

АНАЛИЗ МУЛЬТИФРАКТАЛЬНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ КОМПОНЕНТ ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММ ПРИ ПСИХИЧЕСКИХ РАССТРОЙСТВАХ

© 2023 г. О.Е. Дик*,#

*Институт физиологии им. И.П. Павлова РАН, наб. Макарова, 6, Санкт-Петербург, 199034, Россия

#E-mail: dickviola@gmail.com

Поступила в редакцию 04.09.2022 г.

После доработки 21.09.2022 г.

Принята к публикации 31.10.2022 г.

С помощью метода поиска максимумов модулей вейвлет-коэффициентов выполнен сравнительный анализ мультифрактальности различных компонент электроэнцефалограмм в норме и при таких психических расстройствах, как шизофрения и депрессия. Показано, что для каждого типа психических расстройств положение спектра сингулярности стабильно для большинства областей мозга, и основные отличия мультифрактальных свойств связаны с альфа-компонентами электроэнцефалограмм. Для группы с депрессией характерна антикоррелированная динамика последовательных значений альфа-компонент, а для группы с шизофренией — сочетание антикоррелированной и коррелированной динамики, что может быть полезно для клинической диагностики нейрональных нарушений.

Ключевые слова: психические расстройства, частотные компоненты ЭЭГ, мультифрактальность.

DOI: 10.31857/S0006302923010209, EDN: OBLKJV

В связи с тем, что биоэлектрическая активность как здорового, так и больного мозга проявляет мультифрактальные свойства, как во время спокойного бодрствования, так и в различных фазах сна, а также при выполнении различных когнитивных задач [1–9] мультифрактальные характеристики паттернов электроэнцефалограммы (ЭЭГ) могут быть включены в комплекс тестов для дифференциальной диагностики и исследования различных когнитивных расстройств.

В настоящее время мультифрактальный анализ является перспективным диагностическим методом исследования биомедицинских сигналов [10–14]. Известно, что паттерны разнообразных физиологических ритмов, например, биоэлектрической активности мозга и сердца, двигательных ритмов, проявляют мультифрактальные свойства [15–18]. Это связывается с парадоксальным сочетанием вызванной шумом кратковременной декорреляции в этих ритмах и долговременной корреляции, связанной с их фрактальной структурой [16, 19]. Наличие мультифрактальных свойств означает, что временные закономерности этих паттернов на малых масштабах не идентичны всему сигналу, но самоподобие сохраняется после усреднения по статистически независимым выборкам [20].

Мультифрактальный спектр динамики мозга чувствителен к влиянию возраста и когнитивных способностей [14]. Мультифрактальность биоэлектрической активности мозга обнаруживается при его патологических состояниях, например, в ЭЭГ больных фокальной симптоматической эпилепсией до, во время и после эпилептических разрядов [8] и в ЭЭГ больных с нервными расстройствами, связанными с тревожной фобией в сочетании с головной болью, тахикардией или нарушением ритма дыхания [9]. При этом при отсутствии эпилептических разрядов динамика ЭЭГ больного фокальной эпилепсией практически неотличима от динамики ЭЭГ здорового мозга [8]. Но уже в период, предшествующий эпилептиформной активности, происходят перестройки динамики ЭЭГ, приводящие к возникновению долговременных корреляций последовательных значений ЭЭГ, что является причиной значительного увеличения амплитуды ЭЭГ во время эпилептического разряда [8]. Таким образом, оценка мультифрактальных свойств позволяет установить структурные перестройки, приводящие к изменению паттернов ЭЭГ при возникновении эпилептиформной активности.

Мультифрактальный анализ также позволяет оценить эффективность лечения больных с нервными нарушениями, связанными с психогенными болевыми синдромами. Так, в работе [9] пока-

Сокращения: ЭЭГ — электроэнцефалограмма.

зано, что вариации мультифрактальных свойств объясняют происходящие при психорелаксации изменения, отражающие сохранение или снятие психогенной боли у больных с тревожно-фобическими расстройствами.

Как правило, мультифрактальный анализ связан с анализом широкополосного сигнала [4–9, 21, 22], исключение составляет, например, работа [3], в которой проанализированы мультифрактальные свойства отфильтрованных компонентов ЭЭГ (дельта-, тета-, альфа- и бета-колебания) здорового мозга, которые также имеют мультифрактальное поведение.

Целью настоящей работы является сравнительный анализ мультифрактальных свойств различных компонент ЭЭГ нормальной и патологической активности головного мозга при таких заболеваниях, как шизофрения и депрессия.

