

МАОУ «Школа №36 им. Гавриила Романовича Державина»

**Построение и применение классификатора когнитивных состояний, трансляция бинауральных биений под контролем нейронных сетей**

Автор: Маврин Тихон Владимирович

Руководитель: Петшак Станислав Николаевич

2019

## Содержание

Аннотация.....	3
Введение.....	5
Глава 1. Определение понятий, необходимых для работы.....	8
1.1 Электроэнцефалограмма.....	8
1.2 Биоакустическая коррекция.....	10
1.3 Нейронные сети.....	11
1.4 Преобразование Фурье.....	12
Глава 2. Сбор данных.....	14
Глава 3. Программная реализация.....	15
3.1 Считывание данных, преобразование Фурье.....	15
3.2 Нейронная сеть.....	15
3.3 Преобразование в звук.....	16
Заключение.....	17
Литература.....	18

## Аннотация

Проект нацелен на выявление с помощью нейронной сети когнитивных отклонений реципиента и построение стереозвука, способного задействовать бинауральные ритмы, на основе электроэнцефалограммы с последующей трансляцией его реципиенту.

Результатом данного проекта является программно-аппаратный комплекс на основе электроэнцефалографа собственного изготовления и программного обеспечения собственной разработки. АПК способен оказывать позитивное коррекционное воздействие на людей, страдающих психическими расстройствами и депрессивными состояниями.

Ход работы:

1. Создание электроэнцефалографа, оснащенного восьмьюдесятью шестью контактами;
2. Разработка тестирования для определения когнитивного состояния человека;
2. Сбор данных с помощью электроэнцефалографа с 12 совершеннолетних добровольцев в различных когнитивных состояниях. При этом у 6 человек имеются когнитивные отклонения;
3. Анализирование данных полученного массива и проведение частотного преобразования Фурье;
4. Создание архитектуры нейронной сети;
5. С помощью размеченных данных производим тренировку нейронной сети;
6. Определение точности нейронной сети;
7. Выделение преобладающих частоты работы головного мозга в записи электроэнцефалограммы здорового человека с помощью разработанного программного обеспечения, создание на их основе стереозвука, способного задействовать бинауральные ритмы;

8. Транслирование звуковых дорожек на реципиента. Анализ и сравнение электроэнцефалограммы после каждого сеанса;

9. Сбор электроэнцефалограммы реципиента, создание стереозвука, способного задействовать бинауральные ритмы, транслирование этих стереозвуков на реципиента в реальном времени. Анализирование и сравнение электроэнцефалограммы после каждого сеанса;

10. Сравнение результатов двух методов;

11. Сбор данных с помощью электроэнцефалографа с 16 совершеннолетних добровольцев, имеющих различные эмоции;

12. Создание архитектуры нейронной сети;

13. С помощью размеченных данных производим тренировку нейронной сети;

14. Определение точности нейронной сети;

15. Применение нейронной сети;

## Введение

На сегодняшний день актуальной задачей клинической психофизиологии является диагностирование у пациентов нарушений в области мозговой активности и связанных с этим расстройств. В ходе проведенной нами исследовательской работы по обработке статистических данных было выявлено, что в Великом Новгороде существует 4 школы и 14 дошкольных учебных заведений, в состав которых входят коррекционные классы и группы по обучению детей, страдающих ЗПР. Согласно расчету в дошкольных учреждениях и в общеобразовательных школах Великого Новгорода обучается свыше 1500 детей в возрасте от 7 до 11 лет. Причем, согласно проведенному анализу, количество таких детей неуклонно возрастает.

Научные исследования, отражающие динамику численности детей и подростков с ЗПР в России, а также анализ показателей системы специального образования и коррекционных действий в данном аспекте практически отсутствуют. Примером могут служить статистические данные, полученные по результатам исследований Института дефектологии АПН СССР с 70-х по 90-е годы XX века, приводимые В.И. Лубовским ([4, С. 83-84]). Так, ученый пишет, что в начале 70-х годов среди учащихся начальных классов дети с ЗПР составляли около 5 %, а к середине 90-х годов этот показатель возрос до 15-16 %.

Между тем, вопросы прогнозирования численности детей с ЗПР в настоящее время являются весьма актуальными. С одной стороны, данное нарушение развития может быть значительно компенсировано в адекватных психолого-педагогических условиях [1-3], с другой стороны, в условиях сокращения финансирования (перехода на «подушевое» финансирование) количество специализированных дошкольных учреждений и классов для детей с ЗПР при общеобразовательных школах неуклонно сокращается.

