

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
наименование кафедры

**Анализ изменения архитектуры связей между областями головного
мозга до и после лечения у детей, страдающих ДЦП, на основе оценки
функции взаимной информации**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

Студентки 4 курса 461 группы

направления 12.03.04 «Биотехнические системы и технологии»
код и наименование направления

факультета nano- и биомедицинских технологий
наименование факультета

Варюхиной Татьяны Ивановны
фамилия, имя, отчество

Научный руководитель
доцент, к.ф.-м.н
должность, уч. степень, уч. звание

дата, подпись

М.В. Корнилов
инициалы, фамилия

Зав. кафедрой:
д.ф.-м.н., доцент
должность, уч. степень, уч. звание

дата, подпись

Е.П. Селезнев
инициалы, фамилия

Саратов 2017 г.

Введение. На сегодняшний день детский церебральный паралич (ДЦП) является одним из самых серьезных заболеваний, так как происходит повреждение головного мозга, что приводит к нарушению интеллекта, затруднение мышления и умственной деятельности, а также к затруднению двигательной активности. По данным Минздрава на 2010 год в России насчитывается 71 429 детей с ДЦП в возрасте 0-14 лет и 13 655 детей с таким диагнозом в возрасте 15-17 лет. В 2009 году диагноз ДЦП впервые был поставлен 7 409, в 2010 году – 6 978 детям. Это трудно излечимая болезнь, нервная система не передает сигнал мышечным связкам, тонус еле уловим.

На сегодняшний день активно развиваются неинвазивные методы (при которых на кожу пациента не оказываются воздействия по средством игл или иных хирургических инструментов) снятия биомедицинских сигналов. Такой способ получения информации о здоровье крайне важен для снятия показаний детей, т.к. это позволяет безболезненно и практически в любых условиях получить их биомедицинские данные. К таким методам можно отнести электроэнцефалографию (ЭЭГ), которая применяется для исследования функционального состояния центральной нервной системы, патологии которой занимает ведущее место в структуре неврологических заболеваний.

Существует множество методик анализа ЭЭГ данных, к которым можно отнести построение спектров мощностей, оценку корреляционных функций, построение прогностических моделей и.п. В данной работе будет использована относящаяся к статистическим методам анализа сигналов оценка функции взаимной информации. Данная мера хороша тем, что позволяет также учитывать различные виды связей между сигналами.

Целью данной работы является оценка изменения архитектуры связей между отделами головного мозга у детей, страдающих ДЦП до и после лечения на основе анализа изменения функции взаимной информации.

Основное содержание работы. Детский церебральный паралич – это заболевание головного мозга. Основной причиной является недоразвитие или

его повреждение, а также из-за кислородного голодания во время беременности и родов. Также развитие ДЦП может быть спровоцировано инфекционными и эндокринными болезнями матери во время беременности, неблагоприятный радиационный фон, преждевременная отслойка плаценты. Примерно половина детей с ДЦП рождаются недоношенными.[1]

Электроэнцефалограмма (ЭЭГ), зарегистрированная через неповрежденные покровы черепа, представляет собой суммарную активность большого количества нейронов, а также состоит из многих частотных компонентов. Самыми высокоинформативными являются данные ЭЭГ, снятые при различных формах эпилепсии, опухолях, сосудистых нарушениях головного мозга (в особенности при острых нарушениях мозгового кровообращения), черепно-мозговой травме.[2]

Основные ритмы ЭЭГ взрослого человека, который находится в состоянии вне сна, следующие:

1. Альфа (α)-ритм. Его частота - 8—13 колебаний в 1 с, амплитуда до 100 мкВ. Регистрируют у 85-95 % здоровых взрослых лиц. Лучше всего он выражен в затылочных отведениях, по направлению к лобной доле полушарий амплитуда его постепенно уменьшается. Самая большая амплитуда α -ритма у человека, находящимся в спокойном расслабленном состоянии. ЭЭГ взрослого человека в состоянии бодрствования: регулярный α -ритм, модулированный в веретена, лучше всего выражен в затылочной области; реакция активизации на вспышку света (указатель раздражения на нижнем канале).[3]

