

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра Физики открытых систем

**Анализ нейрофизиологических сигналов с использованием метода
частотных паттернов**

**АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ (МАГИСТЕРСКОЙ, ДИПЛОМНОЙ)
РАБОТЫ**

Студента 4 курса 4041 группы
направления (специальности)

09.03.02 «Информационные системы и технологии»

код и наименование направления (специальности)

Института физики

наименование факультета, института, колледжа

Блинова Владимира Константиновича

фамилия, имя, отчество

Научный руководитель

доцент кафедры физики

открытых систем, к.ф.-м.н.

должность, уч. степень, уч. звание

дата, подпись

М.О. Журавлев

инициалы, фамилия

Заведующий кафедрой

физики открытых систем,

д.ф.-м.н., профессор

должность, уч. степень, уч. звание

дата, подпись

А.А. Короновский

инициалы, фамилия

Саратов 2023 год

Введение

Анализ нейрофизиологических сигналов помогает понимать, как работает мозг и как он реагирует на внешние стимулы. Это позволяет разработать новые методы лечения и понимать более глубоко различные патологии мозга.

Одним из известных методов анализа нейрофизиологических сигналов является электроэнцефалография (ЭЭГ), которая измеряет электрическую активность мозга[1].

ЭЭГ (электроэнцефалография) - это метод исследования, который позволяет записать электрическую активность головного мозга, используя электроды, которые размещаются на коже головы. Этот метод позволяет изучать функционирование головного мозга в разных условиях, например, во время сна, отдыха, концентрации или в процессе решения задач.

ЭЭГ используется в научных исследованиях для изучения состояния головного мозга при выполнении разных задач и для анализа психологических функций человека. Этот метод также используется в нейробиофидбеке, когда пациенты могут регулировать свою электрическую активность мозга, улучшая тем самым свое здоровье и повышая свои когнитивные возможности.

С физической точки зрения реализация ЭЭГ представляет собой сложный нестационарный сигнал, генерируемый нервными клетками коры головного мозга. В зависимости от того, откуда был взят сигнал, различают два типа ЭЭГ: скальповую (неинвазивную) и внутричерепную (инвазивную). В случае скальповой ЭЭГ маленькие металлические электроды помещаются на скальп с хорошим механическим и электрическим контактом. Внутричерепная ЭЭГ получается путем имплантации специальных электродов, вживляемых в мозг во время операции. Изменения разности потенциалов между электродами с низким импедансом (<5 кОм) обнаруживаются и усиливаются перед передачей в компьютерную программу для отображения отслеживания записей потенциалов напряжения.

Исторически сложилось так, что анализ ЭЭГ включает в себя изучение следующих характеристик: частота (или длина волны); напряжение (или амплитуда); регулярность формы волны; и реактивность на открывание глаз, гипервентиляцию и фотонную стимуляцию посредством визуального осмотра, различных типов вызванных потенциалов и анализа Фурье. Количественный анализ, основанный на подходе Фурье, позволяет определить усредненный частотный состав по конечному временном интервале, но не позволяет рассмотреть, как изменяется во времени частотный состав сигнала. Поэтому хорошо применимы другие методы анализа нестационарных сложных сигналов, разработанные и применяемые в нелинейной динамике, такие как анализ временных рядов, пространственно-временной анализ, сетевые подходы, и т. д. Кроме того, в настоящее время применяются методы обработки ЭЭГ, основанные на искусственные нейронные сети и машинное обучение, занимают значительную нишу прикладных задач, таких как фильтрация артефактов сигнала, автоматическое обнаружение особых событий, модули VCI и т. д.[2].

Анализ биологических данных методами нелинейной динамики может дать информацию о функциональном состоянии живых систем. Огромный объем информации о состоянии организма можно получить из электрических сигналов, сопровождающих процессы в работе сердца и головного мозга. В последнее время разработано множество диагностических методик, основанных на таком подходе, однако задача диагностики (особенно ранней диагностики) различных заболеваний до сих пор полностью не решена[5].

