**Обработка электроэнцефалограмм в частотной области**

**Введение**

Электроэнцефалография (ЭМГ) является единственным объективным и информативным методом исследования функционального состояния периферической нервной системы, патология которой в структуре неврологических заболеваний занимает ведущее место [1]. Электроэнцефалографические исследования позволяют не только установить характер заболевания, проводить его топическую диагностику, но и объективно контролировать эффективность лечения, прогнозировать время и этапы восстановления.

Автоматизированные системы измерения и обработки медико-биологической информации, использующие современные программные средства, существенно расширяют диагностические возможности современной медицины. Это касается и электроэнцефалографии - метода исследования нервно-мышечной системы посредством регистрации электрических потенциалов мышц.

Но, к сожалению, в данное время большинство отечественных медицинских учреждений не могут позволить себе приобретение современных миографов из-за их высокой стоимости. Одним из вариантов решения этой проблемы является модернизация имеющихся энцефалографов предыдущего поколения путем сопряжения их с персональными компьютерами, снабженными специализированным программным обеспечением.

Помимо относительно низких затрат, еще одним достоинством данного подхода является возможность расширять комплекс исследований путем создания дополнительного программного обеспечения без изменения аппаратной части системы. В этой связи потребности практического здравоохранения и научно-исследовательских учреждений в оборудовании для ЭЭГ-исследований весьма высоки [2, 3].

ЭЭГ - метод регистрации электрической активности (биопотенциалов) головного мозга через неповрежденные покровы головы, позволяющий судить о его физиологической зрелости, функциональном состоянии, наличии очаговых поражений, общемозговых расстройств и их характере.

Метод ЭЭГ перспективен и показателен, что позволяет рассматривать его в области диагностики психических расстройств. Применение математических методов анализа ЭЭГ и внедрение их в практику позволяет автоматизировать и упростить работу врачей. ЭЭГ является составной частью объективных критериев течения исследуемой болезни в общей системе оценок, разработанных для персонального компьютера.

Основная задача современной медицинской диагностики - выявление заболеваний на ранних стадиях их развития» В задачах совершенствования медицинского обслуживания населения, диагностика и лечение заболеваний, относящихся к центральной нервной системе (ЦНС), в настоящее время выходят на одно из ведущих мест. В связи с этим наметилась тенденция расширения исследований по разработке методов и средств, способствующих раннему выявлению патологических процессов различного рода локализаций, связанных с указанными заболеваниями. К числу таких методов относится метод исследования электрической активности головного мозга - электроэнцефалография.

ЭЭГ достаточно широко используют при диагностике состояния ЦНС, выявления локализации черепно-мозговых поражений (опухолей, нейроинфекционных заболеваний, травм, сосудистых нарушений); выявлении дефектов развития ЦНС; причин психических изменений и нарушений поведенческих функций, и наряду с этим - в диагностике и наблюдении за ходом лечения некоторых эндокринных расстройств и нарушений обмена веществ [4].

Кроме этого ЭЭГ используются в целях общего контроля за состоянием больных с поражениями различных органов и систем не затрагивающими ЦНС; для наблюдения за глубиной наркоза при хирургических операциях. Анализ эффективности лекарственных препаратов и медикаментозного лечения, прогнозирование действия лекарственных средств, также в ряде случаев осуществляется с помощью метода электроэнцефалографии.

Характерной чертой современного этапа развития электроэнцефалографии является разработка и внедрение новых методов обработки и интерпретации электроэнцефалографических данных с помощью электронных вычислительных машин (ЭВМ). Применение кибернетических методов и ЭВМ в задачах обработки ЭЭГ нацелено на освобождение врача от рутинных расчетов с одновременным улучшением качества обработки. Существующие компьютерные системы автоматизированной обработки ЭЭГ решают, как правило, частные задачи, на которые ориентированы данные системы.

Развитие современных методов обработки случайных процессов, а также элементной базы позволяет по новому подойти к разработке компьютерных систем обработки ЭЭГ, а именно сделать основной акцент на первичную обработку ЭЭГ. При таком подходе алгоритмы первичной обработки должны и могут быть выполнены в достаточно универсальном виде, что автоматически обеспечивает их многофункциональность и возможность применения в ряде систем. Этим объясняется то, что большинство современных работ по рассматриваемому вопросу направлены в первую очередь на решение задач первичной обработки.