МЕТОДЫ

Были проанализированы безартефактные сегменты ЭЭГ, полученные в состоянии покоя с закрытыми глазами у десяти здоровых испытуемых в возрасте от 18 до 30 лет, десяти больных параноидной формой шизофрении в возрасте от 24 до 35 лет и десяти больных депрессией в возрасте от 21 до 34 лет. Данные были предоставлены лабораторией физиологии зрения Института физиологии им. И.П. Павлова РАН. Обе группы больных (с шизофренией и депрессией) принимали один и тот же антипсихотический препарат арипипразол, оказывающий наименьшее влияние на электрическую активность мозга, в отличие от других антипсихотиков [23].

ЭЭГ были зарегистрированы на 21-канальном электроэнцефалографе фирмы «Мицар_ЭЭГ» (Санкт-Петербург, Россия) с помощью Ag/AgCl-электродов. Активные электроды располагались по стандартной схеме 10–20. Референтные электроды располагались на мочках ушей, а заземляющий электрод — в лобной области.

Сегменты ЭЭГ длительностью 120 с, зарегистрированные в отведениях C3, C4, T5, T6, P3, Pz, P4, O1, O2 с частотой дискретизации 256 Гц, подвергались цифровой фильтрации с использованием полосового фильтра 0.5–50 Гц. Анализируемые сегменты ЭЭГ содержали 30720 отсчетов и были разложены на колебания тета-, альфа- и бета-диапазонов (3–7, 8–12 и 14–25 Гц соответственно) с использованием оптимального фильтра Чебышева с конечной импульсной характеристикой, рассчитанной с помощью алгоритма Паркса–Макклеллана. Частоты среза полосы заграждения составляли $[f_1 - 0.5, f_2 + 0.5]$ Гц по отношению к частотам среза полосы пропускания $[f_1, f_2]$ Гц, порядок фильтра равнялся 1296. Эта фильтрация была осуществлена с помощью про-

цедур *firpmord.m* и *firpm.m* в системе MATLAB. Полученные три диапазона были использованы в мультифрактальном анализе.

Для оценки различий в степени мультифрактальности колебаний в этих диапазонах применяли метод поиска максимумов модулей вейвлет-коэффициентов (WTMM – wavelet transform modulus maxima) [24]. Программное обеспечение было реализовано в системе MATLAB на основе программы *multifractal.c*, описанной в PhysioNet (<https://physionet.org>) и в работе [25].

Алгоритм этого метода состоит из следующей последовательности процедур:

1) для анализируемого сигнала $x(t)$ применяется непрерывное вейвлет-преобразование:

$$W(a, t_0) = \frac{1}{a} \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \psi^* \left(\frac{t - t_0}{a} \right) dt,$$

где a – параметр масштаба, b – параметр временного сдвига, $\psi((t - b)/a)$ – вейвлетная функция, полученная из базисного вейвлета $\psi(t)$ путем растяжения или сжатия и сдвига по времени, символ ψ^* означает комплексное сопряжение;

2) для каждого значения a находится множество $L(a)$ линий локальных максимумов модулей вейвлет-коэффициентов, т.е. линий, для которых выполняется условие $\frac{\partial |W(a, t_0)|}{\partial t} = 0$;

3) вдоль каждой линии для значений масштабов, меньших заданного значения a , вычисляются частичные функции $Z(q, a)$ как сумма q степеней максимумов модулей вейвлет-коэффициентов:

$$Z(q, a) = \sum_{l \in L(a)} \left(\sup_{a^* \leq a} |W(a^*, t_l(a^*))| \right)^q,$$

где $t_l(a^*)$ определяет положение максимума, соответствующего линии l на этом масштабе;

4) в силу того, что при $a \rightarrow 0$ частичная функция $Z(q, a) \sim a^{\tau(q)}$ [26], показатель $\tau(q)$ вычисляется по формуле

$$\tau(q) \sim \log_{10} Z(q, a) / \log_{10} a;$$

5) в случае линейной зависимости $\tau(q)$ значения экспоненты Гельдера h единственно и сигнал монофрактален, в случае нелинейной зависимости $\tau(q)$ сигнал мультифрактален и распределение экспонент Гельдера (спектр сингулярности) вычисляется по формуле:

$$D(h) = qh(q) - \tau(q).$$

В качестве базисного вейвлета $\psi(t)$ использовался вейвлет Морле:

$$\psi(t) = \pi^{-1/4} e^{i\omega_0 t} e^{-t^2/2}$$

при значении параметра $\omega_0 = 2\pi$, обеспечивающего простое соотношение $f = 1/a$ между масштабом a и частотой f .

Ширина спектра сингулярности оценивалась как $\Delta h = h_{\max} - h_{\min}$, где $h_{\max} = h|_{q=q_{\min}}$ и $h_{\min} = h|_{q=q_{\max}}$ — максимальное и минимальное значения показателя Гельдера, соответствующие минимальной и максимальной флуктуации сигнала. Ширина спектра сингулярности Δh является мерой, определяющей степень мультифрактальности сигнала, поскольку малое значение Δh указывает на тенденцию сигнала к монофрактальности, а большое значение Δh свидетельствует об усилении мультифрактальности.