Многие исследовательские группы используют вейвлет-анализ для изучения ЭЭГ. Этот подход нашел применение в широком диапазоне задач, связанных с анализом ЭЭГ (например, в исследованиях эпилепсии и стадировании сна). Вейвлет-анализ является основным инструментом для обработки данных ЭЭГ в режиме реального времени и создания устройств интерфейса мозг-компьютер (ИМК) . как следствие, возможность выполнения частотно-временной развертки нестационарных сигналов. Это позволяет нам

видеть взаимодействие событий мелкого масштаба, перерастающих в крупномасштабные явления.

В представленной работе мы используем вейвлет-скелетный подход для выявления некоторых характерных закономерностей в ЭЭГ взрослых здоровых пациентов и пациентов с когнитивными дисфункциями. Мы стараемся избежать сильной индивидуальной вариабельности в динамике мозговой деятельности, исследуя состояние ночного сна пациентов. Затем сравнивают общее количество паттернов и их усредненную длительность для здоровых и нездоровых пациентов. В некотором частотном диапазоне разница между длительностью паттернов достаточно велика, чтобы можно было распознать МСИ[3].

Основное содержание работы

В рамках работы мною была написана программа для проведения анализа сигналов с помощью метода частотных паттернов. Проведен статистический анализ ЭЭГ людей, разбитых на две группы и, записанная во время сна.

В работе был проведен статистический анализ ЭЭГ методом частотных паттернов на предмет нахождения когнитивных отклонений в работе головного мозга.

Для удобства анализа частотные паттерны были разбиты на следующие интервалы: Δf_1 [1; 2,5] Гц, Δf_2 [2,5; 4,5] Гц, Δf_3 [4,5; 6,5] Гц, Δf_4 [5; 9] Гц, Δf_5 [9; 12] Гц, Δf_6 [12; 14] Гц, Δf_7 [14; 20] Гц, Δf_8 [20; 30] Гц, Δf_9 [7; 9] Гц и Δf_{10} [6; 9] Гц.

В результате обработки данных ЭЭГ, была получена информация о количестве и длительности колебательных паттернов для 15 каналов и каждого из 11 пациентов. Следует отметить, что биоэлектрическая активность головного мозга человека в состоянии ночного сна демонстрирует характерную монотонную динамику. Прежде всего, необходимо было выяснить некоторые различия между здоровыми и больными пациентами. Для упрощения анализа данных были рассчитаны усредненные значения числа колебательных паттернов и длительности f_{mi} для каждого пациента в 10 частотных интервалах $f_i \forall i \in [1: 10]$. Результаты усреднения представлены на следующих графиках.