2. Бета (β)-ритм. Частота - 14-40 колебаний в 1 с, амплитуда - до 15 мкВ. Лучше всего этот ритм регистрируется в участке передних центральных извилин.[4]

Так как потенциалы мозга имеют малую величину, то даже небольшие посторонние сигналы, накладываясь на запись ЭЭГ, могут ее исказить и маскировать. Посторонние сигналы, не связанные с потенциалами мозга, называются артефактами.[5,6]

Взаимная информация — статистическая функция двух случайных величин, которая описывает количество информации, содержащееся в одной случайной величине относительно другой.[7,8]

Взаимная информация вычисляется через энтропию и условную энтропию двух случайных величин как

$$I(X;Y) = H(X) - H(X | Y) = H(X) + H(Y) - H(X,Y) \quad (1)[9]$$

Python — высокоуровневый язык программирования общего назначения, который предназначен для повышения производительности разработчика и читаемости кода. Стандартная библиотека включает большой объём полезных функций.[10]

NumPy представляет собой пакет массива обработки общего назначения, предназначенный для эффективного манипулирования большими многомерными массивами произвольных записей, не жертвуя слишком много скорости для малых многомерных массивов. Matplotlib.pyplot представляет собой набор функций команды стиля, которые делают Matplotlib работу как MATLAB. Библиотека scikit-learn представляет собой реализацию ряда алгоритмов для обучения через интерфейс для Python. В первую очередь она предназначена для моделирования данных.[11]

Исследуемые данные. Исследовались данные многоканальной электроэнцефалограммы детей, больных детским церебральным параличом, которые были предоставлены доктором Клементиной ван Райн из Дондерс института Радобоуд университета города Неймеген королевства Нидерланды. Данные представляли собой 32-х канальную ЭЭГ с частотой дискретизации 1000 Гц. В работе рассматривались данные следующих тестов: при активной и в состоянии покоя пораженной конечности, при активной и в состоянии покоя не пораженной конечности. Для каждого из тестов проводилось до трех измерений (по 15 секунд каждое) до лечения и после. В данном исследовании были выбраны отведения: F3, F4, C3, C4, P3, P4, архитектура связей представлена на рис. 1.

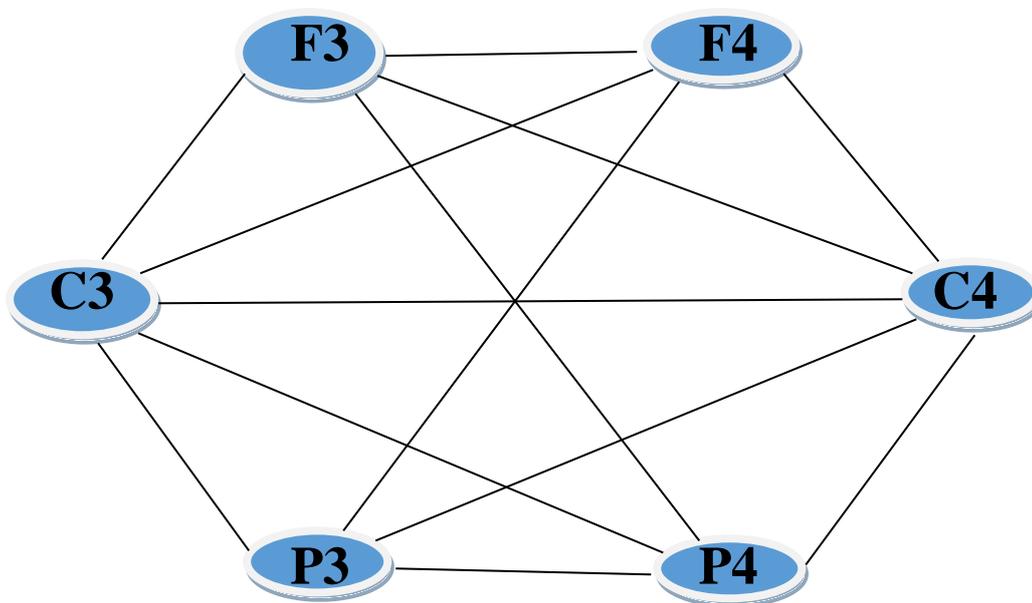


Рис. 1. Схема исследуемых связей между отведениями.