При переходе медицины на коммерческую основу, многим детям стали не доступны коррекционные мероприятия, по причине их высокой стоимости. В результате значительное количество дошкольников и школьников с ЗПР в полной мере не реализуют свое право на своевременное коррекционное сопровождение.

По показателям на 2017 год, на одну тысячу детей, обучающихся в общеобразовательных школах, приходится около 12 детей с умственной отсталостью и с задержкой психического развития, обучающихся либо в специальных (коррекционных) учебных заведениях, либо в классах для детей с ограниченными возможностями здоровья при общеобразовательных школах.

Еще одной не маловажной проблемой, которую призван решить наш проект являются нарушения психики разной степени тяжести среди взрослого населения, которые зачастую боятся обращаться за помощью к специалистам по причине постановки на учет в психоневрологический диспансер с последующими ограничениями в ряде социальных прав и свобод.

По статистике ВОЗ в Европейском регионе на сегодняшний день около 15% населения страдает психическими расстройствами разного характера. Исследования проводились во всех странах в разных возрастных категориях и социальных слоях. Эта цифра по данным аналитиков постоянно растет и к 2020 году может вырасти вдвое, если не предпринимать меры по профилактике и решению данной проблемы.

На ранних стадиях расстройств находится более трети населения. Это так называемая зона риска, которую нужно уже сегодня пытаться образумить и начать заниматься своим внутренним миром.

Далее вы можете увидеть данные ВОЗ о результатах исследований на начало 21 века:

- 450 миллионов человек во всем мире страдают разных степеней расстройствами психики;

- 10% из этих 450 млн. - особи преклонного возраста;
- психические или поведенческие расстройства есть хотя бы у одного человека из каждой 4-й семьи на планете;
- люди, которые болеют депрессией, заканчивают жизнь в 15-20% случаев суицидом;
- 1% всего населения Земли страдает шизофренией, в 33% случаев это заболевание начало развиваться в подростковом возрасте;
- умственная отсталость или психические нарушения встречаются у 5% детей в развивающихся странах и у 0,5% детей в развитых странах;
- сразу в нескольких странах европейского региона продолжительность жизни сократилась 10 лет, как результат в большей степени повышением стрессовых ситуаций и психических расстройств.

Задача проекта - создать аппаратно-программный комплекс, позволяющий воздействовать на когнитивное состояние человека. Терапевтическое действие АПК основано на восстановлении филогенетических связей в головном мозге, заложенных ещё в процессе его формирования. И сделать лечение более доступным, используя немедикаментозную, неинвазивную (безинъекционную) коррекцию, которая не вызывает привыкания и побочных эффектов и не требует адаптации, не имеет возрастных ограничений, обладает высокой эффективностью лечения.

## Глава 1. Обзор предметной области

### 1.1 Электроэнцефалограмма

Электроэнцефалография — раздел электрофизиологии, изучающий закономерности суммарной электрической активности головного мозга, отводимой с поверхности кожи головы, позволяющий судить о его физиологической зрелости, функциональном состоянии, наличии локальных и очаговых поражений, общемозговых расстройств и их характере. Также, электроэнцефалография — метод записи электрических потенциалов головного мозга (формирования электроэнцефалограмм).

Стоит отметить, что это чувствительный метод исследования, он отражает малейшие изменения функции коры головного мозга и глубинных мозговых структур, обеспечивая миллисекундное временное разрешение, не доступное другим методам исследования мозговой активности, в частности ПЭТ и фМРТ. Электроэнцефалография дает возможность качественного и количественного анализа функционального состояния головного мозга и его реакций при действии раздражителей.

Электроэнцефалограмма — графическое изображение сложного колебательного электрического процесса, результата электрической суммации и фильтрации элементарных процессов в нейронах. Регистрация данного процесса производится прибором электроэнцефалограф при расположении специальных электродов на мозге или поверхности скальпа. Запись потенциалов с каждого электрода осуществляется относительно нулевого потенциала референта, за который, как правило, принимается мочка уха или сосцевидный отросток височной кости (mastoid), расположенный позади уха и содержащий заполненные воздухом костные полости.

