

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ
Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра динамического моделирования и биомедицинской инженерии

Исследования особенностей вегетативной регуляции системы
кровообращения новорожденных, взрослых и детей

наименование темы выпускной квалификационной работы

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

Студента (ки) 4 курса 4081 группы

направления 12.03.04 «Биотехнические системы и технологии»

профиль подготовки «Методы и устройства обработки биосигналов»

институт физики

Акст Анна Андреевна

фамилия, имя, отчество

Научный руководитель:
доцент, к.ф.-м.н.


14.06.2024
подпись, дата

В.В. Сказкина

Зав. кафедрой динамического
моделирования и
биомедицинской инженерии,
д.ф.-м.н., профессор


14.06.2024
подпись, дата

А.С. Карavaев

Саратов 2024

Введение. Целью работы является исследование особенностей связей регуляторных механизмов сердечно-сосудистой системы и дыхания у новорожденных с помощью нелинейных методов.

Разработка методов функциональной диагностики органов и систем новорожденных является достаточно актуальной задачей. Как известно процессы регуляции у новорожденных детей работают иначе, чем у взрослых и изучены хуже, поэтому перспективно использовать различные методы анализа, в том числе методы нелинейной динамики. Именно сбой работы некоторых органов и систем в младенческом возрасте могут стать причиной развития опасных патологий в подростковом и взрослом возрасте, когда для их лечения потребуется достаточно много средств и времени.

Данное направление исследования является особо актуальным и перспективным, потому что дает возможность выявить отклонения в работе внутренних систем и органов ещё до возникновения серьезных изменений, а значит и серьёзных патологий.

Выпускная квалификационная работа состоит из введения, трех глав, заключения и списка использованных источников.

Глава 1 «Объект исследования» содержит обзор известных к настоящему моменту сведений об контурах вегетативной регуляции кровообращения и регуляции частоты сердечных сокращений.

Глава 2 «Результаты усреднения сигналов методом Уэлча» содержит описание спектрального метода и полученные результаты.

Глава 3 «Оценка степени фазовой синхронизации систем с помощью расчета суммарного процента фазовой синхронизации» содержит описание использование нелинейного метода, расчет процента фазовой синхронизации и анализ полученных данных, а также в качестве статистической оценки был использован тест Краскела-Уоллиса.

В заключении сформулированы основные результаты и выводы.

Основное содержание работы. Работа состоит из трёх основных глав.

Первая посвящена изучению компонентов регуляции сердечно-сосудистой системы, обзору определенной литературы, а также было важно понять какой метод исследования приведет к более точному результату.

Объектом исследования являются компоненты регуляции состояния сердечно-сосудистой системы (ССС). В регуляции работы ССС принимает участие трудный комплекс компонентов контроля. Достаточно большое влияние на регуляцию сердечного ритма и артериального давления оказывают симпатический и парасимпатический контуры, а так же процесс дыхания и гуморальная регуляция.

При использовании различных методов анализа сигналов таких как, спектральный, корреляционный и статистический, которые информируют о работе контуров вегетативного контроля кровообращения, был выявлен ряд возможностей для диагностики состояния ССС, с помощью которых можно предвидеть определенные патологии и преждевременно предотвратить их или не дать развиваться до более серьезного заболевания.

Таким образом, например, в настоящее время в медицине достаточно широкое распространение имеют методы спектрального анализа, которые направлены на изучение сердечного ритма. Они используются: для прогнозирования риска смерти у людей с какими-либо патологиями ССС; для выявления определенной группы риска по развитию различных патологий, которые серьезно угрожают жизни; для выбора наиболее эффективного медикаментозного лечения; для более точного исследования состояния организма во время физической нагрузки; для оценки состояния внутренних систем и органов в младенчестве и более позднем возрасте; для исследования состояния плода в акушерстве и других направлениях использования методов анализа сердечного ритма.

К сожалению, спектральный и статистический методы достаточно ограничены в своих возможностях при анализе сигналов контуров вегетативного контроля кровообращения. Это связано, во-первых, со сложной структурой

механизмов ССС и большим количеством нелинейных колебательных компонентов, которые в свою очередь взаимодействуют между собой. Поэтому, для того, чтобы было возможно анализировать достаточно сложные сигналы, используются определенные методы, которые ориентируются на анализ нелинейных систем. С помощью таких методов исследователю удастся более точно произвести все вычисления и найти важную качественно новую информацию, которая имеет большое значение для дальнейших исследований.