Предварительная обработка. На первом этапе исследования был проведен визуальный осмотр временных рядов сигналов. На рис. 2 представлен характерный вид временной реализации, полученной для отведения С3, а также её амплитудный спектр. На графике представлены 3 последовательных эксперимента по 15 секунд каждый в виде одного временного ряда. Из графиков видно, что сигнал сильно зашумлен, присутствуют различного рода артефакты.

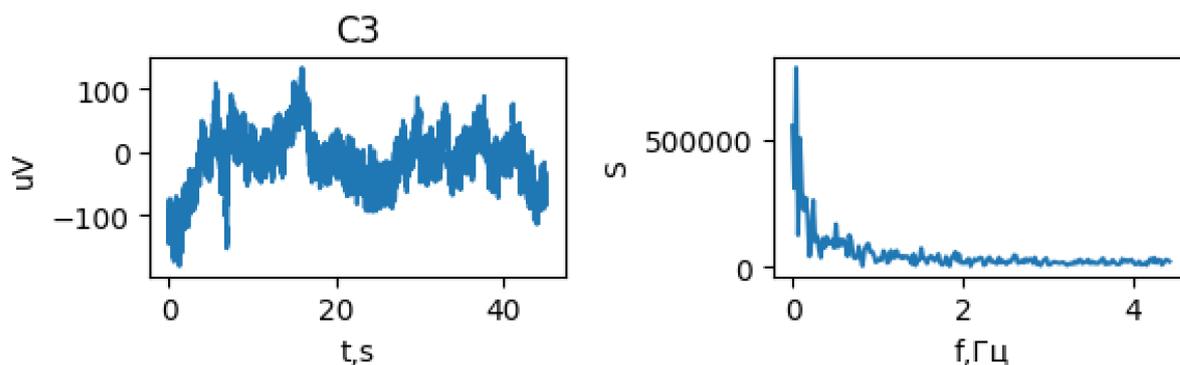


Рис.2. График зависимости сигнала отведения С3.

Такого вида сигнал не годиться для дальнейшего анализа. Поэтому было предложено выделять участки ЭЭГ, не содержащие серьезных искажений. Таким образом, для каждого эксперимента выбирались по три участка ЭЭГ длиной не менее двух секунд, их графики представлены на рис. 3.

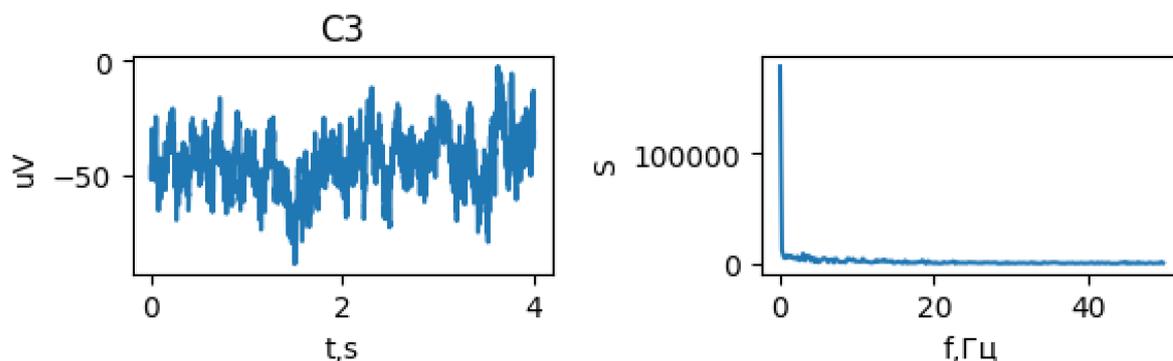


Рис.3. Участок сигнала, полученного с отведения С3, не содержащий существенный искажений.