Одной из основных характеристик ЭЭГ является частота. Однако из-за ограниченных возможностей восприятия при визуальном анализе ЭЭГ, применяемом в электроэнцефалографии, целый ряд частот не может быть достаточно точно охарактеризован оператором, так как глаз человека



выделяет только некоторые основные частотные полосы, явно присутствующие в ЭЭГ.

В соответствии с возможностями ручного анализа была введена классификация частот ЭЭГ по некоторым основным диапазонам, которым присвоены названия букв греческого алфавита (альфа — 8—13 Гц, бета — 14—40 Гц, тэта — 4—8 Гц, дельта — 0,5—3 Гц, гамма — выше 40 Гц и др.).

В зависимости от частотного диапазона, амплитуды, формы волны, топографии и типа реакции различают ритмы ЭЭГ, которые также обозначают греческими буквами.

Например,  $\alpha$ -ритм,  $\beta$ -ритм,  $\gamma$ -ритм,  $\delta$ -ритм,  $\theta$ -ритм,  $\kappa$ -ритм,  $\lambda$ -ритм,  $\mu$ -ритм,  $\sigma$ -ритм,  $\tau$ - ритм и др. Считается, что каждый такой «ритм» соответствует некоторому определённом состоянию мозга и связан с определёнными церебральными механизмами.

Характеристика ритмов:

1) Дельта-ритм. Частота: от 1 до 4 Гц. Состояние сознания: глубокий естественный сон. Примечания: колебания этого диапазона могут регистрироваться в ЭЭГ покоя при некоторых формах стресса и длительной умственной работе.

2) Тета-ритм. Частота: от 4 до 8 Гц. Состояние сознания: доминирующий ритм электроэнцефалограммы у здоровых детей в возрасте 2-8 лет, состояние медитации, творческой деятельности.

3) Альфа-ритм. Частота: от 8 до 13 Гц. Состояние сознания: спокойное бодрствование, релаксация, улучшенная восприимчивость, ощущение безмятежности и возникновение особого т.н. «расширенного состояния сознания».

4) Бета-ритм. Частота: от 14 до 30 Гц. Состояние сознания: активное бодрствование, усиленное внимание, умственное напряжение, эмоциональное возбуждение.

5) Гамма-ритм. Частота: от 30 до 120-170 Гц. По другим источникам – до 500 Гц. Состояние сознания: данный ритм наблюдается при решении задач, требующих максимального сосредоточенного внимания.

Клиническая электроэнцефалография помогает врачам в следующих случаях:

- 1) оценка функционального состояния головного мозга с учётом
- 2) индивидуальных особенностей конкретного наблюдаемого, выявление наличия и характера нарушений в работе мозга;
- 3) определение локальных и очаговых повреждений;
- 4) определение характера и объёма лечебных процедур.
- 5) ЭЭГ-контроль при операциях на головном мозге позволяет дозировать глубину наркоза, контролировать безопасность и минимизировать объём вмешательства, точно определять границы повреждения участков мозга.

ЭЭГ широко применяется в исследовательской деятельности: в когнитивной психологии, неврологии, нейролингвистике, психофизиологии, психиатрии и др.

## **1.2 Биоакустическая коррекция**

Биоакустическая коррекция головного мозга – это немедикаментозный метод реабилитации функций высшей нервной деятельности, применяющийся людям с нервно-психическими расстройствами функциональной и органической природы. Используется для реабилитации взрослых и детей.

В период проведения БАК пациент прослушивает акустический образ своей электроэнцефалограммы. Нейроны характеризуются наличием электрического потенциала. Благодаря программе обеспечивается преобразование суммарной электрической активности мозга в звуки, которые предназначены для прослушивания.

Человек слушает музыку, которую создает головной мозг, в реальном времени. При БАК процедуре человеком дается оценка функционального состояния мозга. Нормализация работы органа обеспечивается обратным воздействием энергии звука на нейроны. Улучшение состояния ЦНС после манипуляции наблюдается на ЭЭГ. Действие биоакустической коррекции мозга осуществляется на глубинном уровне.

После применения методики наблюдается восстановление работоспособности органа. Это приводит к стабилизации естественных процессов саморегуляции организма, исправления разнообразных нарушений, улучшения психофизиологического состояния, стабилизации работы внутренних органов, устранения разнообразных видов боли, укрепления защитных и адаптивных ресурсов организма.

