

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

**АНАЛИЗ ФАЗОВОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ ДАННЫХ  
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

Стецюка Андрея Игоревича

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.

## Вступление

На протяжении последних десятилетий медицина уделяет решению вопроса лечения и реабилитации детей с заболеванием детский церебральный паралич (ДЦП) большое внимание. В данной работе произведена оценка изменения коэффициента фазовой синхронизации между отведением электроэнцефалограммы (ЭЭГ) детей, страдающих ДЦП, до и после лечения. Анализ фазовой синхронизации между сигналами ЭЭГ предназначен для нахождения и описания связи деятельности различных областей коры головного мозга.

В работе использовались данные ЭЭГ пациентов с пораженными верхними конечностями (левая рука), обработка и анализ которых сложнее анализа синтетических данных, в связи с необходимостью проведения фильтрации (сетевая наводка) и выделения полезной составляющей (альфа, бета ритмы). Так же искажения могут быть вызваны физической активностью и морганием глаз испытуемых во время проведения эксперимента.

Работа состоит из введения, 5 глав и заключения.

**В первой главе** дана основная информация о детском церебральном параличе, как о заболевании.

Детские церебральные параличи — термин, объединяющий группу хронических непрогрессирующих симптомокомплексов двигательных нарушений. Возникают в результате поражения одного или более отделов головного мозга в период внутриутробного развития, во время родов или в период новорожденности, возможно вследствие различного рода травм.

Причина любых церебральных параличей — патология в коре, подкорковых областях, в капсулах или стволе головного мозга. Одним из факторов, провоцирующих развитие ДЦП, принято считать кислородное голодание мозга — гипоксию — во время внутриутробного развития или в процессе родов. Менее распространенным видом церебрального паралича является приобретенный паралич. Он возникает в первые 2 года жизни ребенка как результат

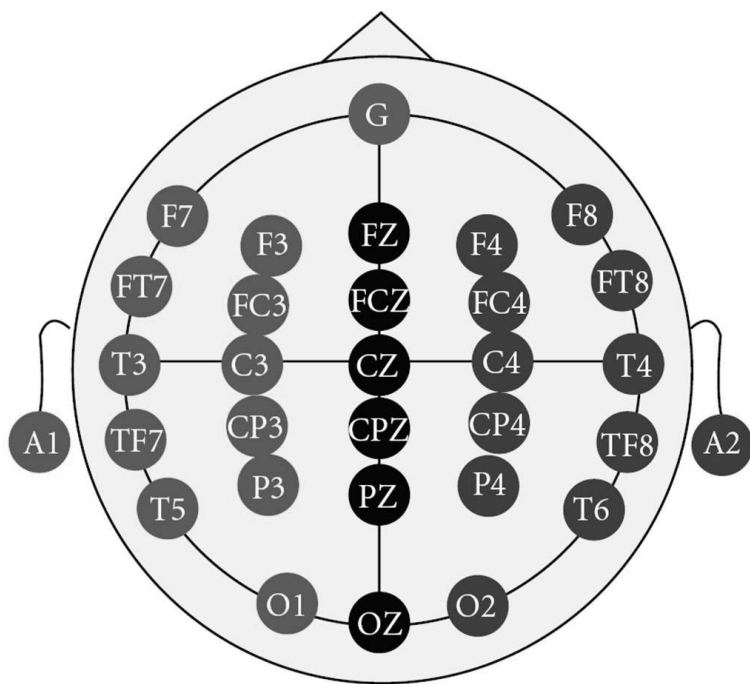
перенесенных тяжелых черепно-мозговых травм или инфекций мозга.

Сегодня существуют специальные методики, которые помогают улучшить состояние больного.

Данные ЭЭГ детей, используемые в данной работе уникальны тем, что у всех больных повреждена одна и та же конечность - левая рука.

**Вторая глава исследования содержит данные о сигнале (экспериментальные данные) и фильтрации.**

В данной работе использовались временные ряды, предоставленные доктором Клементиной ван Райн института университета города Неймеген (Radboud Universiteit Nijmegen), Нидерланды. Данные представляют собой поверхностную электроэнцефалограмму головного мозга, снятую с пациентов, страдающих детским церебральным параличом с пораженными верхними конечностями. К пациентам применялось как медикаментозные, так и процедурные методы лечения. Каждый файл содержит 45000 значений, что соответствует 45 секундам записи (3 сеанса по 15 секунд), с частотой дискретизации 1000 Гц. В каждом файле хранятся данные 32-х канальной ЭЭГ (схематичное расположение отведений показано на рисунке).