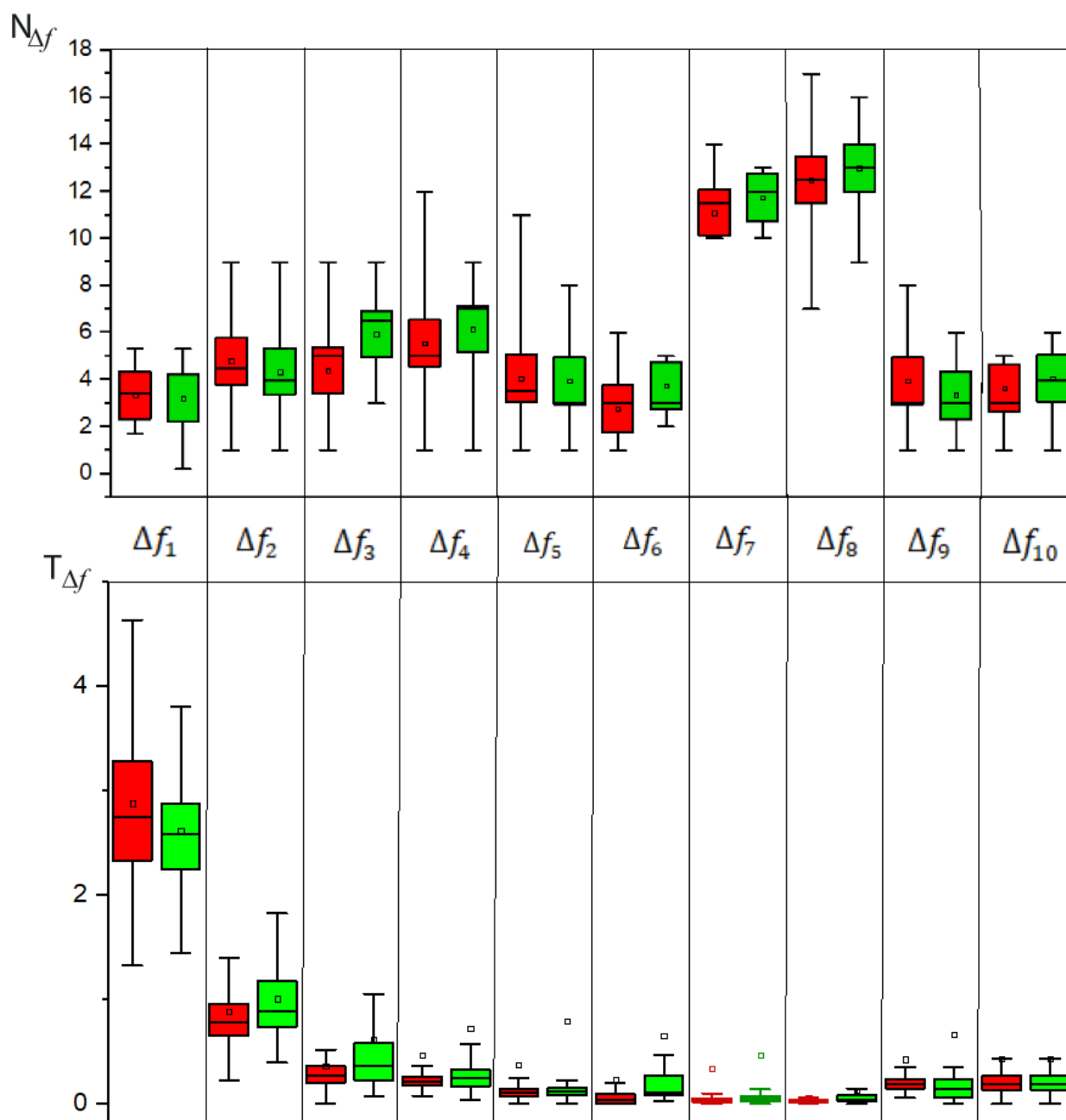


Рисунок 1 – Среднее количество паттернов (верхний рисунок) и их средняя длительность (нижний рисунок). Для первой группы диаграммы представлены красным, а для второй зеленым.

Анализ числа колебательных паттернов не показывает каких-либо различий между здоровыми и больными пациентами. Время жизни колебательных паттернов также существенно не различается в большинстве частотных интервалов. Однако стоит отметить диапазон Δf_6 , в котором наблюдается довольно существенное различие по времени жизни паттернов.

Для полноты картины так же стоит провести статистический анализ для трех групп электродов – левой, центральной и правой.