Несмотря на большое число работ, выполненных с целью применения ЭВМ в задачах первичной обработки ЭЭГ, внедрение результатов соответствующих исследований в медицинскую практику еще далеко не удовлетворяют современным требованиям. Известно несколько серийных компьютерных систем данного профиля, производимых в США («Ledass»), Швеции «Lisa electronic», которые предназначены для массовых обследований населения с целью контроля неврологического статуса, расстройств сенсорных процессов восприятия и узнавания на основе исследования спонтанной и вызванной активности с помощью различных алгоритмических средств, имитирующих действия врача-исследователя. В Италии, фирмой «Оте вюмеш» серийно производится компьютерная система «Spectral Data Interactive Computer», определяющая спектральные характеристики ЭЭГ сигнала по алгоритмам преобразований Берг-Фурье [5] и по предназначению аналогичная описанным выше системам.

Однако данные системы не получали широкого применения в клинической практике, так как они являются узкоспециализированными, нацеленными на решение ограниченного круга медицинских задач и для обслуживания требуют инженерно-технический персонал, достаточно объемны, характеризуются высокой стоимостью и при этом не обеспечивают требуемые точности съема биомедицинской информации.

На основании вышеизложенного можно заключить, что задача разработки, исследования и внедрения в практику здравоохранения компьютерной системы обработки в реальном и квазиреальном масштабе времени, биомедицинской информации и в частности ЭЭГ информации, нацеленной на устранение вышеперечисленных недостатков, несомненно является весьма актуальной проблемой. Решение этой задачи позволит решить многие неотложные задачи практического здравоохранения и обеспечит достижение существенного экономического эффекта.

**1. Обзорная часть. Метод электроэнцефалографии**

электроэнцефалограмма частотный ритм компьютерный

Использование электроэнцефалограммы для изучения функций мозга и целей диагностики основано на знаниях, накопленных при наблюдениях за пациентами с различными поражениями мозга, а также на результатах экспериментальных исследованиях на животных. Весь опыт развития электроэнцефалографии, начиная с первых исследований Ханса Бергера в 1933 г. свидетельствует о том, что определенным электроэнцефалографическим феноменам или паттернам соответствуют определенные состояния мозга и его отдельных систем. Суммарная биоэлектрическая активность, регистрируемая с поверхности головы, характеризует состояние коры головного мозга как в целом, так и ее отдельных областей, а также функциональное состояние глубинных структур разного уровня.

В основе колебаний потенциалов, регистрируемых с поверхности головы в виде ЭЭГ, лежат изменения внутриклеточных мембранных потенциалов (МП) корковых пирамидных нейронов. При изменении внутриклеточного МП нейрона во внеклеточном пространстве, где расположены глиальные клетки, возникает разность потенциалов - фокальный потенциал. Потенциалы, возникающие во внеклеточном пространстве в популяции нейронов, представляют собой сумму таких отдельных фокальных потенциалов. Суммарные фокальные потенциалы могут быть зарегистрированы с помощью электропроводных датчиков от разных структур мозга, от поверхности коры или с поверхности черепа. Напряжение токов головного мозга составляет порядка 10-5 Вольта. ЭЭГ представляет собой запись суммарной электрической активности клеток полушарий мозга.

**1.1 Отведения и регистрация ЭЭГ**

Отведения биопотенциалов производятся двумя способами: монополярным и биполярным. Монополярный способ отведения производится измерением разности потенциалов, отводимых от одной активной точки - от электрода на поверхности скальпа в соответствующей зоне мозга и другой точки, условно принятой за «индифферентную» (референтный электрод). «Индифферентной» точке чаще принимают мочку уха на которую закрепляется электрод. Реже в качестве индифферентного электрода используют суммарный электрод - обобщенное отведение от всех электродов на скальпе. При биполярном способе оба электрода, разность потенциалов которых измеряется, локализованы на активной поверхности головы. При исследовании ЭЭГ у больных целесообразно использовать сочетания обоих методов отведения - монополярный и несколько биполярных: отведение от последовательной цепи электродов по парасагиттальной линии (О1-Р3; Р3-С3; С3-F3; F3-Fp1 и соответствующая цепочка электродов на правом полушарии) последовательной цепи электродов, расположенных по латеральной или нижней линии (O1 - Т5; T5 - T3; T3-F7; F7-Fp1 и соответствующей цепи справа) в поперечном направлении (O1-T5; P5-T5; C3-T3, F3-F7, Fp1-F7 и соответствующих электродов правого полушария), и отведения с саггитальным электродом (каждый из электродов отонсительно сагиттальных). Эту схему отведений можно упростить, избрав наиболее необходимые комбинации в каждом отдельном случае. Когда схема наложения электродов упрощена до 8 точек на скальпе, соответственно меньше отведений можно произвести, однако следует также производить комбинацию монополярных и биполярных отведений, что особенно важно для локализации очага поражения (очага контузии, гематомы) [6].

