

СОЗДАНИЕ КОМПЛЕКСА ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ АНАЛИЗА ЭЛЕКТРОФИЗИОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ПРИ АПНОЭ

А.В. Андреева

Уральский государственный медицинский университет Минздрава России

Работа обобщает основные результаты анализа электрической активности головного мозга при апноэ методами нелинейной динамики. Представлены возможности применения разработанных программно-инструментальных средств оценки нелинейных живых систем, позволяющих определить основные хаотические характеристики и параметры системы.

Ночное апноэ – временная остановка дыхания во сне, которая может происходить за ночь многократно (более пяти событий в час) и длиться более десяти секунд. Нехватка кислорода в организме в результате многократных остановок дыхания во сне может привести к серьезным заболеваниям – инсульту, инфаркту миокарда, сердечной недостаточности, аритмии сердца, повышенному артериальному давлению и т.д. Различают три формы апноэ: центральную, обструктивную и смешанную. В данной работе была исследована обструктивная форма апноэ сна. При нормальном сне мышцы, которые контролируют язык и мягкое небо, удерживают верхние дыхательные пути в открытом состоянии и воздух поступает в легкие беспрепятственно. Но если эти мышцы расслабляются, то дыхательные пути оказываются суженными частично (возникает храп – из-за вибрации мягкой ткани гортани при вдохе) или полностью, и тогда возникает обструктивное апноэ сна, при этом дыхательные движения живота и грудной клетки сохраняются (рис. 1).

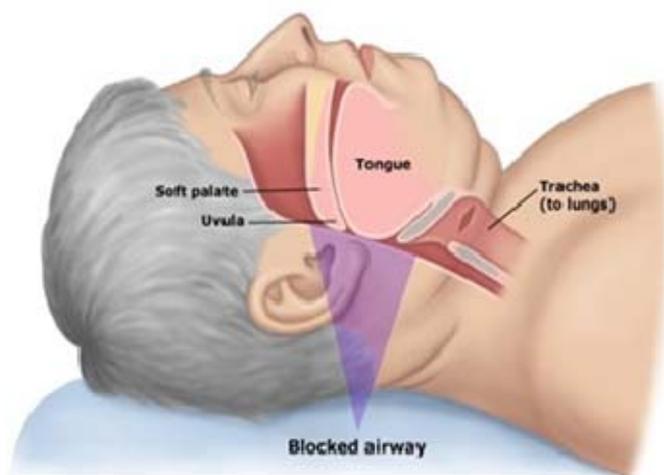


Рис. 1. Обструктивное апноэ сна

Диагностируют данное заболевание с помощью полисомнографического исследования – метода длительной регистрации различных функций организма во время сна (рис. 2). Регистрация параметров исследования осуществляется в течение всего ночного сна (6 – 8 часов).



Рис. 2. Пример записи сигналов различных функций организма полисомнографом

После удаления артефактов результаты обследования расшифровываются врачом. Одним из основных параметров регистрации является электроэнцефалограмма (ЭЭГ) – метод исследования электрической активности головного мозга, основанный на регистрации его потенциалов. На ЭЭГ можно выделить большое количество разнообразных ритмов и периодических колебаний. Частотный состав ЭЭГ, характеризующий электрическую активность головного мозга, может изменяться в зависимости от функциональной активности данной области и от ее взаимодействий с другими областями [1].

Отсутствие прямых клинических и электроэнцефалографических признаков, по которым можно было бы предсказать остановку дыхания, подтолкнуло к исследованию электрического потенциала головного мозга с помощью математического аппарата нелинейной динамики и теории динамического хаоса [2].

Цель исследования состояла в разработке программного продукта для диагностического комплекса оценки электрофизиологической информации с использованием методов нелинейной динамики и искусственного интеллекта.

В ходе работы были рассмотрены возможности интеллектуальной обработки и применения разработанных программно-инструментальных средств оценки нелинейных систем, позволяющих определить основные хаотические характеристики и параметры системы. На базе АНО «Клинический институт мозга» было проведено полисомнографическое исследование 42 пациентов (10 женщин и 32 мужчин) с данным заболеванием. Исходные медицинские данные представляют собой пары наборов действительных чисел. Каждый набор получен в результате дискретизации сигнала, шаг дискретизации равен 0,005 с. Для реализации программного продукта был выбран язык программирования C# (целевая платформа .NETFramework). Минимальные рекомендуемые системные требования совпадают с таковыми для клиентского профиля .NET 4. В программе используются возможности библиотеки Task Parallel Library, благодаря чему программа эффективно использует ресурсы многоядерных систем, получая значительный прирост производительности от увеличения числа исполнителей, автоматически подстраиваясь под их количество. Для построения графического интерфейса использовалась система Windows Presentation Foundation. Это позволило создать визуально приятные графики без существенных затрат ресурсов непосредственно на их отображение. Для реализации нейросетевой обработки хаотических процессов, которая по-