Но для того, чтобы метод нелинейного анализа привел к успеху, необходимо использовать только адаптированные методы, которые позволяют анализировать конкретные интересующие системы, где параметры подбираются для анализа сигналов определенной группы испытуемых. Такие методы подразумевают достаточно высокую квалификацию исследователя, потому что работа с этими методами очень тщательная. Но в итоге можно получить достаточно важные результаты, которые оправдывают приложенные усилия.

Вторая глава посвящена анализу данных. В этой главе мы использовали спектральный метод и проанализировали полученные результаты.

Метод Уэлча заключается в разбиении всего временного ряда на пересекающиеся временные сегменты, вычислении на каждом из сегментов модифицированных периодограмм со сглаживанием окном и получении, в качестве оценки спектральной плотности, усредненных сглаженных периодограмм по всем сегментам.

С помощью готовой программы можно построить спектры экспериментальных сигналов для дальнейшего анализа.

На вход подаём данные с сигналами КИГ и ФПГ левой руки новорожденных в возрасте от 1 до 3 дней жизни, детей в возрасте до 1 месяца жизни и взрослых людей от 18 до 21 года.

Данный метод может быть реализован с помощью следующего алгоритма (рисунок 1):

- 1) Временный ряд разбивается на окна шириной W_N со сдвигом W_S , число окон

равно $C = \frac{N-W_N}{W_S} + 1$;

- 2) С каждым из окон для уменьшения эффекта утечки осуществляется оконное преобразование: $y_i^k = x_i * w_i$, где k – номер окна, $k = \overline{0, C-1}$;
- 3) По полученным реализациям $\{y_i^k\}$ с помощью БПФ строятся периодограммы $|\hat{S}_p^k(f_h)|^2$;
- 4) Спектр оценивается как результат усреднения периодограмм: $|\hat{S}(f_h)|^2 = \frac{1}{C} \sum_{k=0}^{C-1} |\hat{S}_p^k(f_h)|^2$; [1]

