкой погрешностью менее 0,01%;

2. Получены основные уравнения, определяющие динамику линейного тренда МСР в рамках построенных в данной работе математических моделей и вычислены их параметры для интересующего ряда временных интервалов;

3. На основании анализа опытных данных обнаружены и исследованы особенности скачков МСР. Показано, что в рамках построенной математической модели скачки МСР представляют собой катастрофы, флагом которых может служить значение фрактальной размерности МСР. Сформулирован критерий возникновения скачков МСР;

4. Составлен и реализован алгоритм вычисления фрактальной размерности скаттерограмм МСР с использованием нормировки результатов вычислений по фрактальным решеткам в R^2 , который позволяет существенно увеличить точность измерения фрактальных размерностей скаттерограмм МСР;

5. Продемонстрирована эффективность визуализации различных форм нарушений сердечного ритма на основе использования цветных 3D скаттерограмм МСР.

Практическая значимость работы заключается в том, что применение разработанных математических моделей позволяет проводить мониторинг динамики МСР с целью прогнозирования бифуркационных явлений, для которых характерно наличие скачков средней скорости изменения МСР. Проведенное исследование показывает перспективность использования фрактальных свойств МСР в качестве маркера состояний сердечно-сосудистой системы. В частности, построенная модель МФД может быть положена в основу разработки критериев для своевременного имплантирования кардиовертера-дефибриллятора, систем экспресс-анализа нарушений сердечного ритма.

Обоснованность и достоверность научных положений и выводов обеспечивается использованием математических моделей, построенных на основе модели мультифрактальной динамики, успешность применения которых подтверждена соответствием рассчитанных параметров этих моделей и клинических особенностей состояния исследуемых пациентов.

В диссертационной работе можно указать следующие недостатки:

1. В работе недостаточно подробно изложено обоснование критерия разделения МСР на две области: регулярного ритма и области скачков.
2. В работе недостаточное внимание уделено вопросу о выборе и разбиении конкретного временного интервала, на котором проводится исследование МСР.

Данные замечания не влияют на высокую оценку результатов диссертации. Работа выполнена на высоком научном уровне, содержит необходимые элементы новизны, имеет научное и практическое значение. Публикации в полной мере отражают научные положения и выводы, содержащиеся в диссертации. Результаты изложены в 8 работах, 7 из которых в журналах из Перечня ведущих рецензируемых научных изданий. Диссертация соответствует паспорту специальности 05.13.18, поскольку базируется на создании и применении оригинальных математических моделей, разработке и реализации комплекса программ для численного решения соответствующих систем уравнений.

Считаю, что диссертация Д.Ю. Лебедева «Исследование свойств мгновенного сердечного ритма на основе модели мультифрактальной динамики» соответствует всем требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 - Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Официальный оппонент:

Ведущий научный сотрудник

Лаборатории теоретической физики им. Н. Н. Боголюбова

Объединенного института ядерных исследований,

доктор физико-математических наук, профессор

e-mail: vinitsky@theor.jinr.ru; тел.: +7 49621 63348

Виницкий С.И.

Подпись Веницкого Сергея Ильича заверяю

Ученый секретарь

Лаборатории теоретической физики им. Н. Н. Боголюбова

Объединенного института ядерных исследований,

Лаборатория теоретической физики им. Н. Н. Боголюбова, ОИЯИ,

ул. Жолио-Кюри 6, г. Дубна, Московская обл., Россия, 141980

e-mail: bltp@theor.jinr.ru, тел.: +7 49621 63695



Андреев А.В.