

Министерство образования и науки Российской Федерации  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра динамического моделирования и биомедицинской инженерии

**ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ ВЗАИМНОЙ ЭНТРОПИИ РЯДОВ  
ОТВЕДЕНИЙ ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММЫ ДЕТЕЙ,  
СТРАДАЮЩИХ ДЕТСКИМ ЦЕРЕБРАЛЬНЫМ ПАРАЛИЧОМ, ДО И  
ПОСЛЕ ЛЕЧЕНИЯ**

**АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТРСКОЙ РАБОТЫ**

Студента 4 курса 461 группы

направления 12.03.04 «Биотехнические системы и технологии»

код и наименование направления

факультета нано- и биомедицинских технологий

наименование факультета

Мельникова Евгения Александровича

фамилия, имя, отчество

Научный руководитель

ассистент, к.ф.-м.н.

должность, уч. степень, уч. звание

дата, подпись

М.В. Корнилов

инициалы, фамилия

Заведующий кафедрой:

д.ф.-м.н., доцент

должность, уч. степень, уч. звание

дата, подпись

Е.П. Селезнев

инициалы, фамилия

Саратов 2016 г.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Детский церебральный паралич — заболевание мозга, начинающееся в период внутриутробного развития, в период родов или новорожденности. Заболевание продолжается в течение многих лет, чаще всего — в течение всей жизни. По мере развития заболевания на основе этих нарушений формируются вторичные изменения в мышцах, суставах и костях —, деформации, контрактуры, возникают кифосколиоз и сколиоз, оформляется патологический двигательный стереотип[1].

На сегодня, ДЦП, одно из часто встречающихся заболеваний у детей. В России только по официальной статистике 94560 детей с ДЦП в возрасте 0-14 лет [2]. При ДЦП здоровое полушарие может взять на себя полностью или частично контроль за движением конечности, за которую при нормальном развитии отвечает поврежденное полушарие. Также возможно усиление межполушарных взаимодействий, что у больных сопровождается совместными синхронными движениями пораженной и непораженной конечностей. Поэтому анализ связанности между сигналами различных отделов мозга, в том числе межполушарных взаимодействий, может быть полезен для диагностики и выявления эффективности лечения при данной форме ДЦП.

Электроэнцефалография является одним из распространённых поверхностных методов диагностики заболевания ДЦП. Она позволяет исследовать деятельность головного мозга при помощи регистрации биологической активности отдельных областей мозга и передать полученную информацию на экран компьютера.

Бакалаврская работа посвящена вычислению взаимной энтропии по данным электроэнцефалограммы детей, страдающих ДЦП и анализу результатов до и после лечения пациента. Определение энтропии активно применяется для различных данных, в том числе и ЭЭГ. Данные, по которым

вычислялась энтропия уникальны тем, что у всех детей поражена только одна сторона мозга, в результате этого развилась асимметрия возможностей рук: в то время как одна конечность, которая контролировалась непораженным полушарием, функционировала нормально, а вторая была слабо задействована. Обусловленная этим асимметрия развития конечностей может приводить к изменению ролей отдельных участков мозга.

Цель исследования: вычисление взаимной энтропии по данным электроэнцефалограммы детей, страдающих ДЦП и анализ результатов до и после лечения пациента.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- 1) Обработка данных
- 2) Расчет плотности распределения
- 3) Расчет взаимной энтропии
- 4) Анализ результата

В работе оценивалась взаимная энтропия между следующими отведения электроэнцефалограммы: F3, F4, C3, C4, P3, P4, F7, F8, P7, P8, которые были выбраны, так как соответствуют соматосенсорной и моторной областям коры головного мозга, играющим большую роль в нарушениях при ДЦП.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Глава 1** включает в себя описание такого понятия как электроэнцефалография.

ЭЭГ (электроэнцефалография) — исследование электрической активности головного мозга. Выполняя это исследование, на голову пациента надевается специальная тканевая или силиконовая шапочка с присоединенными к ней электродами, которые регистрируют электрическую активность мозга в различных точках головы. Результаты изменений активности головного мозга выводятся на экран компьютера или бумажную ленту в виде графиков, по которым врач может определить характер и природу расстройств у пациента [3].