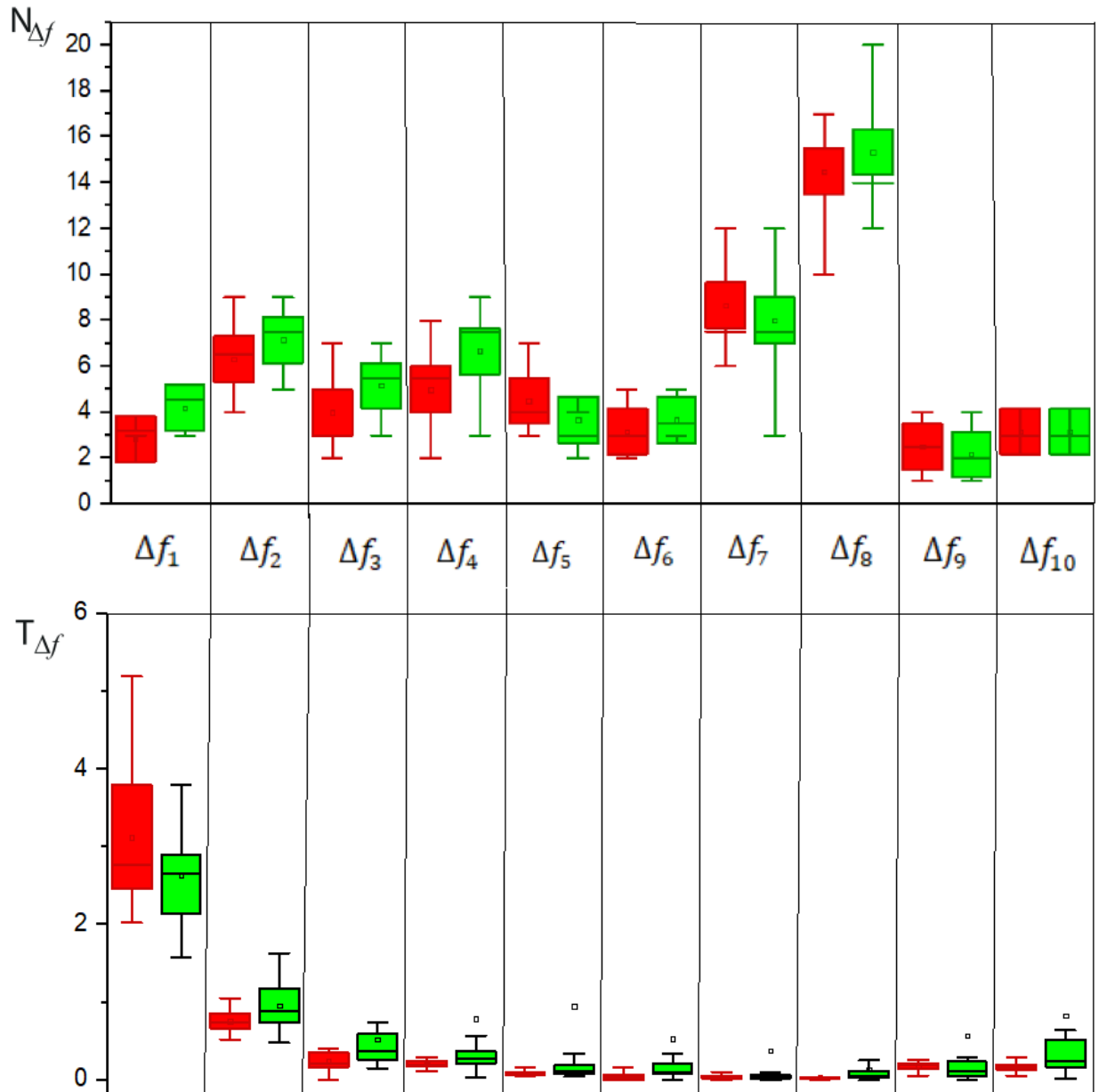


Рисунок 2 - Среднее количество паттернов (верхний рисунок) и их средняя длительность (нижний рисунок) для левой полусферы. Для первой группы диаграммы представлены красным, а для второй зеленым.

Как видно из рисунка распределение количества и длительности паттернов для левой полусферы в целом повторяет общую картину, но для полноты картины необходимо проанализировать оставшиеся группы электродов.