**1.2 Электроэнцефалограмма. Ритмы**

Характер ЭЭГ определяется функциональным состоянием нервной ткани, а также протекающими в ней обменными процессами. Нарушение кровоснабжения приводит к подавлению биоэлектрической активности коры больших полушарий. Важной особенностью ЭЭГ является ее спонтанный характер и автономность. Электрическая активность мозга может быть зафиксирована не только в период бодрствования, но и во время сна. Даже при глубокой коме и наркозе наблюдается особая характерная картина ритмических процессов (волн ЭЭГ). В электроэнцефалографии различают четыре основных диапазона: альфа-, бета-, гамма- и тета - волны (рис. 1.1).

дельта-волны 0.5-3 колебания в с

тета-волны 4-7 колебания в с

альфа-волны 8 - 13 колебаний в с

бета-волны 14-30 колебаний в с

- дельта-волны 0.5-3 колебания в с



- тета-волны 4-7 колебания в с



- альфа-волны 8 - 13 колебаний в с



- бета-волны 14-30 колебаний в с



Рис. 1.1. Волновые процессы ЭЭГ

Существование характерных ритмических процессов определяется спонтанной электрической активностью мозга, которая обусловлена суммарной активностью отдельных нейронов. Ритмы электроэнцефалограммы отличаются друг от друга по длительности, амплитуде и форме. Основные компоненты ЭЭГ здорового человека приведены в таблице 1.1. Разбиение на группы является более или менее произвольным, оно не соответствует каким-либо физиологическим категориям.

Таблица 1.1. Основные компоненты электроэнцефалограммы

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Выравнивание в ячейке | Частот, Гц | Состояние человека, соответствующее данному ритму |
| α | 8-13 | Покой (глаза закрыты) |
| β | 14-30 | Интенсивная умственная или физическая работа |
| δ | 1-4 | Глубокий сон |
| ϑ | 4-8 | Поверхностный сон |

Альфа-ритм электроэнцефалограммы представляет собой ритмические колебания электрического потенциала с частотой в пределах 8-13 Гц и средней амплитудой 30-70 мкВ. Для временной зависимости соответствующих колебаний характерна амплитудная модуляция. Альфа-ритм выражен, преимущественно, в задних отделах мозга, при закрытых глазах, в состоянии относительного покоя, при максимально возможном расслаблении мышц. Он блокируется при световом раздражении, усилении внимания и умственных нагрузках. При проведении детального анализа структуры ЭЭГ иногда различают быстрые и медленные варианты альфа - ритма. Четко выраженные колебания на соответствующей частоте проявляются в теменно-затылочной области в возрасте 4-5 лет. В 13-15 лет формируется устойчивый альфа-ритм, выраженный во всех областях.

Бета-ритм - ритм ЭЭГ в диапазоне от 14 до 30 Гц с амплитудой 5-30 мкВ, присущий состоянию активного бодрствования. Сильнее всего он выражен в лобных областях, но при различных видах интенсивной деятельности резко усиливается и распространяется на другие области мозга. Амплитуда бета-ритма возрастает в ситуации внимания, при умственном напряжении или эмоциональном возбуждении.

Дельта-активность - компонента ЭЭГ, представляющая собой колебания электрического потенциала с частотой от 1 до 4 Гц с различными периодами, распределенными в случайном порядке. Дельта-ритм у здоровых людей обычно регистрируется во время глубокого сна. Низкоамплитудные (20-30 мкВ) колебания в этом диапазоне могут быть идентифицированы в сигнале ЭЭГ в состоянии покоя при некоторых формах стресса и длительной умственной работе.

Тета-ритм - ритм ЭЭГ на частоте 4-8 Гц с амплитудой 10-100 мкВ. Он проявляется во время неглубокого сна. Наиболее ярко соответствующая динамика выражена у детей. Эмоциональное напряжение и интенсивная умственная работа приводят к увеличению спектральной плотности мощности тета-волн и увеличению пространственной синхронизации между ними.

Мю-pитм. Частота 8-13 Гц, амплитуда до 50 мкВ. как видно мю-ритм, называемый также wicket (англ.), - аркообразный ритм, имеет параметры, совпадающие с параметрами нормального а-ритма, и отличается от него некоторыми физиологическими свойствами и топографией. Визуально регистрируемый мю-ритм наблюдается у относительно небольшого числа индивидуумов (5-15%) и регистрируется в роландической области, т.е. соответственно распределению в-ритма. Aктивируется мю-ритм во время умственной нагрузки и психического напряжения. Аналогично в-ритму, мю-ритм снижается (или в небольшом числе случаев нарастает) по амплитуде при двигательной активации или соматосенсорной стимуляции, в связи с чем его ещё называют «сензоримоторным ритмом».