**Глава 2** определение и виды групп детского церебрального паралича.

**В главе 3** дипломной работы приводятся описание таких понятий как энтропия по Шеннону, взаимная энтропия и t-критерий Стьюдента.

Информационная энтропия — мера неопределённости или непредсказуемости информации, неопределённость появления какого-либо символа первичного алфавита. При отсутствии информационных потерь она численно равна количеству информации на символ передаваемого сообщения.

Энтропия — это количество информации, приходящейся на одно элементарное сообщение источника, вырабатывающего статистически независимые сообщения.

Информационная двоичная энтропия для независимых случайных событий  $x$  с  $n$  возможными состояниями (от 1 до  $n$ ,  $p$  — функция вероятности) рассчитывается по формуле

$$H(x) = -\sum_{i=0}^n p(i) \log_2 p(i) \quad (1)$$

Эта величина также называется *средней энтропией сообщения*. Величина  $H_i = -\log_2 p(i)$  называется *частной энтропией*, характеризующей только  $i$ -е состояние.

Таким образом, энтропия события  $x$  является суммой с противоположным знаком всех относительных частот появления события  $i$ , умноженных на их же двоичные логарифмы. Это определение для дискретных случайных событий можно расширить для функции распределения вероятностей.

Клод Шеннон предположил, что прирост информации равен утраченной неопределённости, и задал требования к её измерению:

1. мера должна быть непрерывной; то есть изменение значения величины вероятности на малую величину должно вызывать малое результирующее изменение функции;
2. в случае, когда все варианты (буквы в приведённом примере) равновероятны, увеличение количества вариантов (букв) должно всегда увеличивать значение функции;
3. должна быть возможность сделать выбор (в нашем примере букв) в два шага, в которых значение функции конечного результата должно являться суммой функций промежуточных результатов.

Поэтому функция энтропии  $H$  должна удовлетворять условиям

1.  $H(p_1, \dots, p_n)$  определена и непрерывна для всех  $p_1, \dots, p_n$ , где  $p_i \in [0,1]$  для всех  $i=1, \dots, n$  и  $p_1 + \dots + p_n = 1$ . (Нетрудно видеть, что эта функция зависит только от распределения вероятностей, но не от алфавита.)
2. Для целых положительных  $n$ , должно выполняться следующее неравенство:

$$H\left(\frac{1}{n}, \dots, \frac{1}{n}\right) < H\left(\frac{1}{n+1}, \dots, \frac{1}{n+1}\right). \quad (2)$$

3. Для целых положительных  $b_i$ , где  $b_1 + \dots + b_k = n$ , должно выполняться равенство

$$H\left(\frac{1}{n}, \dots, \frac{1}{n}\right) = H\left(\frac{b_1}{n}, \dots, \frac{b_k}{n}\right) + \sum_{i=1}^k \frac{b_i}{n} H\left(\frac{1}{b_i}, \dots, \frac{1}{b_i}\right). \quad (3)$$

Шеннон показал, что единственная функция, удовлетворяющая этим требованиям, имеет вид

$$-K \sum_{i=1}^n p(i) \log_2 p(i), \quad (4)$$

Где  $K$  — константа (и в действительности нужна только для выбора единиц измерения; например, посредством этой константы можно изменить основание логарифма).

Шеннон определил, что измерение энтропии

( $H = -p_1 \log_2 p_1 - \dots - p_n \log_2 p_n$ ), применяемое к источнику информации, может определить требования к минимальной пропускной способности канала, требуемой для надёжной передачи информации в виде закодированных двоичных чисел. Для вывода формулы Шеннона необходимо вычислить математическое ожидание «количества информации», содержащегося в цифре из источника информации. Мера энтропии Шеннона выражает неуверенность реализации случайной переменной. Таким образом, энтропия является разницей между информацией, содержащейся в сообщении, и той частью информации, которая точно известна (или хорошо предсказуема) в сообщении. Примером этого является избыточность языка — имеются явные статистические закономерности в появлении букв, пар последовательных букв, троек и т. д. [4].