Вычисление функции взаимной информации. Для выбранных участков ЭЭГ, которые содержат минимальное количество искажений применялся подсчет функции взаимной информации. Расчет которой реализован в библиотеке python scikit-learn. Рассматривались следующие пары отведений: F3-F3, F3-C3, P3-P4, F3-C4, C3-C4, C3-P3, C3-P4, F4-C3, F4-C4, F4-P3, F4-P4, C3-P4, C4-P3.

Результаты подсчета функции взаимной информации, полученные для пациента 1, по трем выбранным интервалам ЭЭГ до и после лечения представлены в таблице 1. Из таблицы видно, что после лечения произошло уменьшение функции взаимной информации между всеми выбранными парами отведений за исключением F3-C4.

В таблице 2. приведены аналогичные зависимости для непораженной правой руки до и после лечения. Из таблицы видно, что между отведениями значение функции взаимной информации между отведениями F3-F4, F3-C3, F3-P4, C3-C4, C3-P3, C3-P4, F4-C4, C4-P4, C4-P3, P3-P4 увеличилось, а между F3-C4, F4-C3, F4-P3 – уменьшилось.

Результаты подсчета функции взаимной информации для теста с пораженной левой рукой в состоянии покоя представлены в таблице 3. Между отведениями F3-F4, F3-P4, F3-C4, F4-C4, C4-P4, C4-P3, P3-P4 значение функции взаимной информации увеличилось, а между F3-C3, C3-C4, C3-P3, C3-P4, F4-C3, F4-P3 уменьшилось.

В таблице 4. представлены результаты полученные для теста с непораженной правой рукой в состоянии покоя. Видно что между отведениями всеми отведениями произошло уменьшение значения функции взаимной информации информации.

| | Пораженная левая рука в активном состоянии до лечения | | | Пораженная левая рука в активном состоянии после лечения | | |
|-------|---|----------|----------|--|----------|----------|
| | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| F3-F4 | 0.863 | 0.557 | 0.023 | 0.604 | 0.735 | 0.313 |
| F3-C3 | 1.460 | 1.170 | 0.033 | 0.503 | 0.457 | 0.585 |
| F3-P4 | 0.993 | 0.867 | 0.020 | 0.604 | 0.729 | 0.322 |
| F3-C4 | 0.856 | 0.621 | 0.010 | 0.962 | 0.838 | 0.542 |
| C3-C4 | 1.284 | 0.533 | 0.273 | 0.565 | 0.476 | 0.417 |
| C3-P3 | 1.443 | 1.278 | 0.286 | 0.657 | 0.559 | 0.300 |
| C3-P4 | 1.218 | 0.678 | 0.315 | 0.473 | 0.487 | 0.328 |
| F4-C3 | 1.006 | 0.531 | 0.174 | 0.303 | 0.210 | 0.203 |
| F4-C4 | 1.377 | 0.871 | 0.590 | 0.689 | 0.923 | 0.256 |
| F4-P3 | 1.200 | 0.398 | 0.122 | 0.276 | 0.603 | 0.200 |
| C4-P4 | 1.587 | 0.813 | 0.724 | 0.765 | 0.845 | 0.364 |
| C4-P3 | 1.640 | 0.474 | 0.175 | 0.366 | 0.902 | 0.389 |
| P3-P4 | 1.594 | 0.796 | 0.322 | 0.452 | 1.222 | 0.293 |

Табл.1. Значение функции взаимной информации при пораженной левой руке в активном состоянии до и после лечения для пациента 1.