*Рисунок 1: Схематичное расположение электродов  
поверхностной ЭЭГ*

Для анализа использовались только альфа- и бета-составляющие сигналов, полученные с помощью фильтрации в полосе частот 8-14 Гц и 14-30 Гц соответственно (пример сигнала изображен на рисунке 2).

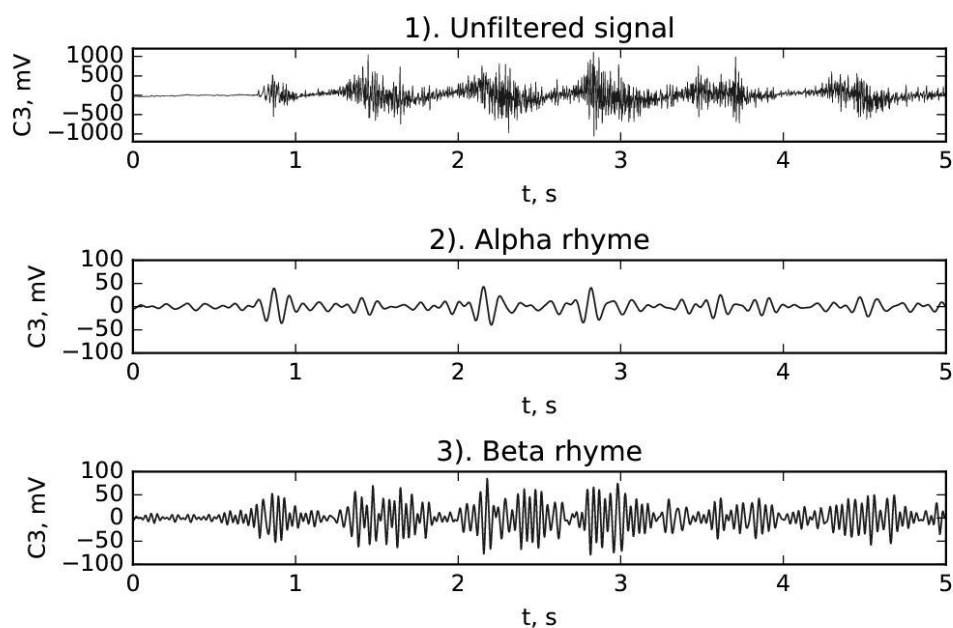


Рисунок 2: Пример фрагмента сигнала (10 тыс. точек), снятого с отведения С3: 1). Нефильтрованный сигнал; 2). Альфа-ритм; 3) Бета-ритм

В работе рассматривались данные с отведений С3, С4, Р3, Р4 и F3, F4, так как при ДЦП чаще всего поражены области коры головного мозга за которые отвечают эти отведения.

### **В третьей главе рассматривается Гильбертово преобразование, фаза, мгновенная фаза**

Фаза колебаний - это величина, которая характеризует состояние колеблющегося тела в некоторый момент времени - его положение и направление движения. Фаза меняется за период колебаний от 0 до  $2\pi$  - период синуса (косинуса). Следовательно, фазы повторяются каждый период колебаний. Отсюда и происходит определение периода колебаний, как времени, которое проходит между повторением одинаковых фаз колебаний.