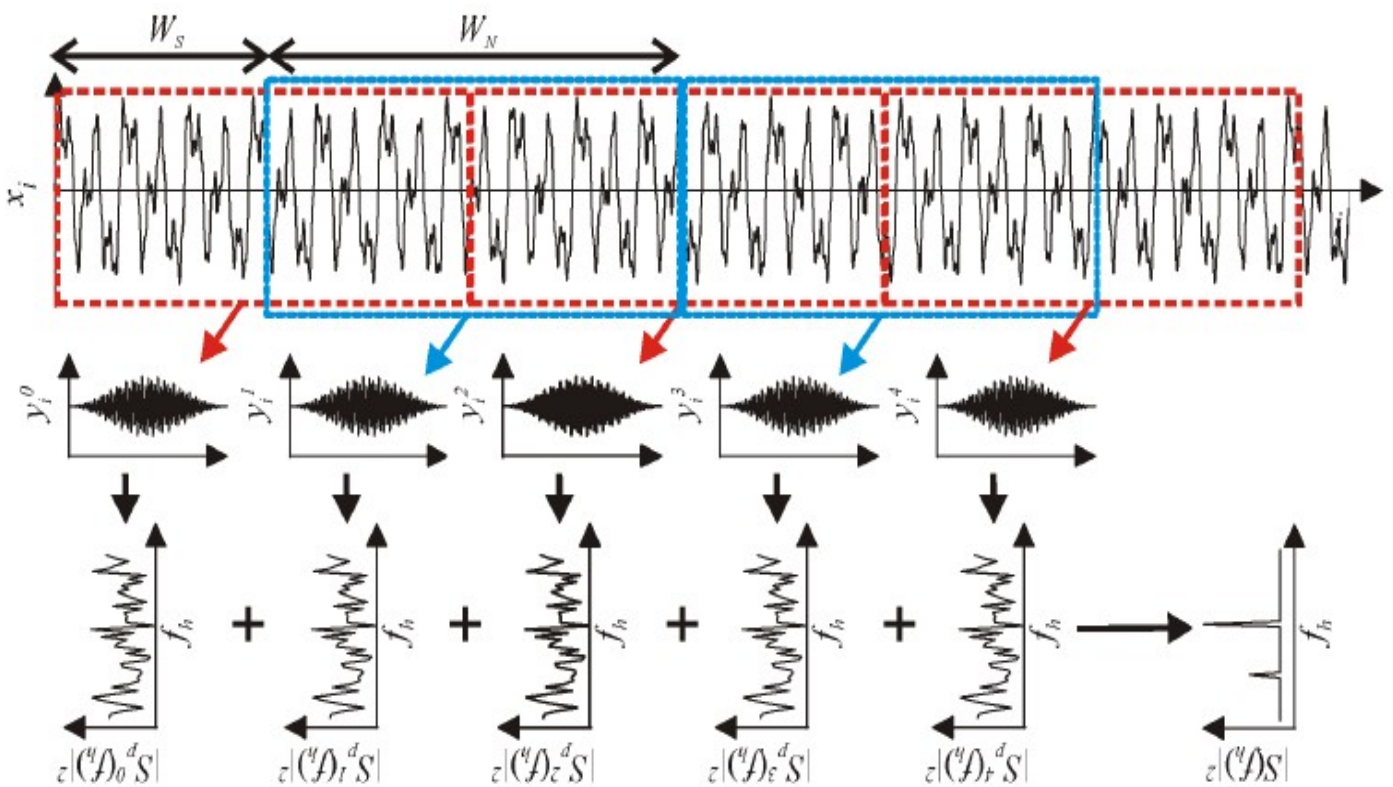


Рисунок 1 - Иллюстрация алгоритма оценки спектра мощности с помощью метода Уэлча

Просмотрев полученный результат для сигналов взрослых здоровых людей в возрасте от 18 и до 21 года получаем, что своего пика сигналы чаще всего достигают в диапазонах LF [0,04;0,15] и HF [0,15;0,5]. Исходя из этого, можно сделать вывод о том, что принципиально новых данных после использования спектрального метода не были получены, но мы убедились, что

пики наблюдались в LF и HF диапазонах, поэтому становится возможным обратиться к более точному и функционально совершенному методу - нелинейному.

Предполагается, что принципиально новые данные можно получить из нелинейного метода, а именно с помощью оценки степени фазовой синхронизации систем, для которой необходимо будет рассчитать суммарный процент фазовой синхронизации.

В эксперименте были задействованы сигналы, которые представляют собой временную реализацию из более, чем 200 тысяч точек. Для более точного результата LF диапазон необходимо сузить до [0.06: 0.14] Гц.

Получилось, что нельзя явно выделить пик каждого сигнала новорожденных здоровых в возрасте от 1 до 3 дней жизни. Полученные графики отличаются от графиков взрослых здоровых людей. Для того, чтобы выявить особенности вегетативной регуляции сердечно-сосудистой системы у новорожденных, необходимо разработать программу, которая автоматически выдает результат поиска пиков на LF и HF частотах с максимальной амплитудой.

Принцип работы программы заключается в том, что в LF и HF диапазонах рассчитываются локальные максимумы. Если в каждом диапазоне заданных частот таких точек больше одной, то в файл записывается та, у которой амплитуда наибольшая среди них. Для удобства «нужные» точки обозначены звездочками синего и красного цвета на LF и HF частоте соответственно.

На выход получаем графики сигналов здоровых взрослых людей, где каждый локальный максимум обозначается звездочкой. В таком виде наиболее наглядно видна особенность данных сигналов: в каждом диапазоне частот существует пик, амплитуда которого намного больше всех остальных.

Таким же образом проанализируем сигналы здоровых детей. Заметим, что на LF и HF диапазонах наблюдаются пики, но менее четкие, чем у сигналов здоровых взрослых людей.

Проделаем то же самое для сигналов здоровых новорожденных детей и проанализируем. Теперь на заданном диапазоне частот видны четкие пики каждого сигнала. Но, тем не менее, расположение пиков заметно отличается от пиков сигналов взрослых людей и здоровых детей.

Полученные показания отличаются от показаний здоровых взрослых людей. Практически все показатели у новорожденных детей больше, чем у взрослых людей. Большинство показаний сигналов здоровых детей превосходят соответствующие показания сигналов здоровых взрослых и новорожденных.

Проанализировав аналогично все сигналы получаем, что большинство показаний сигналов ФПГ левой руки здоровых новорожденных детей превышают показания этих же сигналов здоровых взрослых людей и здоровых детей. Лишь показания сигнала КИГ новорожденных детей оказались меньше, чем показания здоровых взрослых людей и здоровых детей. Исходя из этого, можно сделать вывод о том, что принципиально новых данных после использования спектрального метода не были получены, но мы убедились, что пики наблюдались в LF и HF диапазонах, поэтому становится возможным обратиться к более точному и функционально совершенному методу - нелинейному.

Исходя из вышесказанного, предполагается, что принципиально новые данные можно получить из нелинейного метода, а именно с помощью оценки степени фазовой синхронизации систем, для которой необходимо будет рассчитать суммарный процент фазовой синхронизации.

Третья глава посвящена нелинейному методу анализа динамики фаз. В этой главе мы рассмотрим как два контура (контур вегетативной регуляции артериального давления и контур вегетативной регуляции частоты сердечных сокращений) связаны между собой.