В программе исследуется альфа-ритм и как должна выглядеть нормальная периодограмма здорового человека



Рис. 1.2. Периодограмма альфа-ритма

**2. Основная часть. Обработка электроэнцефалограмм в частотной области**

**.1 Компьютерный анализ электроэнцефалограммы**

Исторически клиническая электроэнцефалография развивалась на основании визуального феноменологического анализа ЭЭГ. Однако уже в начале развития электроэнцефалографии у физиологов возникло стремление оценить ЭЭГ с помощью количественных объективных показателей, применить методы математического анализа.

Сначала обработка ЭЭГ и подсчет разных количественных параметров её производились вручную путём оцифровки кривой и вычисления частотных спектров, различие которых в разных областях объяснялось цитоархитектоникой корковых зон [7].

К количественным методам оценки ЭЭГ следует отнести также планиметрический и гистографический методы анализа ЭЭГ, выполнявшиеся также путём измерения амплитуды колебаний вручную. Исследование пространственных отношений электрической активности коры головного мозга человека проводилось с применением топоскопа, который давал возможность исследовать в динамике интенсивность сигнала, фазовые отношения активности и проводить выделение выбранного ритма. Применение корреляционного метода для анализа ЭЭГ было впервые предложено и разработано Н. Винером в 30-х годах, а наиболее подробное обоснование применения спектрально-корреляционного анализа к ЭЭГ приведено в работе Г. Уолтера.

С внедрением в медицинскую практику цифровых ЭВМ стало возможным производить анализ электрической активности на качественно новом уровне. В настоящее время наиболее перспективным при изучении электрофизиологических процессов является направление цифровой электроэнцефалографии. Современные методы компьютерной обработки электроэнцефалограммы позволяют проводить детальный анализ различных ЭЭГ-феноменов, просматривать любой участок кривой в увеличенном виде, производить его амплитудно-частотный анализ, представлять полученные данные в виде карт, цифр, графиков, диаграмм и получать вероятностные характеристики пространственного распределения факторов, обусловливающих возникновение на конвекситальной поверхности электрической активности.

Спектральный анализ, получивший наибольшее распространение при анализе электроэнцефалограмм был использован для оценки фоновых стандартных характеристик ЭЭГ в разных группах патологий, хронического влияния психотропных препаратов, прогноза при нарушениях мозгового кровообращения, при гепатогенной энцефалопатии. Особенностью спектрального анализа является то, что он представляет ЭЭГ не в виде временной последовательности событий, а в виде спектра частот за определенный промежуток времени.

Очевидно, что спектры будут в тем большей степени отражать фоновые стабильные характеристики ЭЭГ, чем за более длительную эпоху анализа они зарегистрированы в сходных экспериментальных ситуациях. Длительные эпохи анализа предпочтительны также в связи с тем, что в них менее выражены отклонения в спектре, вызванные кратковременными артефактами, если они не имеют значительной амплитуды.

При оценке обобщенных характеристик фоновой ЭЭГ большинство исследователей выбирают эпохи анализа 50 - 100 с, хотя достаточно хорошо воспроизводимые результаты дает и эпоха 20 с, если производится выбор ее по критерию минимальной активности в полосе 1,7 - 7,5 Гц в отведении ЭЭГ. Относительно надежности результатов спектрального анализа мнения учёных колеблются в зависимости от состава исследованных и конкретных задач, решаемых с помощью этого метода. Существует мнение, что абсолютные спектры ЭЭГ у детей ненадежны, и высоко воспроизводимыми являются только относительные спектры, зарегистрированные при закрытых глазах испытуемого. В то же время, при исследовании спектров на ЭЭГ нормальных и дизлексических детей, делается вывод об информативности и большей ценности абсолютных спектров, дающих не только распределение мощности по частотам, но и ее реальное значение [8].

Особый интерес представляет использование спектрального анализа в исследовании мю-ритма, который при визуальном анализе обнаруживается только у небольшого процента лиц. Спектральный анализ в сочетании с техникой усреднения полученных спектров за несколько эпох позволяет выявить его у всех исследуемых.

Поскольку распространение мю-ритма совпадает с зоной кровоснабжения средней мозговой артерии, его изменения могут служить индексом нарушений в соответствующей области. Диагностическими критериями являются различия пиковой частоты и мощности мю-ритма в двух полушариях.

Другая область применения математического анализа электроэнцефалограммы методом быстрого преобразования Фурье касается контроля кратковременных изменений ЭЭГ под влиянием некоторых внешних и внутренних факторов. Так, этот метод используется для контроля состояния церебрального кровотока при операциях эндатерэктомии или операциях на сердце, учитывая высокую чувствительность ЭЭГ к нарушениям мозговой циркуляции.