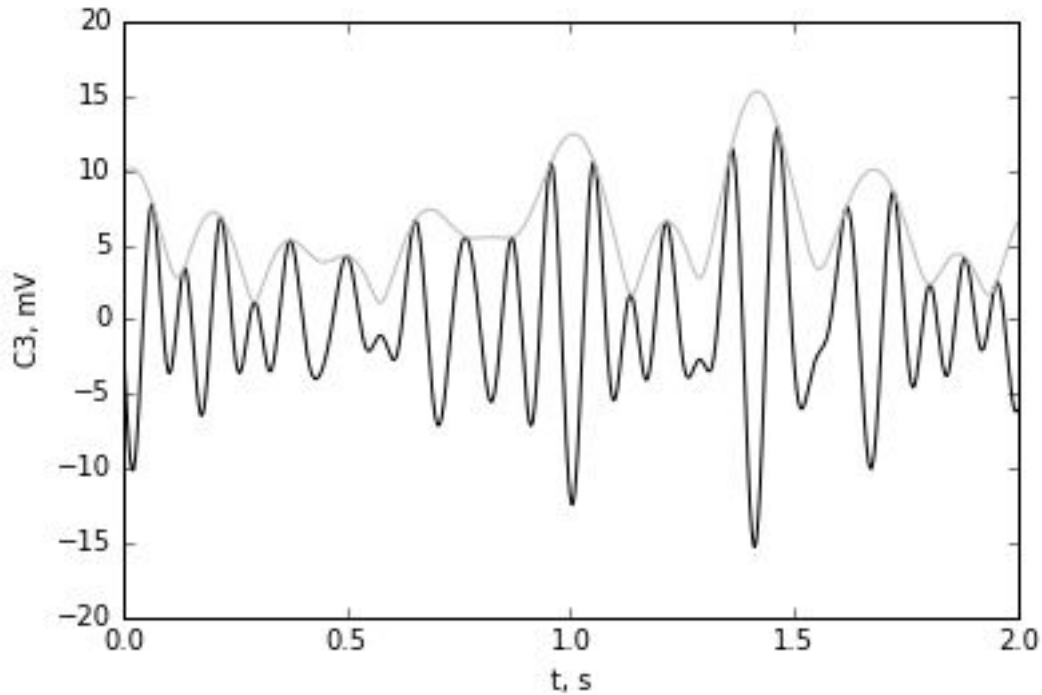
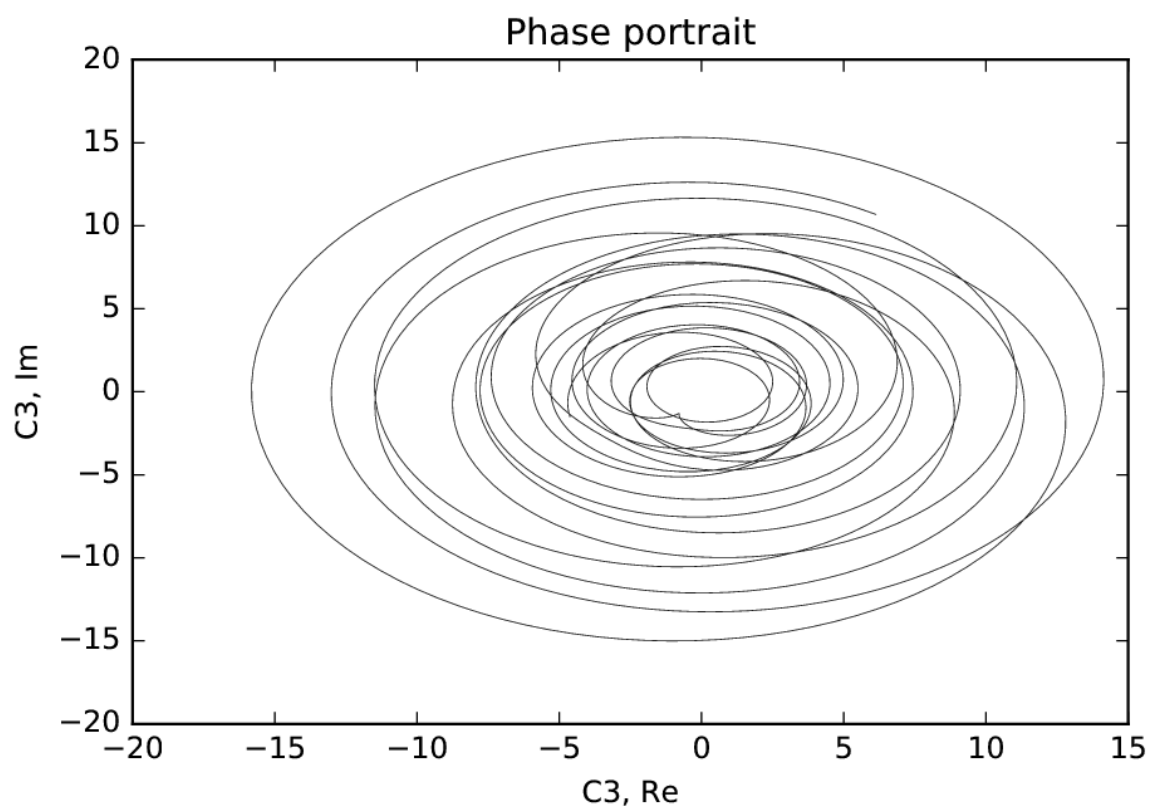