| | Непораженная правая рука в активном состоянии до лечения | | | Непораженная правая рука в активном состоянии после лечения | | |
|-------|--|----------|----------|---|----------|----------|
| | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| F3-F4 | 0.800 | 0.828 | 0.011 | 0.968 | 0.653 | 0.588 |
| F3-C3 | 0.432 | 0.906 | 0.028 | 1.556 | 0.261 | 0.455 |
| F3-P4 | 0.261 | 0.543 | 0.05 | 0.919 | 0.378 | 0.333 |
| F3-C4 | 0.149 | 0.431 | 5.162 | 0.973 | 0.500 | 0.603 |
| C3-C4 | 0.256 | 0.542 | 0.180 | 0.996 | 0.182 | 0.488 |
| C3-P3 | 0.389 | 1.105 | 0.181 | 1.083 | 0.180 | 0.490 |
| C3-P4 | 0.267 | 1.036 | 0.156 | 1.049 | 0.148 | 0.322 |
| F4-C3 | 0.243 | 1.025 | 0.238 | 0.838 | 0.188 | 0.335 |
| F4-C4 | 0.231 | 0.507 | 0.612 | 1.067 | 0.662 | 0.465 |
| F4-P3 | 0.383 | 0.596 | 0.137 | 0.688 | 0.370 | 0.384 |
| C4-P4 | 0.541 | 0.529 | 0.305 | 1.073 | 0.772 | 0.808 |
| C4-P3 | 0.257 | 0.484 | 0.277 | 0.848 | 0.681 | 0.911 |
| P3-P4 | 0.608 | 0.962 | 0.346 | 1.060 | 0.818 | 0.848 |

Табл.2. Значения функции взаимной информации для непораженной правой руки в активном состоянии до и после лечения для пациента 1.

| | Пораженная левая рука в состоянии покоя до лечения | | | Пораженная левая рука в состоянии покоя после лечения | | |
|-------|--|----------|----------|---|----------|----------|
| | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| F3-F4 | 0.409 | 0.917 | 0.040 | 0.470 | 0.867 | 0.566 |
| F3-C3 | 1.201 | 1.248 | 0.040 | 0.600 | 0.111 | 0.489 |
| F3-P4 | 0.612 | 0.541 | 0.031 | 1.304 | 0.559 | 0.552 |
| F3-C4 | 1.099 | 0.583 | 0.046 | 1.289 | 0.762 | 0.538 |
| C3-C4 | 0.864 | 0.617 | 0.505 | 0.557 | 0.167 | 0.269 |
| C3-P3 | 0.866 | 1.079 | 0.972 | 0.646 | 0.220 | 0.424 |
| C3-P4 | 0.546 | 0.759 | 0.659 | 0.648 | 0.139 | 0.215 |
| F4-C3 | 0.383 | 0.925 | 0.516 | 0.547 | 0.153 | 0.209 |
| F4-C4 | 0.503 | 0.616 | 0.591 | 0.549 | 1.489 | 0.574 |
| F4-P3 | 0.380 | 0.745 | 0.368 | 0.401 | 0.647 | 0.478 |
| C4-P4 | 0.865 | 0.606 | 0.462 | 1.596 | 1.047 | 0.734 |
| C4-P3 | 0.738 | 0.479 | 0.467 | 1.339 | 0.688 | 0.631 |
| P3-P4 | 0.698 | 1.068 | 0.965 | 1.563 | 1.047 | 0.599 |

Табл.3. Значения функции взаимной информации для пораженной левой руки в состоянии покоя до и после лечения для пациента 1.

| | Непораженная правая рука в состоянии покоя до лечения | | | Непораженная правая рука в состоянии покоя после лечения | | |
|-------|---|-------|-------|--|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| F3-F4 | 0.430 | 1.097 | 0.014 | 0.393 | 0.303 | 0.108 |
| F3-C3 | 0.221 | 1.087 | 0.032 | 0.661 | 0.271 | 0.125 |
| F3-P4 | 0.122 | 0.758 | 0.015 | 0.152 | 0.139 | 0.113 |
| F3-C4 | 0.147 | 0.693 | 4.663 | 0.250 | 0.204 | 0.159 |
| C3-C4 | 0.345 | 0.847 | 0.173 | 0.211 | 0.086 | 0.175 |
| C3-P3 | 0.322 | 0.924 | 0.270 | 0.374 | 0.162 | 0.241 |
| C3-P4 | 0.178 | 0.973 | 0.241 | 0.260 | 0.097 | 0.151 |
| F4-C3 | 0.129 | 0.918 | 0.109 | 0.425 | 0.083 | 0.116 |
| F4-C4 | 0.173 | 0.767 | 0.659 | 0.710 | 0.482 | 0.183 |
| F4-P3 | 0.205 | 0.416 | 0.487 | 0.649 | 0.159 | 0.080 |
| C4-P4 | 0.338 | 0.898 | 0.386 | 0.169 | 0.549 | 0.274 |
| C4-P3 | 0.195 | 0.498 | 0.374 | 0.636 | 0.174 | 0.284 |
| P3-P4 | 0.566 | 0.685 | 0.476 | 0.174 | 0.237 | 0.218 |