звolyет идентифицировать хаотическое поведение динамической системы и прогнозировать ее временные характеристики, было принято решение воспользоваться пакетом GANS (Genetic algorithms and neural systems [3,4]). Пакет содержит общую архитектуру и реализацию на ее основе нейронных сетей, генетических алгоритмов и алгоритмов коллективного разума. За счет особенностей архитектуры достигаются широкие возможности внесения в пакет дополнительного кода с реализациями нестандартных алгоритмов, а также реализации новых типов интеллектуальных систем. Пакет распространяется с открытым исходным кодом по открытому лицензионному соглашению (GPL) GNU, являясь, в упрощенном понимании, программным обеспечением. Вывод результатов разработанной программы осуществляется на экран ПК, а также в HTML-формат (изображения сохраняются в формате PNG).

При разработке программного продукта в качестве исходных данных использовались классические хаотические системы малой размерности: система Энона, система Лоренца, система Ресслера (в качестве тестовых систем), а также последовательности случайных чисел – так называемый «белый шум» и синусоида.

Программно были реализованы следующие способы и методы анализа нелинейных систем: метод псевдофазовых и фазовых портретов, определение временной задержки и размерности пространства вложения, расчет показателей Ляпунова и определение времени забывания начальных условий, эволюция фазового объема, анализ аттракторов фазовых траекторий, оценка энтропии Колмогорова, расчет показателя Херста, спектральный анализ. Исследователю предлагается загрузить файл с исходными данными временного ряда, произвести необходимые настройки и оценить полученные данные по вышеперечисленным методам. Система обрисовки изображений оформлена в виде отдельной структурированной объектной модели, благодаря чему было достигнуто увеличение быстродействия системы. Программа обеспечивает пакетный режим обработки исходных данных, что позволяет обрабатывать одновременно несколько файлов. Получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2012617166.

Автоматическая обработка хаотических процессов была разделена на ряд этапов. Первый этап – анализ временного ряда. В результате его выполнения определяются размерность пространства вложения (метод ближайших ложных соседей) и временная задержка (метод взаимной информации, метод автокорреляционной функции). Определение параметров вложения обеспечивает максимальную предсказуемость временного ряда. Используя результаты предыдущего этапа, осуществляется идентификация хаотического процесса путем вычисления наибольшего показателя Ляпунова, определение времени забывания начальных условий, эволюции фазового объема, анализ аттракторов фазовых траекторий, вычисление энтропии Колмогорова, показателя Херста, метод псевдофазовых и фазовых портретов.

Результаты анализа ЭЭГ показывают на наличие хаотической детерминированной составляющей. Рассчитанные характеристические показатели Ляпунова имеют диагностическое значение и подтверждают теорию присутствия хаоса в системе. Для условно здоровых участков сигнала значение характеристического показателя Ляпунова выше, это говорит о большей степени хаотичности сигнала для мозга в условно здоровом состоянии. Исследования различных типов сигналов показали, что чем сложнее аттрактор системы, тем в более спокойном и здоровом состоянии находится «система» (пациент), а при апноэ степень хаотичности снижается. Показатель Ляпунова при нормальном функционировании системы принимает значения внутри некоторого диапазона, характерного для данной системы. Отклонение этого показателя в любую сторону негативно характеризует функционирование системы. Применение аппарата нелинейной динамики может служить мощным средством анализа электрической активности головного

мозга и помочь выработать новые стратегии предсказания времени начала приступа. Отличительной особенностью данного исследования является снижение субъективности расшифровки сигнала, принципиальное улучшение точности и быстродействия.

Литература

1. Ситникова Е.Ю., Короновский А.А., Храмов А.Е. Анализ электрической активности головного мозга при абсанс-эпилепсии: прикладные аспекты нелинейной динамики // Известия вузов «ПНД». Нелинейная динамика и нейронаука. 2011. Т.19, №6. С.173–182.
2. Кузнецов С.П. Динамический хаос. Курс лекций. М.: Физматлит, 2001.
3. Окуловский Ю.С. A model and implementation of universal engine for neural systems. // 9-й международная конференция «Интеллектуальные системы и компьютерные науки», труды конференции, II том. М., 2006. С. 21–24.
4. Конончук Д.О., Окуловский Ю.С. Универсальный пакет поддержки интеллектуальных вычислений GANS // VI Всероссийская межвузовская конференция молодых ученых. Труды конференции. Выпуск 4. Математическое моделирование и программное обеспечение. СПб., 2009. С. 151–157.