Рисунок 3: Фрагмент сигнала (СЗ, альфа, черным цветом) и его огибающей (серым)

Физический смысл преобразования Гильберта заключается в повороте начальных фаз всех спектральных составляющих исходного сигнала  $s(t)$  на один и тот же угол, равный  $-0.5\pi$ . Поворот на этот угол эквивалентен появлению множителя  $\exp(-i\pi / 2)$ . Такая операция может быть выполнена с помощью широкополосного фазовращателя на  $90^\circ$ . Аналитический сигнал является обобщением комплексного представления узкополосного сигнала, для которого вещественная и мнимая части связаны между собой. Для сигнала произвольной формы такая связь не является однозначной, поскольку не определена мнимая часть соответствующего комплексного сигнала. Заметим, однако, что значения спектра  $S(\omega)$  вещественного сигнала в области  $\omega < 0$  однозначно определяются значениями  $S(\omega)$  при  $\omega > 0$ . Поэтому вещественный сигнал  $s(t)$  может быть однозначно выражен с помощью комплексного сигнала  $s_a(t)$  (аналитический сигнал). Спектр аналитического сигнала отличен от нуля лишь при  $\omega > 0$  и совпадает в этой области со спектром сигнала  $s(t)$ .

Аналитический сигнал (аналитическое представление сигнала) — используемое в теории обработки сигналов математическое представление аналогового сигнала в виде комплекснозначной аналитической функции времени (обратное не всегда имеет место). Аналитический сигнал является обобщением понятия комплексной амплитуды на случай сигналов, отличных от гармонического, и представляет собой пару реальных сигналов, которую записывают в виде действительной части (сигнал) и мнимой (гильберт-образ сигнала). Таким образом, обычный действительный сигнал является при этом действительной частью аналитического представления.



Преобразование Гильберта позволяет разложить исходный процесс на две составляющие -- амплитудную и фазовую. С простейшим примером такого разложения мы встречаемся при записи гармонической функции синуса или косинуса:

$$x(t) = A \cos(2\pi ft + \varphi_0) ,$$

которая характеризуется амплитудой  $A$  - максимальным отклонением от нулевого уровня, и фазой  $\varphi = 2\pi ft + \varphi_0$ . Фаза является аргументом гармонической функции, который определяет, сколько периодов функции наблюдается от начального момента времени и каково ее значение в данный момент времени;  $\varphi_0$  - начальная фаза, т.е. фаза в момент времени  $t=0$ . Амплитуда гармонической функции не меняется во времени, а фаза линейно растет с коэффициентом пропорциональности  $f$ , который носит название частоты. Частота  $f$  определяет число периодов (повторений значений функции) в единицу времени и является постоянной во времени величиной. Амплитуда и фаза гармонической функции отражают различную информацию: амплитуда описывает энергию, а фаза характеризует повторяемость процесса во времени, и в этом смысле они могут рассматриваться как независимые характеристики гармонической функции.