Основной вклад в спектр сингулярности $D(h)$ при $q > 0$ дают сегменты, проявляющие большие флуктуации, а при $q < 0$ доминируют сегменты с малыми флуктуациями [20]. При этом положение спектра сингулярности $D(h)$ дает информацию о степени коррелированности последовательных значений сигнала, поскольку нахождение спектра в области значений экспонент Гельдера $h < 0.5$ соответствует антикоррелированной динамике, в то время как значения $h > 0.5$ — коррелированной [20]. Коррелированность последовательных значений сигнала означает, что с большей вероятностью за большим значением сигнала следует большее, и наоборот. В случае, если динамика является одновременно коррелированной и антикоррелированной, спектр сингулярности будет находиться в интервале $0 < h < 1$.

Для сравнения средних значений ширины спектров сингулярности, полученных для разных групп, применяли однофакторный дисперсионный анализ с последующим множественным сравнением и попарной проверкой гипотез с помощью теста Тьюки. Если статистика, полученная по F -критерию Фишера, превышала критическое значение $F_{\text{crit}} = F_{2,28} = 3.3$, то нулевая гипотеза о равенстве средних отвергалась. Значения 2 и 28 выбраны исходя из того, что количество групп $k = 3$, количество усредненных значений в каждой группе равно 10, общее количество наблюдений составляет $N = 10 \cdot 3 = 30$, поэтому $k - 1 = 2$, $N - k = 28$. Статистически значимые различия между группами определялись на основании значений $p < 0.017$ в связи с тем, что $n = k(k - 1)/2 = 3$ и $1 - 0.951/n = 0.017$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

На рис. 1 показаны мультифрактальные свойства отфильтрованных составляющих в тета-, альфа- и бета-диапазонах для испытуемого из контрольной группы. Мультифрактальность объясняется нелинейностью кривых $\tau(q)$ (рис. 1б) и зависимостью показателей Гельдера $h(q)$ от мо-

мента q (рис. 1а). Представленные усредненные зависимости для отведений над центральными (С3, С4), затылочными (О1 и О2), теменными (Р3, Р4 и Рз) и височными (Т5 и Т6) областями мозга свидетельствуют об устойчивости мультифрактальных свойств различных областей мозга у данного испытуемого. Это подтверждается данными табл. 1, в которой приведены усредненные (по испытуемым в контрольной группе) значения интервалов максимального и минимального значений показателя Гельдера $[h_{\min}, h_{\max}]$ для разных отведений.

Для ЭЭГ-составляющей в тета-диапазоне колебания являются как коррелированными, так и антикоррелированными, так как спектр сингулярности находится в области значений экспонент Гельдера $0.1 < h < 0.8$ (рис. 1в). Для составляющей в бета-диапазоне колебания являются антикоррелированными ($0.15 < h < 0.56$) (рис. 1в). В отличие от этого для альфа компоненты колебания характеризуются только долгосрочными корреляциями и спектр сингулярности находится в области значений экспонент Гельдера $0.55 < h < 1.1$ (рис. 1в). В это смещение вносят вклад как сильные флуктуации ($h > 0$ при $q > 0$), так и слабые флуктуации (при $q < 0$), в то время как для спектров сингулярности $D(h)$ для тета- и бета-компонент доминируют слабые флуктуации, потому что при $q > 0$ значения h близки к нулю (рис. 1а).

На рис. 2 представлены усредненные спектры сингулярности $D(h)$ для пациента с шизофренией (рис. 1а,б) и для пациента с депрессией (рис. 1в,д) для составляющих в тета-, альфа- и бета-диапазонах. Спектры для отведений над центральными (С3, С4) областями мозга (рис. 1б,д) шире для пациентов из обеих групп, чем для отведений над затылочными (О1 и О2), теменными (Р3, Р4 и Рз) и височными (Т5 и Т6) областями мозга (рис. 1а,в), что так же как и в случае испытуемого из контрольной группы свидетельствует об устойчивости мультифрактальных свойств в большинстве областей (кроме центральных) мозга у пациентов с шизофренией и депрессией. Это отражено также в данных табл. 2, в которой представлены усредненные (по пациентам с двумя группами патологий) значения интервалов максимального и минимального значений показателя Гельдера $[h_{\min}, h_{\max}]$ для разных отведений.