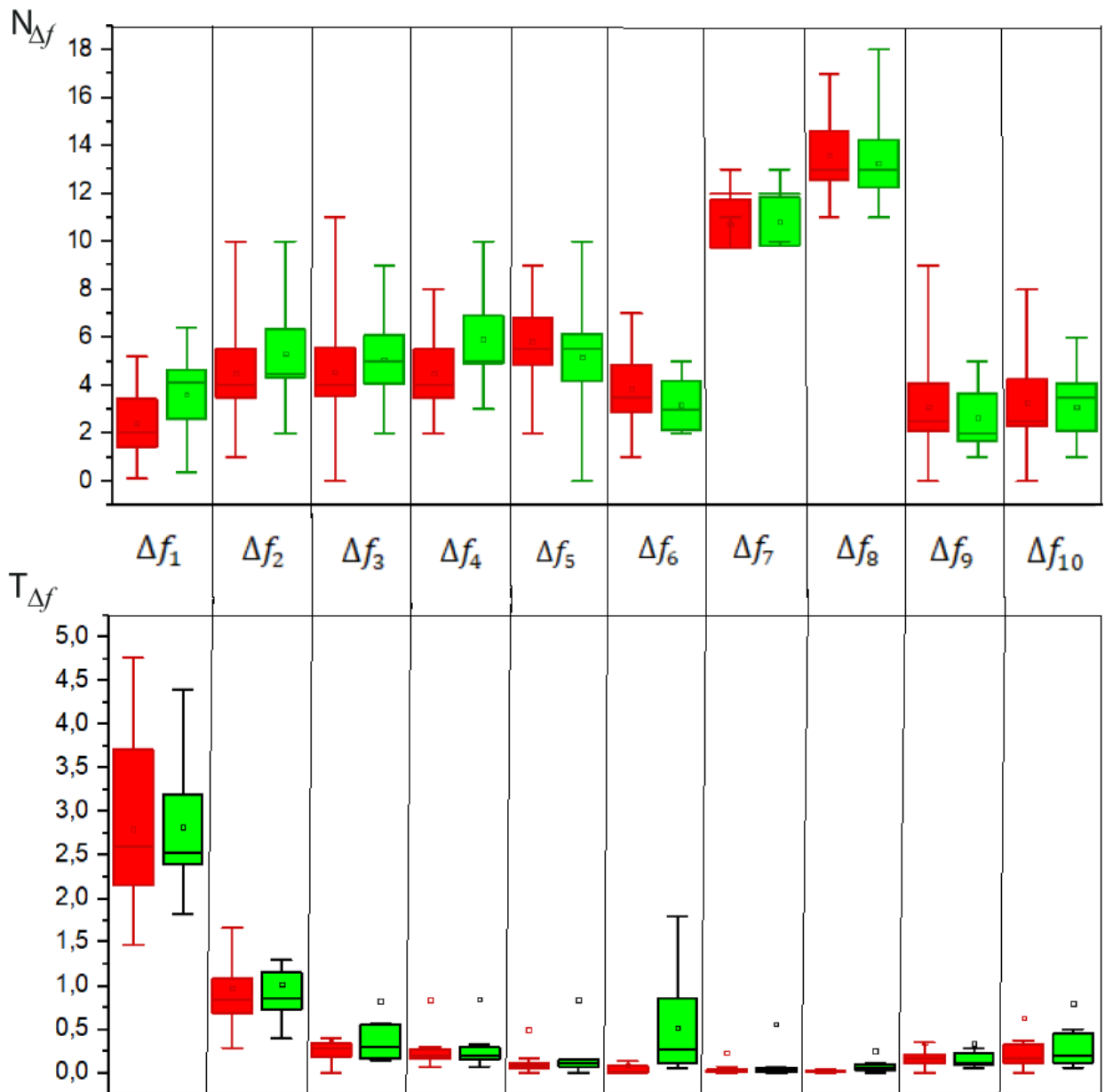


Рисунок 3 - Среднее количество паттернов (верхний рисунок) и их средняя длительность (нижний рисунок) для центральной группы электродов. Для первой группы диаграммы представлены красным, а для второй зеленым.