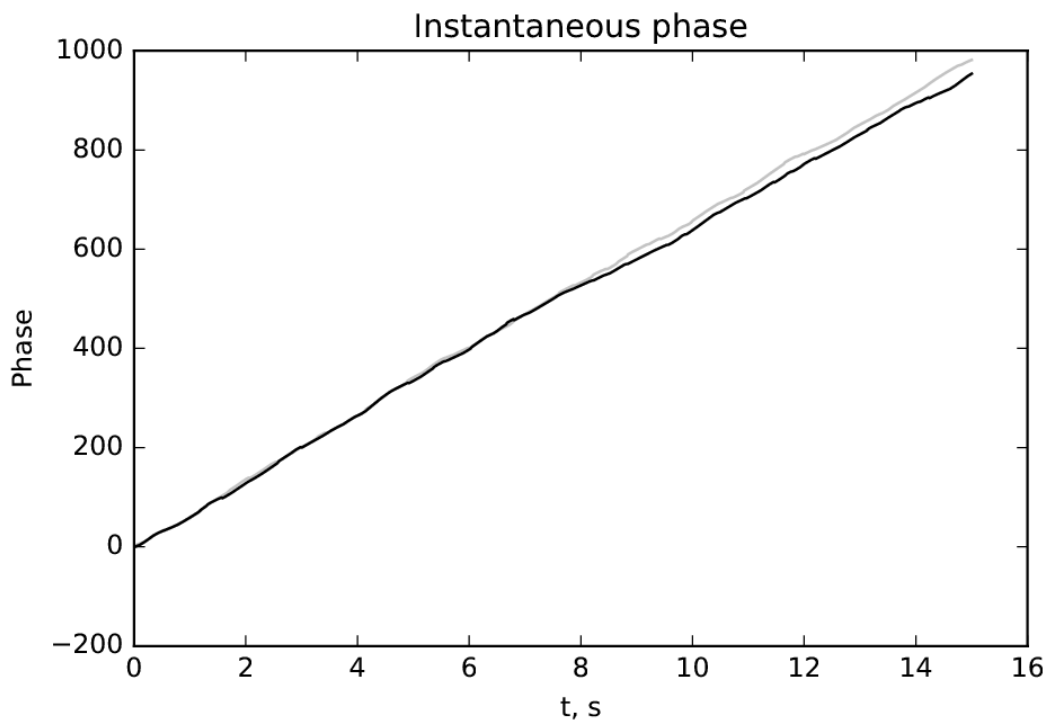


Рисунок 4: График значений мгновенной фазы для временных рядов отведений СЗ(черным) и С4(серым)



**В четвертой главе дано определение коэффициента фазовой синхронизации.**

Для получения количественной характеристики синхронизации между двумя колебательными системами используется ряд показателей, в том числе коэффициенты фазовой синхронизации, отражающие стабильность разности фаз колебаний. Наиболее часто используемый:

$$\hat{p} = \left| \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \exp^{j(\varphi_1(t_n) - \varphi_2(t_n))} \right| \quad (1)$$

Величина  $p$  принимает значения от нуля до единицы. Максимальное значение  $p=1$  соответствует строго синхронному режиму двух процессов, разность их фаз  $\varphi_1 - \varphi_2$  постоянна. Для несвязанных осцилляторов  $p$  принимает значение 0. Данный коэффициент можно назвать характеристикой степени синхронизации, если под синхронизацией понимать наличие любой, хотя бы и слабой взаимосвязи между одновременными значениями фаз.

В таблице 1 указаны некоторые из полученных значений коэффициента для первого пациента.

**Расчёт коэффициента фазовой синхронизации для экспериментальных данных приведен в пятой главе.**

Значения коэффициента фазовой синхронизации

Вид данных	Номер эксперимента	Пара отведений	Ритм	Коеф. Фазовой синхр.	
<b>Пациент №1 Активная пораженная левая рука (до лечения)</b>	1	C3 – C4	альфа	0.544	
	1	C3 – C4	бета	0.519	
	2	C3 – C4	альфа	0.574	
	2	C3 – C4	бета	0.554	
	3	C3 – C4	альфа	0.558	
	3	C3 – C4	бета	0.551	
	1	F3 – F4	альфа	0.529	
	1	F3 – F4	бета	0.586	
	2	F3 – F4	альфа	0.675	
	2	F3 – F4	бета	0.588	
	3	F3 – F4	альфа	0.626	
	3	F3 – F4	бета	0.615	
	1	P3 - P4	альфа	0.569	
	1	P3 - P4	бета	0.591	
	2	P3 - P4	альфа	0.510	
	2	P3 - P4	бета	0.563	
	3	P3 - P4	альфа	0.518	
	3	P3 - P4	бета	0.565	
	<b>Пациент №1 Активная пораженная левая рука (после лечения)</b>	1	C3 – C4	альфа	0.555
		1	C3 – C4	бета	0.520
		2	C3 – C4	альфа	0.464
		2	C3 – C4	бета	0.508
		3	C3 – C4	альфа	0.448
		3	C3 – C4	бета	0.443
1		F3 – F4	альфа	0.612	
1		F3 – F4	бета	0.601	
2		F3 – F4	альфа	0.617	
2		F3 – F4	бета	0.589	
3		F3 – F4	альфа	0.619	
3		F3 – F4	бета	0.483	
1		P3 - P4	альфа	0.684	
1		P3 - P4	бета	0.673	
2		P3 - P4	альфа	0.622	
2		P3 - P4	бета	0.658	
3		P3 - P4	альфа	0.574	
3		P3 - P4	бета	0.572	