Для пациента с шизофренией спектры для тета- и альфа-компонент находятся в области значений экспонент Гельдера $0.1 < h < 1.25$ (рис. 1а,б), что соответствует как коррелированной, так и антикоррелированной динамике последовательных значений компонент ЭЭГ. В отличие от этого, для бета-компоненты характерно смещение спектра сингулярности в основ-

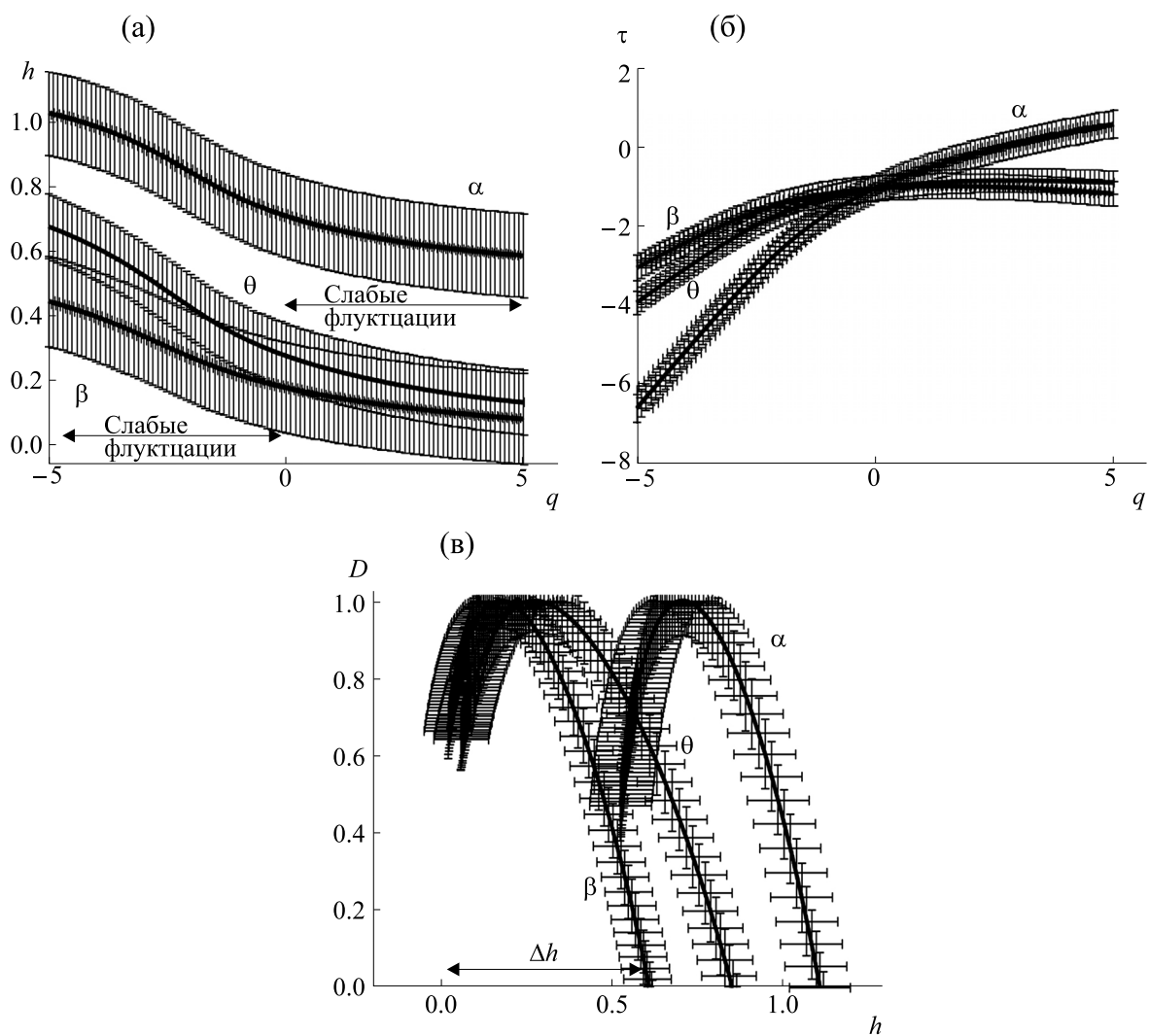


Рис. 1. Усредненные зависимости $h(q)$ показателя Гёльдера от значения q (а), показателей $\tau(q)$ (б) и спектров сингулярности $D(h)$ (в) для испытуемого из контрольной группы для отведений над центральными (С3, С4), затылочными (О1 и О2), теменными (Р3, Р4 и Рz) и височными (Т5 и Т6) областями. Вертикальные и горизонтальные отрезки отражают доверительные интервалы с уровнем доверия 0.95.