Биоакустика - область в биологии, раздел в зоологии, который занимается изучением звуковой сигнализации у животных и их звуковых взаимоотношений.

Область биоакустики — изучение роли звука как средства передачи информации в мире живых существ, изучение всевозможных существующих в природе способов звуковой связи между живыми существами, механизмы образования и восприятия у них звуков, а также принципы кодирования и декодирования передаваемой информации в живых биоакустических системах.

### **1.3 Нейронные сети**

Искусственная нейронная сеть - математическая модель, а также её программное или аппаратное воплощение, построенная по принципу организации и функционирования биологических нейронных сетей - сетей нервных клеток живого организма. Это понятие возникло при изучении процессов, протекающих в мозге,

После разработки алгоритмов обучения получаемые модели стали использовать в практических целях: в задачах прогнозирования, для распознавания образов, в задачах управления и др.

Нейрон - составная часть нейронной сети. Он состоит из элементов трех типов: умножителей (синапсов), сумматора и нелинейного преобразователя. Синапсы осуществляют связь между нейронами, умножают входной сигнал на число, характеризующее силу связи, (вес синапса). Сумматор выполняет сложение сигналов, поступающих по синаптическим связям от других нейронов, и внешних входных сигналов.

Нелинейный преобразователь реализует нелинейную функцию одного аргумента - выхода сумматора. Эта функция называется функцией активации или передаточной функцией нейрона.

#### 1.4 Преобразование Фурье

Преобразование Фурье – операция, сопоставляющая одной функции вещественной переменной другую функцию вещественной переменной. Эта новая функция описывает коэффициенты («амплитуды») при разложении исходной функции на элементарные составляющие – гармонические колебания с разными частотами.

Преобразование Фурье функции вещественной переменной является интегральным и задаётся следующей формулой:

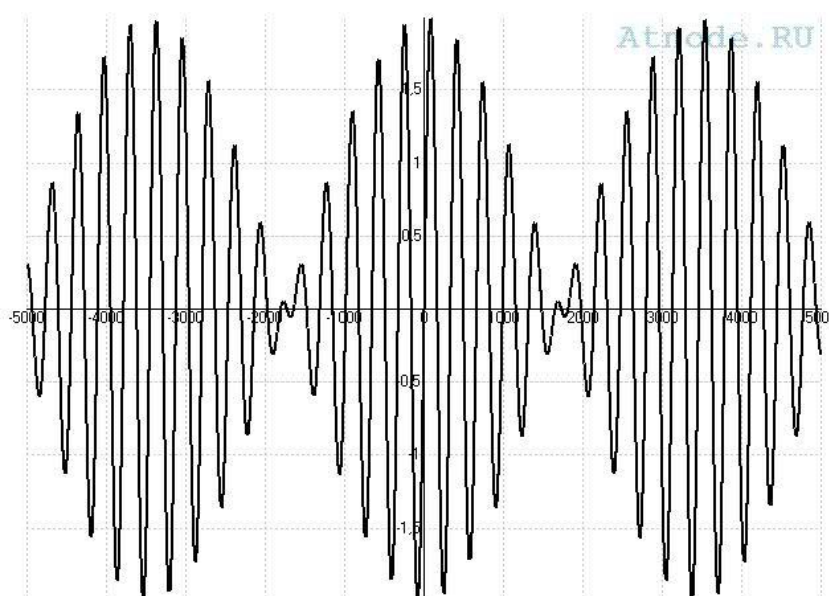
$$\hat{f}(\omega) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-i\omega t} dt$$

## 1.5. Бинауральные ритмы

Теория бинауральных ритмов основана на том, что, если каким-либо образом подействовать на мозг сигналом с определенной частотой, то этот сигнал вступит в резонанс с соответствующим ритмом мозга, что приведет к усилению соответствующего состояния сознания.

Если этим сигналом является обычный звук определенной частоты, то человек просто не сможет его услышать по физиологическим причинам. Поэтому используют два канала звука из диапазона слышимых частот. При этом разница частот на этих каналах должна равняться нужному нам ритму мозга. В итоге, когда человек прослушает такую запись, у него в мозгу произойдет суперпозиция этих частот, что будет субъективно ощущаться как пульсация звука (усиление и ослабление амплитуды). Частота этой пульсации и будет равна разности частот на левом и правом каналах.