Таблица 1: Значения коэффициента фазовой синхронизации для первого пациента (одноименные пары отведений)

**В шестой главе дан анализ результатов и определение Т-критерию Стьюдента.**

Т-критерий Стьюдента – общее название методов статистической проверки гипотез (статистических критериев), основанных на распределении Стьюдента. Наиболее частые случаи применения t-критерия связаны с проверкой равенства средних значений в двух выборках.

t-статистика строится обычно по следующему общему принципу: в числителе случайная величина с нулевым математическим ожиданием (при выполнении нулевой гипотезы), а в знаменателе — выборочное стандартное отклонение этой случайной величины, получаемое как квадратный корень из несмещенной оценки дисперсии.

В данной работе в качестве выборок выступают массивы значений коэффициентов фазовой синхронизации до лечения и после. Расчет производился как для пар симметричных отведений: С3-С4, Р3-Р4, F3-F4; а так же для пар разноименных отведений с различных отделов головного мозга: С3-Р3, С3-Р4, С3-F3, С3-F4 и т. д. При величине t-критерия менее 0,1 можно утверждать о наличии различий между выборками коэффициентов. Результаты расчетов указаны в таблице 1.

**Значения Т-критерия Стьюдента**

Вид данных	Номер пациента	Ритм	T-test (1)	T-test (2)
Active affected lefthand	1	альфа	0,747	0,015
Active affected lefthand	1	бета	0,742	0,910
Active affected lefthand	3	альфа	0,187	0,140
Active affected lefthand	3	бета	0,071	0,000
Active affected lefthand	4	альфа	0,287	0,176
Active affected lefthand	4	бета	0,461	0,223
Active affected lefthand	5	альфа	0,002	0,000
Active affected lefthand	5	бета	0,828	0,604
Active non affected righthand	1	альфа	0,463	0,059
Active non affected righthand	1	бета	0,271	0,052
Active non affected righthand	3	альфа	0,182	0,037
Active non affected righthand	3	бета	0,011	0,000
Active non affected righthand	4	альфа	0,841	0,949
Active non affected righthand	4	бета	0,160	0,024
Active non affected righthand	5	альфа	0,009	0,000
Active non affected righthand	5	бета	0,005	0,001
Rest affected lefthand	1	альфа	0,591	0,520
Rest affected lefthand	1	бета	0,768	0,332
Rest affected lefthand	3	альфа	0,063	0,000
Rest affected lefthand	3	бета	0,041	0,000
Rest affected lefthand	4	альфа	0,205	0,377
Rest affected lefthand	4	бета	0,662	0,546
Rest affected lefthand	5	альфа	0,000	0,000
Rest affected lefthand	5	бета	0,000	0,000
Rest non affected righthand	1	альфа	0,438	0,034
Rest non affected righthand	1	бета	0,140	0,010
Rest non affected righthand	4	альфа	0,127	0,010
Rest non affected righthand	4	бета	0,649	0,638
Rest non affected righthand	5	альфа	0,001	0,000
Rest non affected righthand	5	бета	0,091	0,160

*Таблица 2: Значения Т-теста: 1). Для одноименных пар отведений(пр. С3 - С4); 2). Для разноименных комбинаций (пр. P3 - F4)*

О полученных результатах можно говорить, опираясь на значения таблицы 1. Наиболее значимыми являются значения критерия Стьюдента менее 0,1. Данные t-теста для первого и четвертого пациентов значительно превышают допустимый порог, следовательно нельзя судить о синхронизации этих показателей. Данные третьего пациента имеют значение t-теста близкие к 0,1 во всех доступных исследованиях, что говорит об изменениях в архитектуре связей до и после лечения. Наименьшие значения t-критерия получены для пациента номер пять — некоторые менее 0,01, что соответствует существенным изменениям коэффициента фазовой синхронизации после лечения.