Метод спектральной мощности ЭЭГ представляет интерес при оценке влияния некоторых психотерапевтических воздействий, психических нагрузок и функциональных проб. Используется метод выделения определённой интересующей частоты на ЭЭГ.

При исследованиях динамических сдвигов на ЭЭГ используются обычно короткие эпохи анализа: от 1 до10 секунд. Преобразование Фурье обладает некоторыми особенностями, которые отчасти затрудняют согласование получаемых с его помощью данных с данными визуального анализа. Суть их заключается в том, что на ЭЭГ медленные феномены имеют большую амплитуду и длительность, чем высокочастотные. В связи с этим в спектре, построенном по классическому алгоритму Фурье, наблюдается некоторое преобладание медленных частот.

Оценка частотных составляющих ЭЭГ используется для локальной диагностики, так как именно эта характеристика ЭЭГ является одним из главных критериев при визуальном поиске локальных поражений мозга. При этом встаёт вопрос выбора значимых параметров оценки ЭЭГ.

В экспериментально-клиническом исследовании попытки применить спектральный анализ к нозологической классификации поражений мозга, как и следовало ожидать, оказались неуспешными, хотя подтвердилась полезность его как метода выявления патологии и локализации поражения. В настоящем режиме программы спектральный массив отображается с разной степенью перекрытия (50-67%) представлен диапазон изменения эквивалентных значений амплитуды (масштаб цветового кодирования) в мкВ. Возможности режима позволяют выводить сразу 2 спектральных массива, по 2-м каналам или полушариям для сравнения. Автоматически масштаб гистограмм рассчитывается так, что белый цвет соответствует максимальному эквивалентному значению амплитуды. Плавающие параметры масштаба цветового кодирования позволяют без зашкала представлять любые данные по любому диапазону, а также сравнивать фиксированный канал с остальными.

**2.2 Методы математического анализа ЭЭГ**

В основе математического анализа ЭЭГ положено преобразование исходных данных методом быстрого преобразования Фурье. Исходная электроэнцефалограмма после перевода ее в дискретную форму разбивается на последовательные сегменты, каждый из которых используется для построения соответствующего количества периодических сигналов, которые затем подвергают гармоническому анализу. Выходные формы представляются в виде числовых значений, графиков, графических карт, сжатых спектральных областей, ЭЭГ-томограмм и др.

Традиционно ЭЭГ наиболее широко используется при диагностике эпилепсии, что обусловлено нейрофизиологическими критериями, входящими в определение эпилептического припадка как патологического электрического разряда нейронов головного мозга. Объективно зафиксировать соответствующие изменения электрической активности во время припадка можно только электроэнцефалографическими методами. Однако, актуальной остается старая проблема диагностики эпилепсии в случаях, когда непосредственное наблюдение приступа невозможно, данные анамнеза неточны или ненадежны, а данные рутинной ЭЭГ не дают прямых указаний в виде специфических эпилептических разрядов или паттернов эпилептического припадка.

В этих случаях использование методов мультипараметрической статистической диагностики позволяет не только получать надежную диагностику эпилепсии из ненадежных клинико - электроэнцефалографических данных, но и решать вопросы необходимости лечения противосудорожными препаратами при черепно-мозговой травме, изолированном эпилептическом припадке, фебрильных судорогах и др.

Таким образом, применение автоматических методов обработки ЭЭГ в эпилептологии является в настоящее время наиболее интересным и перспективным направлением. Объективизация оценки функционального состояния головного мозга при наличии у больного пароксизмальных приступов неэпилептического генеза, сосудистой патологии, воспалительных заболеваний головного мозга и др. с возможностью проведения лонгитудинальных исследований позволяет наблюдать динамику развития заболевания и эффективность терапии [9].

Основные направления математического анализа ЭЭГ могут быть сведены к нескольким главным аспектам:

преобразование первичных электроэнцефалографических данных в более рациональную и приспособленную к конкретным лабораторным задачам форму;

автоматический анализ частотных и амплитудных характеристик ЭЭГ и элементы анализа ЭЭГ методами распознавания образов, частично воспроизводящими операции, осуществляемые человеком;

преобразование данных анализов в форму графиков или топографических карт;

метод вероятностной ЭЭГ-томографии, позволяющий исследовать с определенной долей вероятности местонахождение фактора, обусловившего электрическую активность на скальповой ЭЭГ.