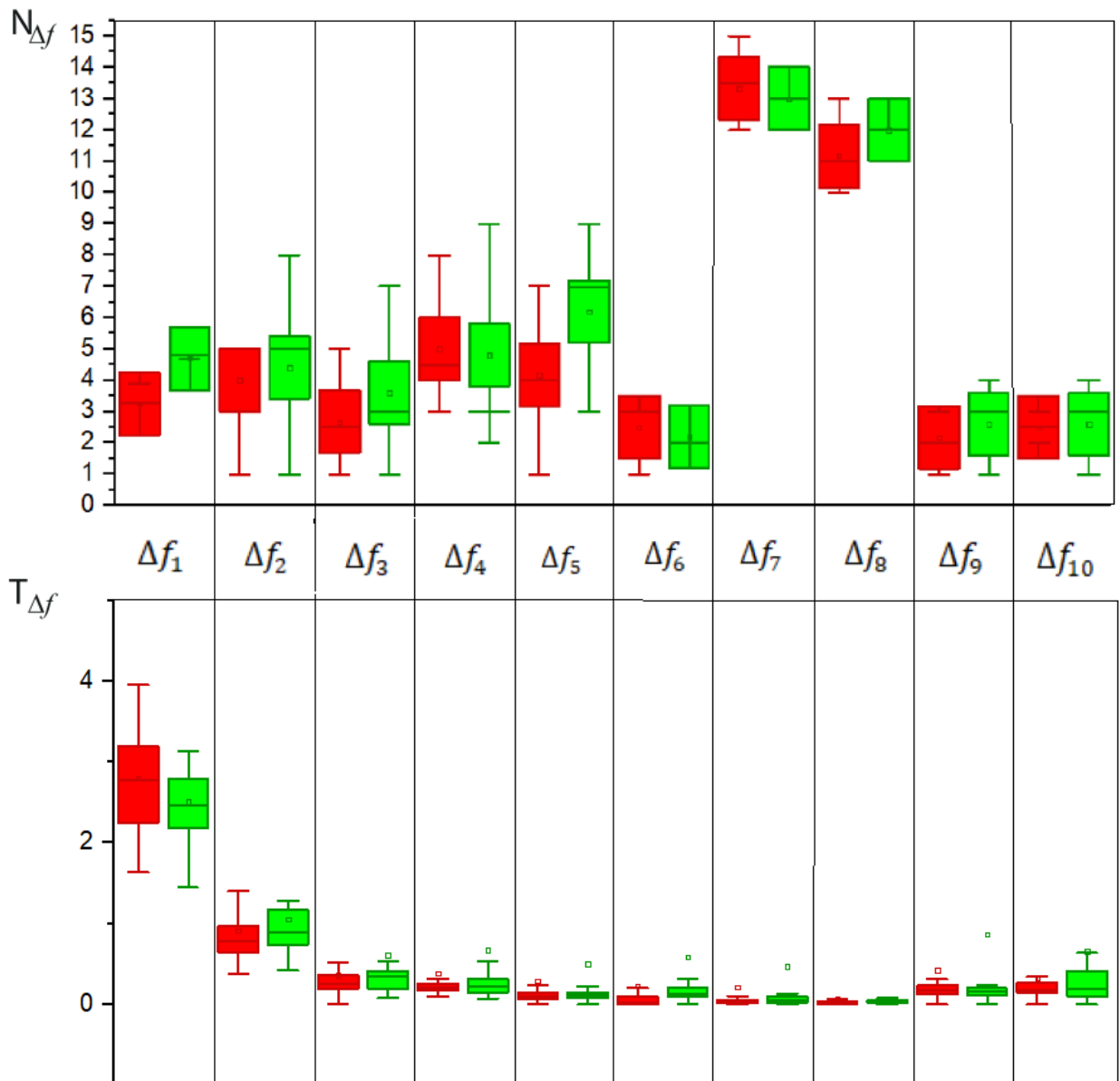


Рисунок 4 - Среднее количество паттернов (верхний рисунок) и их средняя длительность (нижний рисунок) для правой полусферы. Для первой группы диаграммы представлены красным, а для второй зеленым.