Для количественной оценки синхронизации исследуемых процессов использовала суммарный процент фазовой синхронизации (индекс S), который

представляет собой отношение суммы длин d_k интервалов синхронизации к общей длине T записи:

$$S = \frac{\sum_{k=1}^N d_k}{T} * 100\%,$$

где k – номер интервала синхронизации, а N – количество таких интервалов. Индекс S представляет собой процент времени, когда исследуемые процессы вегетативного контроля кровообращения проявляли фазовую синхронизацию.

Для нахождения суммарного процента фазовой синхронизации была использована готовая программа SurrSynch(2.33), которая позволяет загрузить результаты сигналов ФПГ уха и КИГ, представленные в текстовом формате, и на выходе получить изображения промежуточных вычислений и искомый суммарный процент фазовой синхронизации S .

В эксперименте были задействованы сигналы, которые представляют собой временную реализацию из более, чем 200 тысяч точек. Для более точного результата LF диапазон необходимо сузить до $[0.06, 0.14]$ Гц.

Полученные результаты были занесены в таблицу, чтобы в дальнейшем можно было произвести сравнение трех групп: здоровых новорожденных, здоровых детей и здоровых взрослых людей. Для сравнения были рассчитаны такие показатели как среднее значение, медиана – квартиль 2, стандартное отклонение, квартиль 3.

Исходя из полученной таблицы, можно сделать вывод о том, что значимых сигналов у здоровых взрослых людей гораздо больше, чем у здоровых новорожденных и здоровых детей. А так же все найденные показатели у взрослых людей значительно больше чем у двух других групп.

Суммарный процент фазовой синхронизации у взрослых людей самый большой - 62%, далее по убыванию идет группа детей в возрасте от 30 дней

жизни - 24%, и замыкает группа новорожденных - 22%. Из этого можно сделать вывод о том, что с взрослением у человека укрепляется связь между контуром вегетативной регуляции артериального давления и контуром вегетативной регуляции частоты сердечных сокращений.

Для статистической оценки использовался тест Краскела–Уоллиса с апостериорными сравнениями. В таблице 1 представлены результаты данного теста, где z_1 – апостериорное сравнение со взрослыми испытуемыми, а z_2 – апостериорное сравнение со здоровыми новорожденными до 3 дней жизни.

Таблица 1 – Статистическая оценка тестом Краскела-Уоллиса

	Контрольная группа здоровых взрослых (n=32)	Здоровые новорожденные до 3 дней жизни (n=29)	Здоровые дети до 30 дней жизни (n=5)	Критерий Краскела-Уоллиса
S, %		$z_1=6.14, p<0.001$	$z_1=2.79, p=0.016$ $z_2=0.48, p=1.000$	$H=39.35, p<0.01$

Как и предполагалось в начале исследования, группы новорожденных и детей статистически отличаются от контрольной группы здоровых взрослых, а вот группа новорожденных и детей статистически не отличаются.

В среднем можно наблюдать увеличение значения S с увеличением возраста испытуемого. Из этого можно сделать вывод, что это отражение незрелости регуляторных контуров у новорожденных, которое мы видим по суммарному проценту фазовой синхронизации. У новорожденных и детей этот показатель значимо меньше, чем у здоровых взрослых людей. Однако у детей и новорожденных S практически не отличается, это говорит о том, что за месяц жизни регуляторные контуры не успевают окрепнуть. Метод позволил выявить

принципиально новые знания о сигналах здоровых новорожденных, здоровых детей и взрослых людях.

Как и предполагалось в начале исследования, результаты исследования показали различия в среднем значении по группе. Метод позволил выявить принципиально новые знания о сигналах здоровых новорожденных, здоровых детей и взрослых людях.

Заключение. Таким образом, можно сделать вывод о том, что спектральный метод позволяет оценить общую активность систем в частотных диапазонах, а метод нелинейной динамики позволяет оценить степень взаимодействия исследуемых систем

Итак, связь между контуром вегетативной регуляции артериального давления и контуром вегетативной регуляции частоты сердечных сокращений усиливается с взрослением человека. У новорожденных детей данная оценка связи составляет 22%, у здоровых детей 24% и у взрослых людей 62%, что может свидетельствовать о незрелости регуляторных контуров у новорожденных. Данный вывод подтверждает и тест Краскела-Уоллиса в качестве статистической оценки. Он показал, что действительно выборка здоровых взрослых статистически отличается от выборки новорожденных и детей.

14.06.2024
Аксент А.А. Аксент