Табл.4. Значения функции взаимной информации для непораженной правой руки в состоянии покоя до и после лечения для пациента 1.

В результате анализа значений функции взаимной информации по первому пациенту можно сделать вывод, что в целом для тестов с пораженной левой рукой после лечения произошло уменьшение значения функции взаимной информации. А для тестов со здоровой правой рукой в целом увеличилась за исключением функции взаимной информации между

F4-C3, F4-P3. Таким образом, можно говорить о том, что после лечения изменилась архитектура связей между областями коры головного мозга.

Заключение. В ходе выполнения выпускной квалификационной работы был проведен обзор по заболеванию ДЦП, изучены возможности электроэнцефалографии для снятия сигналов потенциалов головного мозга. Рассмотрены различные искажения сигналов ЭЭГ. Освоен язык программирования Python, в частности применения таких библиотек, как matplotlib, numpy, scikit-learn.

На языке программирования Python был написан пакет программ, реализующих фильтрацию сигнала ЭЭГ, выделяющих выбранные временные интервалы для соответствующих отведений, вычисляющих функции взаимной информации.

Данные программы были применены к экспериментальным данным – временным рядам электроэнцефалограммы, снятой с детей страдающих детским церебральным параличом. В результате были получены для одного из пациентов значения функции взаимной информации, которые позволяют сделать вывод о том, что после лечения произошло изменения архитектуры связей между выбранными отведениями F3, F4, C3, C4, P3, P4.

Список использованной литературы.

1. Цукер М. Б., Детские церебральные параличи, в кн.: Многотомное руководство по педиатрии, т. 8, М., 1965, с. 233-49
2. Гуляев С.А., Архипенко И.В. и др. Электроэнцефалография в диагностике заболеваний нервной системы. – Владивосток: изд-во ДВГУ, 2012. 200 с.
3. Зенков Л.Р. Клиническая электроэнцефалография (с элементами эпилептологии). Таганрог: Издательство ТРТУ. — 1996. — 358 с.: 135 илл. — ISBN 5-230-24735-5. Издание 2-е, исправленное и дополненное. М.: МЕДпресс-информ, 2002. — 368 с.
4. Гнездицкий В.В. Вызванные потенциалы мозга в клинической практике. — Таганрог: Издательство ТРТУ. — 1997. — 252 с.: 124 иллюстраций. ISBN 5-230-24743-6.
5. Э.М. Рутман. Вызванные потенциалы в психологии и психофизиологии.
6. Афонский А. А., Дьяконов В. П. Цифровые анализаторы спектра, сигналов и логики / Под ред. проф. В. П. Дьяконова. — М.: СОЛОН-Пресс, 2009. — С. 248. — ISBN 978-5-913-59049-7.
7. Волькенштейн М. В. Энтропия и информация. — М.: Наука, 1986. — 192 с.
8. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике. — М.: Изд. иностр. лит., 2002.
9. Габидулин Э. М., Пилипчук Н. И. Лекции по теории информации — МФТИ, 2007. — 214 с. — ISBN 978-5-7417-0197-3
10. Бизли, Дэвид М. Язык программирования Python. Справочник. — К.: ДиаСофт, 2000. — 336 с. — ISBN 966-7393-54-2, ISBN 0-7357-0901-7
11. Маккинли У. Python и анализ данных. — Перевод с английского. — М.: ДМК Пресс, 2015. — 482 с. — ISBN 978-5-97060-315-4.