Анализ данных для трех групп электродов показывает, что картина, увиденная нами при общем анализе повторяется для каждой из групп. На основе этого можно сделать выводы, что когнитивные отклонения оказывают существенное влияние на длительность паттерна в частотном интервале Δf_6 .

По мимо диапазона Δf_6 если рассмотреть другие диапазоны и длительность паттернов в них, можно также обратить внимание на тенденцию уменьшенной длительности паттернов для людей с отклоненьями. Но при этом все такие основное влияние оказывается именно на диапазон Δf_6 .

Поэтому для анализа стоит изучить среднее время жизни в диапазоне Δf_6 для каждого из изучаемых каналов. Результаты представлены на следующем рисунке:

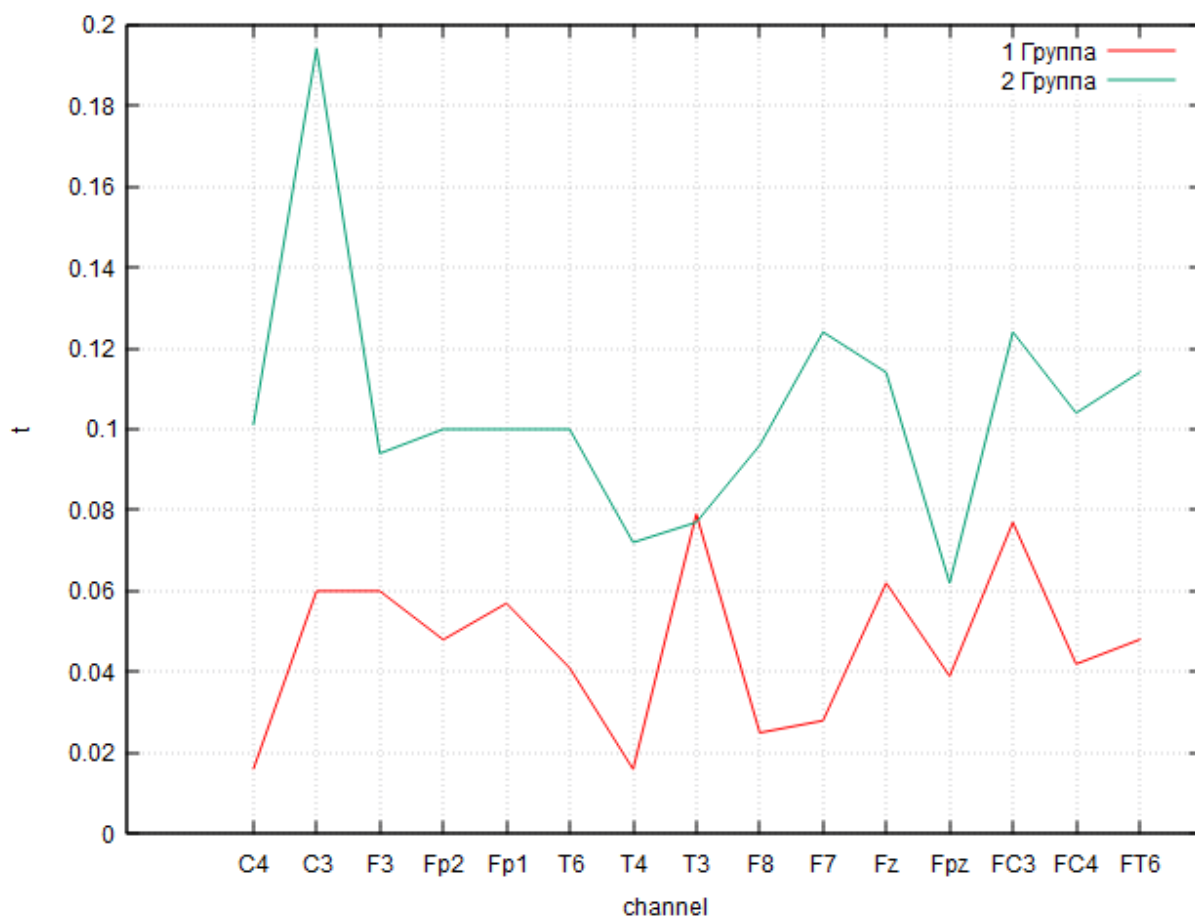


Рисунок 5 – Среднее время жизни для диапазона Δf_6 для каждого из каналов.

Который подтверждает ту картину, которую мы наблюдали на рисунках, представленных выше.

Исходя из полученных данных можно утверждать, что для диагностирования болезней типа болезни Альцгеймера стоит обращать внимание на длительность частотных паттернов в диапазоне Δf_6 . Так как основное влияние когнитивные отклонения оказывают именно на этот диапазон. К этому так же можно добавить, что подтверждающими маркерами наличия когнитивных отклонений является общее уменьшение длительности паттернов в других диапазонах (см рисунок б), но при этом нужно отметить что влияние на диапазон Δf_1 почти нет. Так же как было отмечено выше

КОГНИТИВНЫЕ ОТКЛОНЕНИЯ не вносят влияние на количество паттернов в частотных диапазонах.

На основании всего выше перечисленного можно сделать следующие выводы:

- Когнитивные отклонения оказывают влияние в основном на продолжительность паттернов.
- При наличии когнитивных отклонений наблюдается уменьшение продолжительности паттернов
- Основное влияние оказывается на диапазон Δf_6 где детектируется самое критичное уменьшение длительности паттернов.

Заключение