Таблица 1. Сравнение усредненных (по испытуемым в контрольной группе) интервалов максимального и минимального значений показателя Гёльдера $[h_{\min}, h_{\max}]$ для разных отведений

Отведения	Тета-компонента $[h_{\min}, h_{\max}]$	Альфа-компонента $[h_{\min}, h_{\max}]$	Бета-компонента $[h_{\min}, h_{\max}]$
С3	0.01–0.88	0.51–0.97	0.02–0.67
С4	0.03–0.89	0.49–0.91	0.01–0.66
Р3	0.05–0.92	0.47–0.93	0.06–0.61
Р4	0.07–0.87	0.56–0.89	0.07–0.70
Т5	0.09–0.83	0.59–0.95	0.02–0.67
Т6	0.05–0.91	0.46–0.92	0.09–0.69
О1	0.03–0.83	0.55–0.89	0.06–0.62
О2	0.05–0.85	0.57–0.95	0.05–0.65

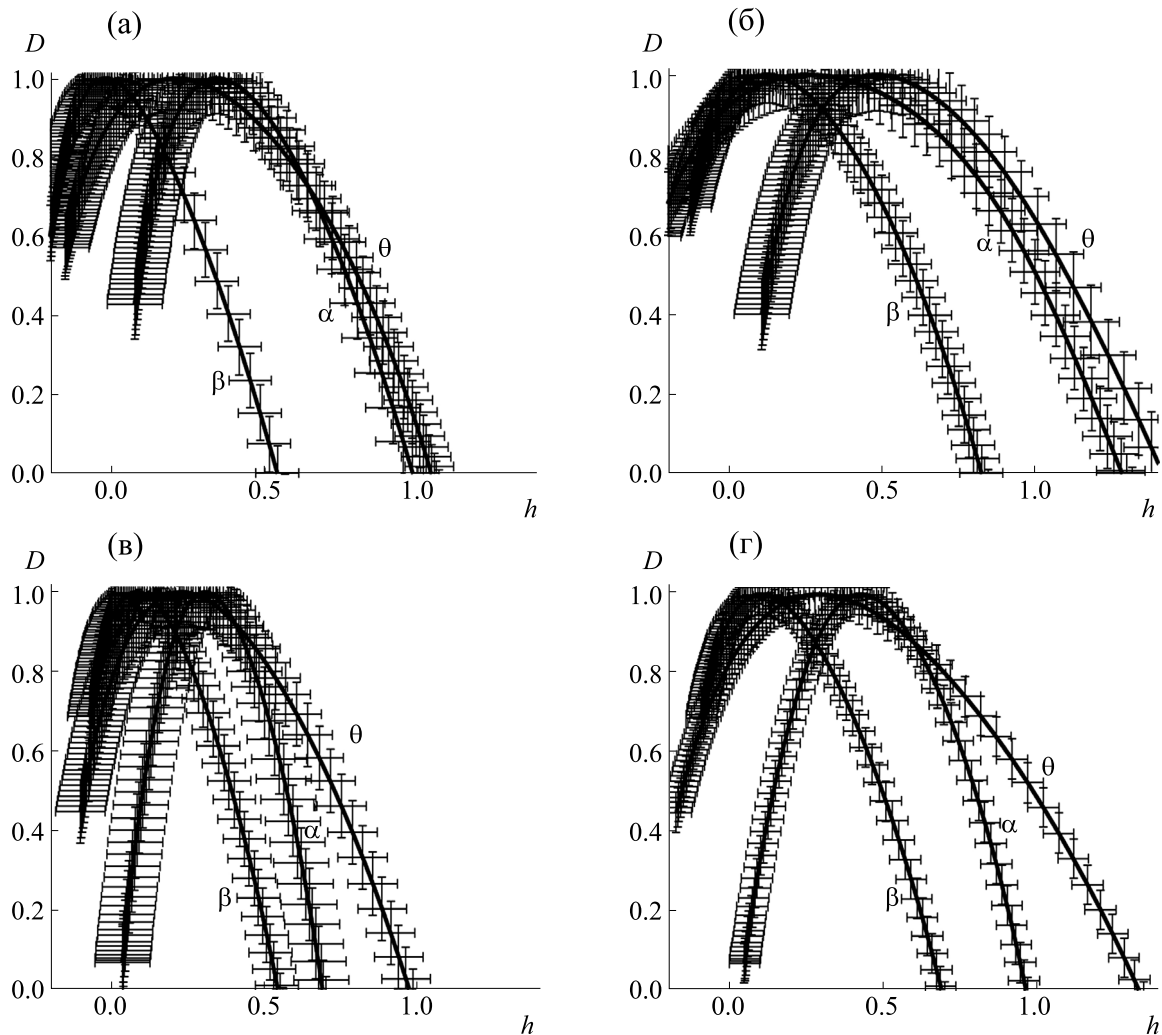


Рис. 2. Усредненные спектры сингулярности $D(h)$ для пациента с шизофренией для отведений над затылочными (O1 и O2), теменными (P3, P4 и Pz) и височными (T5 и T6) областями (а) и над центральными (C3, C4) областями (б); (в) и (д) — аналогичные спектры для пациента с депрессией.