При рассмотрении различных методов математического анализа электроэнцефалограммы можно показать, какую информацию даёт тот или иной метод нейрофизиологу. Однако, ни один из имеющихся в арсенале методов не может в полной мере осветить всех сторон такого сложного процесса, как электрическая активность головного мозга человека. Только комплекс разных методов позволяет проанализировать закономерности ЭЭГ, описать и количественно оценить совокупность разных её сторон.

Широкое применение получили такие методы как частотный, спектральный и корреляционный анализ, позволяющие оценить пространственно-временные параметры электрической активности. В числе последних программных разработок фирмы «DX-системы» - автоматический анализатор ЭЭГ, определяющий локальные изменения ритмики, отличающиеся от типичной картины для каждого пациента, синхронные вспышки, обусловленные влиянием со стороны срединных структур, пароксизмальную активность с отображением ее очага и путей распространения.

Хорошо зарекомендовал себя метод вероятностной ЭЭГ-томографии, позволяющий с определённой степенью достоверности отобразить на функциональном срезе местонахождение фактора, обусловившего электрическую активность на скальповой ЭЭГ. В настоящее время идёт апробирование 3-х мерной модели функционального очага электрической активности с пространственным и послойным отображениях его в плоскостях и совмещением со срезами, принятыми при исследовании анатомических структур головного мозга методами ЯМРТ. Этот метод используется в программной версии «DX 4000 Research».

Всё большее применение в клинической практике при оценке функционального состояния головного мозга находит метод математического анализа вызванных потенциалов в виде картирования, спектрального и корреляционного методов анализа.

Таким образом, развитие цифровой ЭЭГ является наиболее перспективным методом исследования нейрофизиологических процессов головного мозга.

Применение корреляционно-спектрального анализа позволяет исследовать пространственно-временные взаимоотношения ЭЭГ - потенциалов.

Морфологический анализ различных ЭЭГ-паттернов оценивается пользователем визуально, однако возможность его просмотра при различной скорости и масштабе может быть осуществлена программно. Более того, последние разработки позволяют подвергать записи электроэнцефалограмм режиму автоматического анализатора, который оценивает фоновую ритмическую активность, характерную для каждого пациента, отслеживает периоды гиперсинхронизации ЭЭГ, локализацию некоторых патологических паттернов, пароксизмальную активность, источник её возникновения и пути распространения. Регистрация ЭЭГ даёт объективную информацию о состоянии головного мозга при различных функциональных состояниях.

Основными методами компьютерного анализа электроэнцефалограммы, представленными в программе «DX 4000 PRACTIC» являются ЭЭГ-томография, ЭЭГ-картирование и представление характеристик электрической активности головного мозга в виде сжатых спектральных областей, цифровых данных, гистограмм, корреляционных и спектральных таблиц и карт.

Диагностическую ценность при исследовании ЭЭГ имеют короткоживущие (от 10 мс) и относительно постоянные электроэнценцефалографические паттерны («электроэнцефалографические синдромы»), а также характерная для каждого человека электроэнцефалографическая картина и ее изменения, связанные с возрастом и (в норме) и при патологии по степени вовлечения в патологический процесс разных отделов мозговых структур.

Таким образом, нейрофизиолог должен подвергнуть анализу разные по длительности, но не по значимости ЭЭГ-паттерны, и получить наиболее полную информацию о каждом из них, и об электроэнцефалографической картине в целом. Следовательно, при анализе ЭЭГ-паттерна необходимо учитывать время его существования, так как временной отрезок, подвергаемый анализу должен быть соизмерим с исследуемым ЭЭГ-феноменом.

Виды представления данных быстрого преобразования Фурье зависят от области применения этого метода, также как и интерпретация данных.

**3. Программная часть. Обработка электроэнцефалограмм в частотной области с использованием среды Matlab**

**.1 Краткий обзор пакета Matlab**

Появившаяся в начале 60-х годов и быстро увеличивающая свою мощность компьютерная техника позволила решать многие научные и инженерные задачи, которые не поддавались ранее решению аналитическими методами. К середине 70-х годов было накоплено большое количество алгоритмов численного решения таких задач. Образовались целые библиотеки алгоритмов. К числу лучших из таких библиотек следует отнести библиотеки матричных алгоритмов LINPACK и EISPACK департамента энергетики США. Эти библиотеки - собрание тщательно проверенных и оптимизированных алгоритмов, разработанных в течение многих лет ведущими мировыми специалистами. Они фактически представляют собой современное состояние численных методов для научных и инженерных целей. С появлением этих библиотек появилась также необходимость обеспечить кратчайший доступ широкой аудитории инженерных и научных работников к этому изобилию алгоритмов. Собственно говоря, создание языка MATLAB (сокращенно от MATrix LABoratory - матричная лаборатория) и было обусловлено этой необходимостью [].