**Энтропии объединения или взаимная энтропия**, предназначенного для расчёта энтропии взаимосвязанных систем (энтропии совместного

появления статистически зависимых сообщений) и обозначается  $H(AB)$ , где  $A$ , как всегда, характеризует передатчик, а  $B$  — приёмник.

Взаимная энтропия вычисляется последовательным суммированием по строкам (или по столбцам) всех вероятностей матрицы, умноженных на их логарифм:

$$H(AB) = - \sum_i \sum_j p(a_i b_j) \log p(a_i b_j) \quad (5)$$

Единица измерения — бит/два символа, это объясняется тем, что взаимная энтропия описывает неопределённость на пару символов — отправленного и полученного. Путём несложных преобразований также получаем

$$H(AB) = H(A) + H(B|A) = H(B) + H(A|B) \quad (6)$$

Взаимная энтропия обладает свойством *информационной полноты* — из неё можно получить все рассматриваемые величины[5].

**T-критерий Стьюдента** используется для определения статистической значимости различий средних величин. Может применяться как в случаях сравнения независимых выборок, так и при сравнении связанных совокупностей.

Для сравнения средних величин t-критерий Стьюдента рассчитывается по следующей формуле:

$$t = \frac{M_1 - M_2}{\sqrt{m_1^2 + m_2^2}} \quad (7)$$

где  $M_1$  - средняя арифметическая первой сравниваемой группы,  $M_2$  - средняя арифметическая второй сравниваемой группы,  $m_1$  - средняя ошибка первой средней арифметической,  $m_2$  - средняя ошибка второй средней арифметической[6].

**Четвертая глава** работы – это анализ и предварительная обработка данных представленных доктором Клементиной ван Райн из Дондерс института университета города Неймеген (Radboud Univerversiteit Nijmegen). Данные представляют собой 32х канальную ЭЭГ, которая снималась с детей 3-8 лет, 4 теста до лечения и 4 теста после, для каждого теста проводилось по 3 эксперимента. К детям применялось как медикаментозное, так и процедурное лечение.

Отобразив данные в графическом режиме, были выявлены 50 Гц сетевая наводка, низкочастотный тренд, участки на которых наблюдаются скачки средних значений амплитуды. Из временных рядов ЭЭГ были выбраны интервалы, которые демонстрировали стационарное поведение. Не фильтрованный временной ряд отведения ЭЭГ С3 первого пациента с 7,6 по 11 секунды представлен на рис.1а. На рис.1б показан его спектр мощности с сетевой наводкой. Сигнал отфильтрованный в диапазоне (2-49 Гц) можно увидеть на рисунке2(а, б).