ном в область антикоррелированных значений ($-0.15 < h < 0.55$) для большинства отведений, кроме центральных (рис. 1а, б).

Для пациента с депрессией спектры сингулярности тета-компонент находятся в области значений экспонент Гельдера $-0.15 < h < 1.2$, для большинства отведений для альфа-компоненты степень долгосрочных корреляций уменьшается и спектр сингулярности оказывается в области значений $-0.08 < h < 0.6$, а для бета-компоненты долгосрочные корреляции последовательных значений исчезают и спектр сингулярности смещается в область антикоррелированных значений $-0.2 < h < 0.5$ (рис. 1в, д). Таким образом, антикоррелированная динамика характерна для компонент бета-диапазона для пациентов обеих групп также, как и для здорового испытуемого.

Табл. 3 иллюстрирует изменчивость средних значений ширины спектра сингулярности разных компонент ЭЭГ в анализируемых группах. Для группы пациентов с шизофренией характерна более высокая степень мультифрактальности для всех компонент ЭЭГ ($\Delta h = 1.05 \pm 0.07$, $\Delta h = 0.88 \pm 0.08$ и $\Delta h = 0.73 \pm 0.06$ для тета-, альфа- и бета-компонент соответственно) по сравнению с группой пациентов с депрессией ($\Delta h = 0.91 \pm 0.08$, $\Delta h = 0.65 \pm 0.07$ и $\Delta h = 0.61 \pm 0.06$). Для бета-компоненты уменьшение степени мультифрактальности связано с преимущественным смещением спектра сингулярности в область антикоррелированных значений.

Для группы пациентов с депрессией для альфа- и бета-компонент также наблюдается тенденция к смещению спектра сингулярности в область антикоррелированных значений.

Таблица 2. Сравнение усредненных (по испытуемым в группах с шизофренией и депрессией, соответственно,) интервалов максимального и минимального значений показателя Гёльдера $[h_{\min}, h_{\max}]$ для разных отведений

Отведения	Тета-компонента $[h_{\min}, h_{\max}]$	Альфа-компонента $[h_{\min}, h_{\max}]$	Бета-компонента $[h_{\min}, h_{\max}]$
Группа с шизофренией			
C3	0.01–1.40	–0.02–1.26	–0.11–0.83
C4	–0.07–1.45	–0.01–1.31	–0.07–0.89
P3	0.01–1.11	0.09–0.96	–0.17–0.63
P4	0.03–1.04	0.09–0.99	–0.11–0.66
T5	0.05–1.15	0.09–0.92	–0.07–0.61
T6	0.02–1.06	0.09–0.91	–0.07–0.69
O1	0.01–1.16	0.09–0.98	–0.15–0.62
O2	0.03–1.07	0.09–0.90	–0.17–0.68
Группа с депрессией			
C3	–0.14–1.39	0.01–0.97	–0.15–0.67
C4	–0.09–1.31	0.03–1.07	–0.11–0.75
P3	–0.11–0.99	0.05–0.67	–0.05–0.57
P4	–0.17–0.99	0.09–0.63	–0.01–0.52
T5	–0.04–0.99	0.03–0.61	–0.02–0.55
T6	–0.09–0.99	0.02–0.69	0.03–0.59
O1	–0.11–0.99	0.07–0.60	0.01–0.54
O2	–0.15–0.99	0.01–0.67	0.04–0.57

Таблица 3. Сравнение усредненных (по испытуемым и отведениям, кроме центральных C3, C4) интервалов максимального и минимального значений показателя Гёльдера $[h_{\min}, h_{\max}]$ и ширины спектра сингулярности Δh для разных групп

	Тета-компонента	Альфа-компонента	Бета-компонента
Контрольная группа			
$[h_{\min}, h_{\max}]$	[0.05–0.85]	[0.53–0.98]	[0.03–0.61]
Δh	0.79 ± 0.06	0.45 ± 0.05	0.62 ± 0.06
Группа с шизофренией			
$[h_{\min}, h_{\max}]$	[0.01–1.11]	[0.09–0.96]	[–0.17–0.63]
Δh	1.05 ± 0.07	0.88 ± 0.08	0.73 ± 0.06
Группа с депрессией			
$[h_{\min}, h_{\max}]$	[–0.14–0.99]	[0.05–0.67]	[–0.05–0.57]
Δh	0.91 ± 0.08	0.65 ± 0.07	0.61 ± 0.06

Для контрольной группы степень мультифрактальности для тета-компонент ЭЭГ ниже ($\Delta h = 0.79 \pm 0.06$), чем для групп с рассмотренными патологиями, а для бета-компонент степень мультифрактальности незначительно отличается во всех группах.