Когда в 1978 г. Cleve Moler, разработчик системы MATLAB, предложил в качестве основного объекта языка MATLAB использовать двумерный массив (матрицу), не требующий задания размерности, возможно, он не предполагал насколько эффективным окажется новый язык для написания матричных алгоритмов [10].за прошедшие годы приобрел большую популярность, постепенно переместившись с больших вычислительных систем на персональные компьютеры, а сама программа вместе со всеми профессиональными приложениями, превратилась в мощную систему, охватывающую широкий спектр научных, инженерных и экономических применений [11].содержит инструменты для:

Сбора данных

Анализа и обработки данных

Визуализации и цифровой обработки сигналов и изображений

Создания алгоритмов и проектирования

Моделирования и имитации

Программирования и разработки приложенийвыполняет множество компьютерных задач для поддержки научных и инженерных работ, начиная от сбора и анализа данных до разработки приложений. Среда MATLAB объединяет математические вычисления, визуализацию и мощный технический язык. Встроенные интерфейсы позволяют получить быстрый доступ и извлекать данные из внешних устройств, файлов, внешних баз данных и программ. Кроме того, MATLAB позволяет интегрировать внешние процедуры, написанные на языках Си, Си++, Фортран, и Java с MATLAB - приложениями.

Используемый более чем полумиллионом пользователей: в промышленности, государственных, академических и учебных организациях, MATLAB фактически стал принятым во всем мире стандартом для технических вычислений. MATLAB имеет широкий спектр применений, включая цифровую обработку сигналов и изображений, проектирование систем управления, естественные науки, финансы и экономику, а также приборостроение. Открытая архитектура позволяет легко использовать MATLAB и сопутствующие продукты для исследования данных и быстрого создания конкурентоспособных пользовательских инструментов/

Основные функции.

Быстрые и точные численные алгоритмы

Графика для анализа и отображения данных

Интерактивный язык и среда программирования

Инструменты для настройки пользовательских интерфейсов

Интерфейсы с внешними языками, такими как Си, Си++, Фортран, и Java

Поддержка импорта данных из файлов и внешних устройств плюс доступ к базам данных и вспомогательному оборудованию при помощи приложений

Преобразование MATLAB приложений в Си и Си++ при помощи набора Compiler Suite. Этот широкий набор возможностей делает MATLAB идеальной базой для решения технических проблем.

**3.2 Работа в среде Matlab**

Среда MATLAB спроектирована для интерактивных или автоматических вычислений. Используя встроенные математические и графические функции и простые в использовании инструменты позволяют легко анализировать и отображать данные. Структурированный язык и программные инструменты позволяют сохранить результат интерактивных исследований, разрабатывать собственные алгоритмы и приложения.

Надежные математические функции и численные расчеты. С более чем шестью сотнями математических, статистических и инженерных функций MATLAB предоставляет немедленный доступ к высокопроизводительным численным расчетам. Численные алгоритмы быстрые, точные и надежные. Эти алгоритмы, разработанные экспертами в математике, являются фундаментом языка MATLAB. Ядро математического процессора включает библиотеки алгоритмов линейной алгебры LAPACK и BLAS, а также библиотеку цифровой обработки сигналов FFTW, внедряющую последние достижения в математических расчетах непосредственно в MATLAB.

Математика оптимизирована для матричных и векторных операций, что позволяет использовать ее вместо языков более низкого уровня, подобных Си и Си++, получая ту же скорость вычислений при значительной экономии времени на программирование. Благодаря обширному набору оптимизированных математических алгоритмов, встроенных в MATLAB разработчики могут сконцентрироваться на принципиальных аспектах проекта, не теряя времени на поиск, разработку и отладку известных алгоритмов.



Рис. 3.1. MATLAB - интерфейс: прямой и быстрый доступ к функциям MATLAB и сопутствующим продуктам.

содержит много функций для осуществления математических вычислений и анализа данных включая:

Линейную алгебру и арифметику матриц, линейные уравнения, собственные значения, сингулярные значения и матричные разложения;

Полиномы и интерполяцию - стандартные полиномиальные операции, такие как вычисление корней полиномов, дифференцирование, аппроксимация кривыми и разложение функций;

Обработку сигналов - цифровые фильтры, быстрое Фурье преобразование (FFTs), и свертка;

Анализ данных и статистика - описательная статистика, предварительная обработка данных, регрессия, аппроксимация кривыми, фильтрация данных;функции, работающие не с массивами данных, а с математическими функциями, включая функции построения графиков, оптимизации, нахождения нулей и численного интегрирования

Дифференциальные уравнения - решение дифференциальных уравнений, включая задачи с начальными значениями для обыкновенных дифференциальных уравнений и дифференциально-алгебраические уравнения, а также задачи с граничными условиями и смешанного типа для систем эллиптических и параболических уравнений с частными производными.