Чтобы визуально продемонстрировать откуда берутся низкие частоты приведем график функции  $\sin(x/50)+\sin(x/55)$ . На нем мы видим частые колебания — это основной сигнал, колебания уровня — это и есть тот самый ритм, у которого сверхнизкая частота.



## Глава 2. Сбор данных

С помощью электроэнцефалографа собственного производства мы собрали электроэнцефалограммы людей разного возраста и пола.

На данном этапе проекта были собраны электроэнцефалограммы 12 человек, причем у 6 из них были когнитивные отклонения, для определения наличия отклонений и 16 человек для определения эмоций по электроэнцефалограмме. Для того, чтобы вызывать эмоции, были взяты разные отрезки видеозаписей длиной от 3 до 5 минут. При этом реципиентам показывались отрезки с промежутками между ними, чтобы человек мог прийти в нормальное состояние.

Для сбора данных требуется определенным образом закрепить инструмент на голове по системе «10-10%». Это стандартная система размещения электродов на поверхности головы, которая рекомендована Международной федерацией электроэнцефалографии и клинической нейрофизиологии.

Месторасположение электродов определяется следующим образом: линия, соединяющая переносицу (назион) и затылочный бугор (инион), делится на 10 равных отрезков. Электроды накладываются на расстоянии, соответствующем 10 % общей длины линии, от иниона или назиона.

Сначала в электроэнцефалограмме убираются артефакты с помощью метода, использующего разложение электроэнцефалограммы на эмпирические моды.

Затем сигнал фильтруется с помощью полосового фильтра. При этом остаются только частоты с 0.4 до 60 Гц.

## Глава 3. Программная реализация

### 3.1 Считывание данных, преобразование Фурье

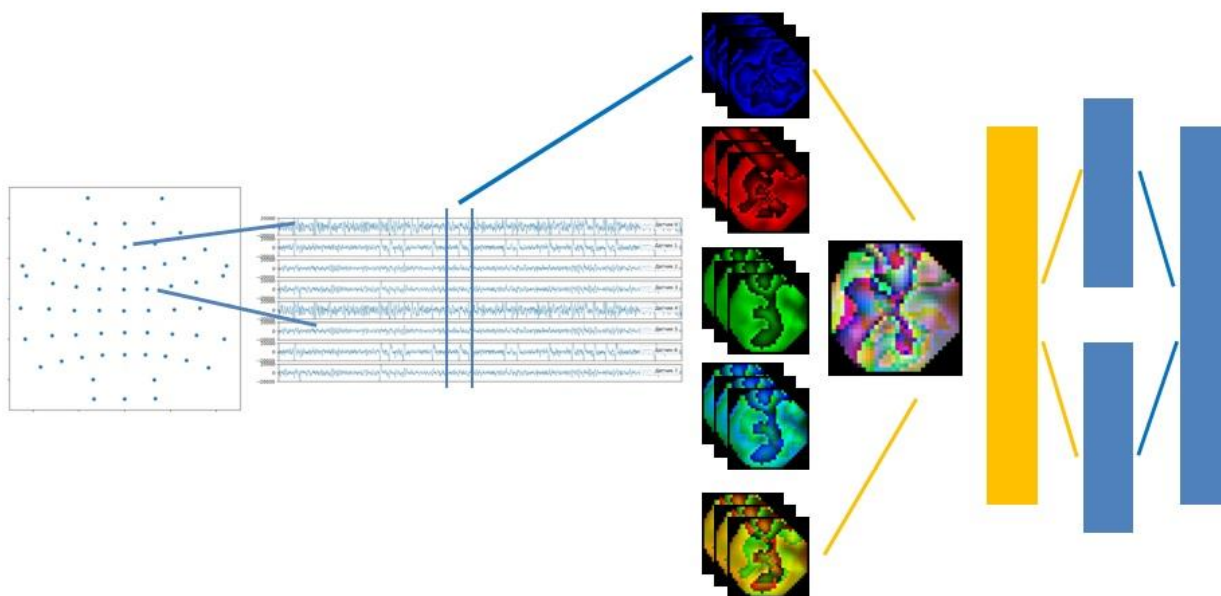
Результат ЭЭГ хранится в JSON файле, поэтому на первом этапе необходимо считать данные и привести в удобный для нас вид.

Посредством преобразования Фурье выделяем частоты, которые в последующем преобразуются в разницу между частотами стереофонической звуковой дорожки, формирующие бинауральные ритмы.