Основные отличия в мультифрактальных свойствах здорового мозга и мозга с психическими расстройствами содержатся в альфа-компонентах ЭЭГ, которые характеризуются исключительно долговременными корреляциями для контрольной группы ($[h_{\min}, h_{\max}] = [0.53-0.98]$), коррелированной и антикоррелированной динамикой для группы с шизофренией ($[h_{\min}, h_{\max}] = [0.09-0.96]$) и практически антикоррелированной динамикой ($[h_{\min}, h_{\max}] = [0.05-0.67]$) для группы с депрессией.

Однофакторный дисперсионный анализ выявил статистически значимые различия усредненных ширины спектра сингулярности Δh в трех исследованных группах для альфа- и тета-компонент ЭЭГ. Статистика, полученная по F -критерию Фишера, превышала критическое значение $F_{\text{crit}} = 3.3$. Уровень значимости критерия Фишера (p), т.е. максимальная вероятность ложного отклонения нулевой гипотезы о равных средних, когда она верна, составила порядка $5 \cdot 10^{-10}$, т.е. была близка к нулю. Для бета-компонент статистически значимых различий в ширине спектра сингулярности Δh для всех трех групп выявлено не было (статистика, полученная по F -критерию Фишера, не превышала критическое значение $F_{\text{crit}} = 3.3$).

Таким образом полученные в настоящей работе результаты свидетельствуют, во-первых, о высокой степени устойчивости мультифрактальности различных компонент ЭЭГ для определенной тестируемой группы, и, во-вторых, говорят о преимущественно антикоррелированной динамике, т.е. значительном уменьшении или даже полном исчезновении долговременных корреляций в альфа-компонентах ЭЭГ для группы с депрессией, а также в бета-компонентах всех анализируемых групп.

Наши данные согласуются с результатами работы [3], в которой показано, что при различных условиях выполнения задачи зрительно-моторного слежения здоровыми испытуемыми (как воображаемого, так и реального зрительно-моторного слежения) мультифрактальные свойства отфильтрованных компонент ЭЭГ очень стабильны для разных мест расположения электродов. При этом внешние события (условия задачи) оказывают слабое влияние на результаты анализа мультифрактальных свойств. Таким образом мультифрактальная динамика является эндогенным свойством такой самоорганизующейся

системы, как мозг, обеспечивающим его целенаправленное поведение [3]. Другими словами, мультифрактальность мозга статистически устойчива, как и стабильна его нейродинамика.

Ранее в работе [27] мы показали стабильность мультифрактальных свойств широкополосных (нефильтрованных) ЭЭГ, демонстрируя отсутствие значимых различий в спектрах сингулярности внутри каждой группы для разных электродных отведений у пациентов с психическими расстройствами и выявили наличие исключительно долговременных корреляций последовательных значений паттернов ЭЭГ для контрольной группы, антикоррелированную динамику для больных депрессией и сочетание коррелированной и антикоррелированной динамики для больных шизофренией. При этом степень антикорреляций возрастала при переходе от лобных и соматомоторных областей к зрительным областям, а выраженность мозговых нарушений коррелировала с увеличением степени мультифрактальности широкополосной ЭЭГ [27]. Сходство результатов предыдущей работы [27] с результатами настоящей работы, касающихся альфа-компонент ЭЭГ, по-видимому, связаны с тем, что эти компоненты преобладают в паттернах всех трех анализируемых групп, а преобладание определенной составляющей в ЭЭГ может влиять на фрактальные характеристики из-за наибольшего вклада этой составляющей [3].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей работе с помощью метода максимума модуля вейвлет-преобразования вычислены распределения экспонент Гельдера (спектры сингулярности) для тета-, альфа- и бета-компонент ЭЭГ здоровых людей и двух групп пациентов с параноидной шизофренией и с депрессией. Основные различия в мультифрактальных свойствах активности мозга в норме и при патологии найдены в альфа-компонентах электроэнцефалографических временных рядов, которые характеризуются исключительно долговременными корреляциями для контрольной группы, корреляционной и антикорреляционной динамикой для группы с шизофренией и антикоррелированной динамикой для группы с депрессией.

В связи с этим изменение мультифрактальных свойств между пациентами с нейрональными нарушениями и здоровыми лицами может служить подходом в клинической диагностике некоторых патологий мозга.

БЛАГОДАРНОСТИ

Автор выражает признательность за предоставленные экспериментальные данные

д.м.н. Ю.Е. Шелепину, Институт физиологии им. И.П. Павлова РАН.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена при поддержке Государственной программы Российской Федерации 47 ГП «Научно-технологическое развитие Российской Федерации» (2019–2030 гг.), подпрограмма «Фундаментальные научные исследования для долгосрочного развития и конкурентоспособности общества и государства» (47_110_ДРиОК).