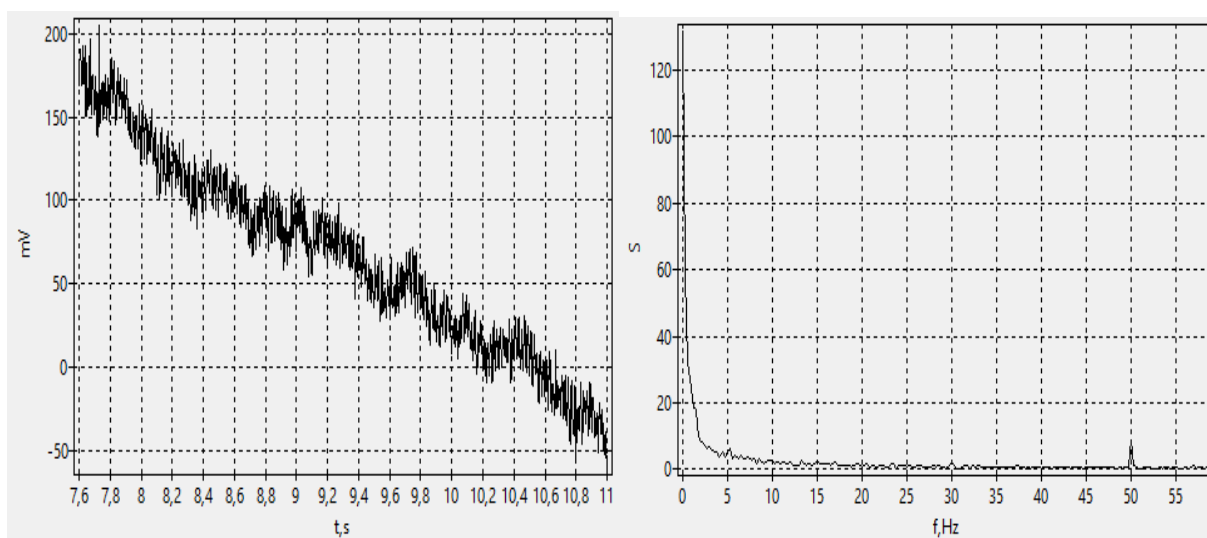


Рис.1(а, б) Временной ряд и его спектр, отведения С3 пациента №1



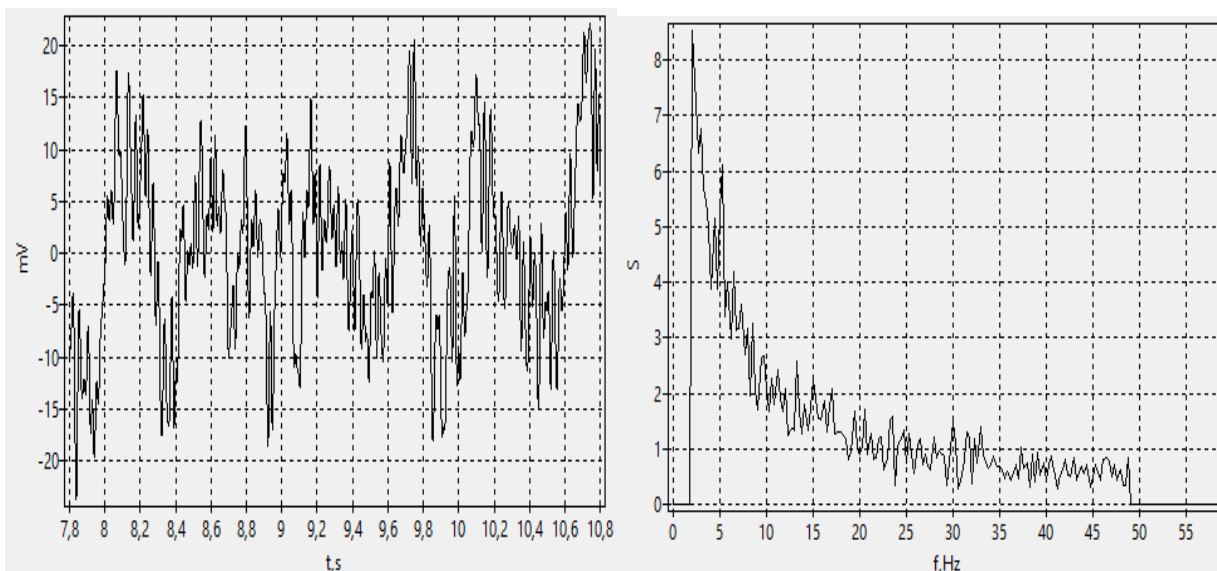


Рис.2 (а, б) Отфильтрованный сигнал в диапазоне (2-49 Гц) и его спектр, отведения С3 пациента №1

После фильтрации для выбранных интервалов отведений вычислялась взаимная плотность на основе которой вычислялась энтропия объединения.

Вычислив взаимную энтропию для пациента №1 с активной пораженной левой рукой получились значения, которые представлены в таблице 1 - до лечения и таблице 2 – после лечения.

Отведения	I эксперимент	II эксперимент	III эксперимент	Среднее
С3-С4	3,85	4,57	4,7	4,37
F3-F4	4,24	4,6	4,87	4,57
P3-P4	4,54	4,89	4,68	4,7
F7-F8	4,31	4,41	3,81	4,18
P7-P8	4,46	5,31	4,92	4,9

Табл.1 Значения взаимной энтропии для активной пораженной левой руки пациента №1 больного ДЦП, до лечения

Отведения	I эксперимент	II эксперимент	III эксперимент	Среднее
C3-C4	4,94	4,69	5,09	4,91
F3-F4	4,72	4,29	4,45	4,49
P3-P4	5,1	4,71	5	4,94
F7-F8	5,02	4,34	4,56	4,64
P7-P8	5,37	5,16	4,72	5,08