Результатом проделанной работы является программный продукт, позволяющий проводить анализ сигналов методом частотно-временных паттернов.

Диагностирование нейрофизиологических заболеваний на ранней стадии имеет огромное значение для здоровья людей. Это связано с тем, что такие заболевания, к примеру, эпилепсия, могут повлиять на работу головного мозга и серьезно нарушить качество жизни.

Раннее обнаружение помогает начать лечение вовремя, что значительно повышает шансы на полное выздоровление. Заболевания нервной системы по своей природе часто являются прогрессирующими, поэтому чем раньше начать лечение, тем меньше вероятность, что заболевание достигнет тяжелой формы и станет необратимым.

Данный продукт нацелен на анализ ЭЭГ для детектирования отклонений в работе головного мозга, что позволяет диагностировать различные нейрофизиологические болезни на ранней стадии, что показывает его особую важность и актуальность в настоящее время.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- [1] Konstantin Sergeev Wavelet skeletons in sleep EEG-monitoring as biomarkers of early diagnostics of mild cognitive impairment. [Текст] / Anastasiya Runnova, Maksim Zhuravlev, Oleg Kolokolov, Nataliya Akimova, Anton Kiselev, Anastasiya Titova, Andrei Slepnev, Nadezhda Semenova, and Thomas Penzel. // Chaos Vol. 31 Issue 7 2021
- [2] J. Dauwels “Diagnosis of Alzheimer’s disease from EEG signals: Where are we standing?,” [Текст] /Vialatte, and A. Cichocki, // Curr. Alzheimer Res. 7, F. 487–505 (2010).
- [3] Anastasiya Runnova Modified wavelet analysis of ECoG-pattern as promising tool for detection of the blood–brain barrier leakage. [Текст] / Maksim Zhuravlev, Rodion Ukolov, Inna Blokhina, Alexander Dubrovski, Nikita Lezhnev, Evgeniya Sitnikova, Elena Saranceva, Anton Kiselev, Anatoly Karavaev, Anton Selskii, Oxana Semyachkina-Glushkovskaya, Thomas Penzel, Jurgen Kurths.// scientific reports 2021