

# Анализ фаз огибающих электромиограмм мышц-антагонистов у пациентов с нейродегенеративными заболеваниями

О.С. Сушкова<sup>1</sup>, А.А. Морозов<sup>1</sup>, А.В. Габова<sup>2</sup>, И.А. Кершнер<sup>1</sup>, Л.А. Чигалейчик<sup>3</sup>, А.В. Карабанов<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, Моховая 11, корп. 7, Москва, Россия, 125009

<sup>2</sup>Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН, Бултерова 5а, Москва, Россия, 117485

<sup>3</sup>Научный центр неврологии, Волоколамское шоссе 80, Москва, Россия, 125367

## Аннотация

Исследован подход к диагностике болезни Паркинсона и эссенциального тремора на основе анализа гистограмм разностей фаз огибающих электромиограмм (ЭМГ) мышц-антагонистов. Проведено сравнение двух методов вычисления мгновенной фазы. Первый метод основан на вычислении комплексных хребтов вейвлет-спектрограмм. Второй метод основан на использовании преобразования Гильберта. Обнаружены статистически значимые отличия медиан разностей мгновенных фаз огибающих ЭМГ мышц-антагонистов.

## Ключевые слова

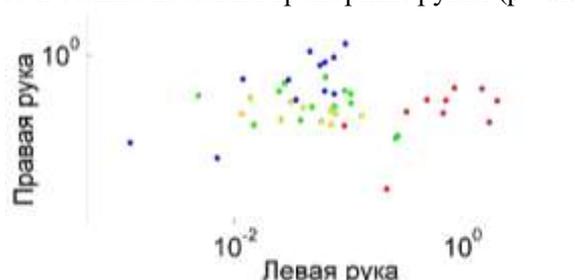
Болезнь Паркинсона, эссенциальный тремор, электромиограмма, ЭМГ, разность мгновенных фаз, вейвлет-спектрограмма, комплексные хребты спектрограмм, преобразование Гильберта

## 1. Введение

Одним из перспективных подходов к диагностике таких нейродегенеративных заболеваний, как болезнь Паркинсона (БП) и эссенциальный тремор (ЭТ) [1-2], является исследование мгновенной фазы мышц-антагонистов. В данной работе мы исследовали гистограммы разностей мгновенных фаз огибающих электромиограмм (ЭМГ) мышц-разгибателей и мышц-сгибателей рук пациентов с БП и ЭТ. Гистограммы разности фаз показывают статистическое распределение разности мгновенной фазы, наблюдаемой на двух исследуемых сигналах. Исследованы диапазоны частот: 1-12 Гц и 20-28 Гц. В диапазоне 1-12 Гц у пациентов с БП и ЭТ наблюдается патологический тремор. В диапазоне 20-28 Гц у пациентов с БП и ЭТ, а также у контрольных испытуемых наблюдается, так называемый, физиологический тремор. В данных частотных диапазонах наблюдались статистически значимые отличия (тест Манна-Уитни, альфа-уровень 0.05). Осуществлялось сравнение двух методов вычисления мгновенной фазы ЭМГ. Первый метод основан на вычислении комплексных хребтов вейвлет-спектрограмм сигналов и четырёхквadrантного арктангенса [3]. Второй метод основан на использовании полосовой фильтрации, преобразования Гильберта и четырёхквadrантного арктангенса. Сигналы ЭМГ брались целиком, без «нарезки». В качестве метрики для сравнения групп пациентов и контрольной группы испытуемых были исследованы: медиана  $M$  значений разностей мгновенной фазы огибающей ЭМГ; абсолютное значение медианы  $M$ . Было показано, что абсолютные значения разностей фаз гораздо лучше разделяют группы пациентов и контрольных испытуемых. Это значение будет использовано на диаграммах рассеяния и при проверке статистической значимости отличий групп испытуемых (Рис. 1).

Групповой анализ медиан разностей фаз ЭМГ, полученных с мышц-антагонистов рук с дрожательным гиперкинезом пациентов с БП и рук контрольных испытуемых, выявил статистически значимые отличия в диапазоне 1-12 Гц (при использовании вейвлетов, но только

для пациентов с тремором на левой руке ( $p\text{-value}<0.0001$ ,  $AUC=0.96$ ); при использовании преобразования Гильберта для пациентов с тремором на левой руке ( $p\text{-value}<0.0001$ ,  $AUC=0.99$ ) и для пациентов с тремором на правой руке ( $p\text{-value}=0.01$ ,  $AUC=0.83$ ). В диапазоне 20-28 Гц групповой анализ нетреморных рук пациентов с БП и рук контрольных испытуемых выявил статистически значимые отличия и при использовании вейвлетов, но только для пациентов с тремором на правой руке ( $p\text{-value}=0.009$ ,  $AUC=0.88$ ), и при использовании преобразования Гильберта, но только для пациентов с тремором на левой руке ( $p\text{-value}=0.03$ ,  $AUC=0.78$ ). При сравнении обеих рук пациентов с ЭТ и контрольных испытуемых в диапазоне 20-28 Гц статистически значимые отличия были найдены только при использовании преобразования Гильберта и только на левых треморных руках ( $p\text{-value}=0.02$ ,  $AUC=0.78$ ).



**Рисунок 1:** Диаграмма рассеяния абсолютных значений медиан разности фаз. Поза с вытянутыми руками, диапазон частот 1-12 Гц. Оси приведены в логарифмической шкале. Зелёные точки – ЭТ, красные – БП с дрожательным гиперкинезом на левой руке, синие – БП с дрожательным гиперкинезом на правой руке, жёлтые – норма. Мгновенная фаза вычислена с помощью преобразования Гильберта

## 2. Заключение

Обнаруженные статистически значимые отличия в диапазоне 1-12 Гц соответствуют результатам, полученным ранее с помощью когерентного анализа. Выявленные статистически значимые отличия в диапазоне 20-28 Гц являются новой нейрофизиологической закономерностью, ранее неописанной в литературе. Комплексные вейвлет-хребты и преобразование Гильберта не имеют явных преимуществ друг перед другом по количеству выявленных статистически значимых отличий, однако время обработки сигналов при использовании преобразования Гильберта уменьшается (примерно в 4 раза).

## 3. Благодарности

Работа выполнена в рамках государственного задания.

## 4. Литература

- [1] Sushkova, O.S. Investigation of the 0.5-4 Hz low-frequency range in the wave train electrical activity of muscles in patients with Parkinson's disease and essential tremor / O.S. Sushkova, A.A. Morozov, A.V. Gabova, A.V. Karabanov, L.A. Chigaleyshik // RENSIT. – 2019. – Vol. 11(2). – P. 225-236. DOI: 10.17725/rensit.2019.11.225.
- [2] Sushkova, O.S. An Investigation of Accelerometer Signals in the 0.5-4 Hz Range in Parkinson's Disease and Essential Tremor Patients / O.S. Sushkova, A.A. Morozov, A.V. Gabova, A.V. Karabanov, L.A. Chigaleyshik // Advances in Intelligent Systems and Computing. – 2021. – Vol. 1255. – P. 455-462. DOI:10.1007/978-981-15-7834-2\_43.
- [3] Tolmacheva, R.A. New approach to estimation of interchannel phase coupling of electroencephalograms / R.A. Tolmacheva, Y.V. Obukhov, A.F. Polupanov, L.A. Zhavoronkova // Journal of Communications Technology and Electronics. – 2018. – Vol. 63(9). – P. 1070-1075.