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

Настоящая работа не содержит собственных исследований с участием людей или животных в качестве объектов исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. A. Eke, P. Hermann, L. Kocsis, et al., *Physiol. Meas.*, **23** (1), 1 (2002).
2. P. A. Watters and F. Martin, *Biol. Psychol.*, **66**, 79 (2004).
3. D. Popivanov, V. Stomonyakov, Z. Minchev, et al., *Biol. Cybernetics*, **94**, 149 (2006).
4. M. A. Qianli, N. Xinba, W. Jun, et al., *Chinese Sci. Bulletin*, **51**, 3059 (2006).
5. A. M. Wink, E. Bullmore, A. Barnes, et al., *Human Brain Mapping*, **29**, 791 (2008).
6. M. Nurujjaman, R. Narayanan, S. Iyengar, *Nonlinear Biomed. Physics*, **3**, 6 (2009).
7. O. E. Dick and I. A. Mochovikova, in *Chaos Theory: Modeling, Simulation and Applications*, Ed. by C. H. Skiadas, I. Dimotikalis and C. Skiadas (World Scientific Publ., 2011), pp. 159–166.
8. O. E. Dick and I. A. Svyatogor, *Neurocomputing*, **82**, 207 (2012).
9. O. E. Dick and I. A. Svyatogor, *Neurocomputing*, **165**, 361 (2015).
10. E. A. Ihlen, *Front. Physiol.*, **3**, 141 (2012).
11. B. S. Raghavendra, D. N. Dutt, H. N. Halahalli, et al., *Physiol. Measur.*, **30** (8), 795 (2009).
12. W. Wang, S. Zhang, and X. Ning, *Chinese Biomed. Engineer. Trans.*, **23**, 511 (2004).
13. J. Suckling, A. M. Wink, F. A. Bernard, et al., *J. Neurosci. Methods*, **174**, 292 (2008).
14. P. Mukli, Z. Nagy, F. S. Racz, et al., *Front. Physiol.*, **9**, 1072 (2018).
15. R. Sassi, M. G. Signorini, and S. Cerutti, *Chaos*, **19**, 028507 (2009).
16. N. Scafetta, R. E. Moon, and B. J. West, *Complexity*, **12**, 12 (2007).
17. O. E. Dick, *Neurocomputing*, **243**, 142 (2017).
18. O. E. Дик, *Биофизика*, **66** (3), 1 (2021).
19. P. C. Ivanov, L. A. Amaral, A. L. Goldberger, et al. *Nature*, **399**, 461 (1999).
20. А. Н. Павлов и В. С. Анищенко, *Успехи физ. наук*, **177**, 859 (2007).
21. T. Takahashi, H. Kosaka, T. Murata, et al., *Psych. Res. Neuroimaging*, **171**, 177 (2009).
22. F. S. Racz, K. Farkas, O. Stylianou, et al., *Brain Behav.*, **11**, 181 (2021).
23. T. Takashi Ozaki, A. Toyomaki, N. Hashimoto, et al., *Clin. Psychopharmacol. Neurosci.*, **19**, 313 (2021).
24. J. F. Muzy, E. Bacry, and A. Arneodo, *Phys. Rev.*, **47**, 875 (1993).
25. A. L. Goldberger, L. A. N. Amaral, L. Glass, et al., *Circulation*, **101** (23):215 (2009).
26. A. Arneodo, E. Bacry, and J. F. Muzy, *Physica A*, **213**, 232 (1995).
27. O. E. Dick, S. V. Murav'eva, V. S. Lebedev, et al., *Front. Physiol.*, **13**, 1 (2022).

Analysis of Multifractality of Various Components of Electroencephalograms in Mental Disorders

O.E. Dick*

Pavlov Institute of Physiology, Russian Academy of Sciences, nab. Makarova 6, St. Petersburg, 199034 Russia

The method of finding maxima of the moduli of the wavelet coefficients was used to perform a comparative analysis of the multifractality of various components of electroencephalograms in normal conditions and in mental disorders such as schizophrenia and depression. It is shown that for each type of mental disorders, the position of the singularity spectrum is stable in most areas of the brain, and the main differences between multifractal properties are associated with the alpha components of electroencephalograms. The group of individuals affected with depression is characterized by anticorrelated dynamics of successive values of the alpha components, and the group of individuals with schizophrenia is characterized by a combination of anticorrelated and correlated dynamics, thus, it can be useful for the clinical diagnosis of neuronal disorders.

Keywords: mental disorders, EEG frequency components, multifractality