Табл.2 Значения взаимной энтропии для активной пораженной левой руки пациента №1 больного ДЦП, **после лечения**

В таблице 1 приведены результаты, полученные для теста с активной пораженной рукой до лечения. Видно, что взаимная энтропия для пар отведения теменной области (P3-P4, P7-P8) больше чем для лобной (F3-F4, F7-F8). Результаты, полученные при обработке данных тестов с активной пораженной левой рукой после лечения, продемонстрированы в таблице 2. Произошло увеличение взаимной энтропии, полученной по данным пар отведений F3-F4, F7-F8. Таким образом, можно говорить об усложнении суммарной динамики соответствующих сигналов.

Также были вычислены значения энтропии для здоровых людей, полученные данные можно увидеть в таблице 3. Энтропия считалась по тем же отведениям что и для больных ДЦП пациентов.

Отведения	I эксперимент	II эксперимент	III эксперимент	Среднее
C3-C4	4,62	4,24	4,32	4,39
F3-F4	4,84	4,66	4,23	4,57
P3-P4	5,31	5,26	5,28	5,28
F7-F8	5,16	4,97	4,56	4,9
P7-P8	5,26	5,21	5,26	5,26

Табл.3 Значения взаимной энтропии для активной левой руки **здорового человека**

Из таблицы 3 видно сильное изменение взаимной энтропии между центральной (С3-С4) и теменной (Р3-Р4, Р7-Р8) областью почти на единицу. Значение энтропии в теменной части наиболее велико по сравнению с другими отведениями.

Для проверки нулевой гипотезы различия средних значений результатов взаимной энтропии до и после лечения использовался t-тест Стьюдента.

Результаты его применения для пациента №1 представлены в таблице 4.

Эксперимент	Значение pvalue
Активная пораженная левая рука	0.05
Не пораженная правая рука в состоянии покоя	0.35
Пораженная левая рука в состоянии покоя	0.002
Активная не пораженная правая рука	0.42

Табл.4 Р значение для пациента №1 во всех пробах

Анализируя р значение для пациента №1, можно сделать вывод, о том, что в тестах при активной и покоящейся пораженной левой рукой произошло сильное изменение среднего между значениями до и после лечения, что говорит о различии в средних с вероятностью больше чем на 95%. Для здоровой правой руки в покое и в движении сильных изменений не произошло.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе проводилось исследование изменения взаимной энтропии у детей, пораженных ДЦП до и после лечения. Рассматривались данные 32-х канальной ЭЭГ до и после лечения с двигательными тестами как пораженной, так и здоровой руки. Присутствовали также тестовые ряды от здорового взрослого человека.

Данные ЭЭГ детей, представленные в этой работе сильно зашумлены: в них присутствует 50 Гц сетевая наводка, низкочастотный тренд, не стационарные интервалы. Поэтому данные нуждались в предварительной обработке. Фильтрация проводилась в интервале 2-49 Гц, после чего выбирались стационарные части временного ряда.

Для отфильтрованных данных со стационарными участками вычислялась взаимная энтропия между парами отведений C3-C4, F3-F4, P3-P4, F7-F8, P7-P8 для двух пациентов №1 и №2 которые больны ДЦП и здорового взрослого человека. После вычисления взаимной энтропии были проанализированы результаты на усложнение или упрощение динамики. У первого пациента произошло увеличение взаимной информации после лечения при тесте активной пораженной левой рукой и уменьшение при пораженной левой рукой в покое. Вычисления для второго пациента при тестах с здоровой правой рукой в состоянии покоя и в движении, а также пораженной левой рукой в покое показали появление новых возможных состояний после лечения. Тест здорового взрослого человека показал сильное изменение взаимной энтропии между центральной и теменной областью при двух экспериментах.

К полученным данным был применен t-тест Стьюдента. С помощью которого мы увидели, что у первого пациента произошло значительное изменение среднего при тесте пораженной левой рукой в состоянии покоя, а у второго пациента в не пораженной правой руке в покое.