Для более глубокого анализа разделяем электроэнцефалограмму на ритмы.

### 3.2 Нейронная сеть

Для определения когнитивного состояния реципиента используется глубокая нейронная сеть. Предварительно данные электроэнцефалограммы разделяются на куски (фреймы) определенной длины, что позволяет обрабатывать электроэнцефалограммы разной длины.



Сначала из 3D модели, на которой расположены датчики, генерируется 2D изображение, на которой учтены все расстояния между датчиками. Затем

для каждого фрейма с помощью преобразования Фурье находятся частоты, для каждой частоты строится карта. Затем все карты складываются. В итоге для всей электроэнцефалограммы получается ряд изображений, следовательно, задача классификации электроэнцефалограммы сводится к задаче классификации видеозаписи, только в видеозаписи обычно используются 3 канала, слоя (RGB), а в нашем случае число каналов, слоев равно числу частот.

Полученный ряд изображений мы классифицируем с помощью объединения рекуррентной и сверточной нейронных сетей.

Наш метод позволяет учитывать не только значения датчиков, но и их расположение.

### **3.3 Преобразование в звук**

Так как мы не можем транслировать в ухо человека инфразвук (частота может войти в резонанс с частотой работы органов человека), было решено использовать артефакт работы головного мозга, называемого бинауральными ритмами.

Чтобы человек мог слышать звук, используются стереофоническая модуляция звука из диапазона слышимых частот. При этом разница частот на этих каналах должна равняться преобладающей частоте работы головного мозга человека.

В одно ухо реципиента транслируется частота 382 Гц (как наиболее благоприятная), в другое ухо подается частота суммы 382 Гц и преобладающей частоты работы головного мозга. Головной мозг человека достраивает эту разницу.



## Заключение

В результате проделанной работы был разработан АПК способный оказывать позитивное коррекционное воздействие на людей, страдающих психическими расстройствами и депрессивными состояниями.

В результате была создана технология корректировки когнитивных отклонений (депрессия, аутизм, синдром дефицита внимания и гиперактивности (СДВГ) и т.д.) с применением нейронных сетей, преобразования Фурье и цифрового анализа сигнала. Разработана принципиальная электрическая схема энцефалографа на 86 датчиков и программное обеспечение, позволяющее дистанционно и/или локально осуществлять корректирующее воздействие на когнитивное состояние реципиента.

Наша технология была апробирована на 26 реципиентах, у которых, согласно тестированию, улучшился когнитивный фон. После каждого курса терапии проводилось входное и выходное тестирования и снятие электроэнцефалограммы для определения изменений.

21 из 26 человек отметили улучшение когнитивного состояния, однако анализ показал, что когнитивное состояние улучшилось у всех, особенно у людей возрастом в диапазоне от 30 до 35 лет. В особенности стоит отметить изменение тета-ритма головного мозга человека, являющегося значимым маркером изменений когнитивного состояния, что наглядно демонстрирует работоспособность разработанной технологии.

Таким образом, было разработано решение, удовлетворяющее всем критерием поставленной задачи, а результаты уже используются в приложении, которое способно маркировать текст в зависимости от настроения читателя.

Цель проекта была успешно достигнута.

## Литература

1. <https://mozgius.ru/>
2. <http://fb.ru>
3. <https://habr.com/>
4. Лубовский В.И. — Специальная психология. Учебное пособие.
5. Лурия А.Р. – Романтическое эссе.
6. Лурия А.Р. Мозг человека и психические процессы.
7. Хрестоматия по нейропсихологии. Учеб. пособие / Отв. ред. Е.Д. Хомская.
8. Вероника Нуркова - Свершенное продолжается: Психология автобиографической памяти личности.
9. Доброхотова Т.А. Эмоциональная патология при локальных поражениях мозга.
10. Котик Б.С. Межполушарное взаимодействие у человека.
11. Микадзе Ю.В., Корсакова Н.К. Нейропсихологическая диагностика и коррекция младших школьников.
12. Брагина Н.Н., Доброхотова Т.А. Функциональные асимметрии человека.
13. Мария Ковязина, Елена Юрьевна Балашова Нейропсихологическая диагностика в вопросах и ответах.
14. *Oster G. Auditory beats in the brain (неопр.) // [Sci. Am.](#) — 1973. — Т. 229, № 4. — С. 94—102.*