Разреженные матрицы - включая как специальные так и общие математические операции, в том числе итеративные методы для разреженных систем линейных уравнений.

Дополнительные пакеты-расширения (тулбоксы - toolboxes) значительно увеличивают мощность MATLAB

Тулбоксы - наборы MATLAB функций и интерфейсов - позволяют использовать значительно больше математики и вычислительной мощности при решении различных задач. Распространяемые тулбоксы включают приложения для цифровой обработки сигналов, оптимизации, статистики, символьной математики, решения уравнений в частных производных, аппроксимации данных и многие другие.

При написании данного пакета программ был использован пакет расширения для обработки сигналов (Signal processing toolbox).

Качественная графика помогает проиллюстрировать и лучше понять результаты численных расчетов.обеспечивает немедленный доступ к специализированным графическим функциям, включая:

Двух- и трехмерные графики, такие как линейные, логарифмические, гистограммы, графики поверхностей различного типа (проволочный каркас, гладкие, кусочно-гладкие и др.)

Поддержка триангулированных и решетчатых данных

Объемная визуализация для наблюдения скалярных и векторных данных

Вывод изображений на экран и в файл

Интерактивное редактирование и аннотирование графиков

Аппаратная и программная поддержка OpenGL

Различного вида диаграммы: рассеяния, столбчатые, секторные и др.

Анимация (мультипликация) и звук

Различные источники освещения для цветных поверхностей

Наблюдение при помощи камер и управление перспективой

Интерактивное и программируемое управление индивидуальными атрибутами графиков, такими как линии, оси, легенды и параметры страницы

Инструменты построения при помощи мыши графического пользовательского интерфейса и поддержка API

Импортирование графических файлов известных форматов, таких как EPS, TIFF, JPEG, PNG, BMP, HDF, AVI, и PCX

Печать и экспорт графики в другие приложения, такие как Word и PowerPoint, в различных популярных форматах.

Расширенная поддержка цифровой обработки изображений и приложения географического картографирования при помощи тулбоксов.

Обширный набор инструментов визуализациисодержит полный набор инструментов для визуализации трехмерных скалярных и векторных данных, включая функции создания изоповерхностей и линий тока. Эти функции предназначены, чтобы помочь ученым и инженерам наблюдать и понимать большие, часто сложные многомерные данные.

Дополнительные приложения, такие как Image Processing Toolbox и Mapping Toolbox, расширяют возможности MATLAB для применений, включающих цифровую обработку данных и географическую картографию [].

Унифицированный интерактивный язык и среда программирования. Язык MATLAB разработан для интерактивных и автоматических вычислений. С оптимизированными матричными функциями разработчик может осуществить интерактивный анализ, в то же время языковые возможности структурирования программ позволят ему эффективно разрабатывать собственные алгоритмы и приложения. Универсальный язык позволяет справиться с множеством задач, включая сбор данных, анализ, разработку алгоритмов, имитацию систем и разработку приложений. Возможности языка включают структуры данных, объектно-ориентированное программирование, инструменты разработки графического пользовательского интерфейса, функции отладки и возможность подключать ваши C, C++, Fortran, и Java процедуры.

Упрощение кода за счет векторизации. Многие математические функции MATLAB оперируют непосредственно с векторами и матрицами. В результате задачи, которые могли бы включать десятки строк и требовали интенсивных вычислений с циклами на языке Си, требуют вызова только одной функции в MATLAB. Более короткие программы требуют меньше времени на их выполнение и легче настраиваются.

Удобный язык программирования. Используетcz тот же самый язык в MATLAB при интерактивных вычислениях и при разработке программ в редакторе-отладчике. Эта совместимость позволяет изучать только один язык и синтаксис, ваша интерактивная работа может быть сохранена и использована для будущих проектов без повторного программирования.

Инструменты, подобные редактору-отладчику M-файлов (слева), а также проектирования графического пользовательского интерфейса (в центре) позволят вам разрабатывать приложения и настраивать графику. Разработчики MathWorks используя инструменты разработки графического пользовательского интерфейса MATLAB создали SPTool (справа), визуальный интерфейс, который поставляется вместе с Signal Processing Toolbox.

Инструменты проектирования. MATLAB включает множество инструментов для поддержки разработки аналитических процедур, алгоритмов и законченных приложений. Эти инструменты включают:

Командное окно для интерактивных вычислений и проектирования. Окно Command History для записи всех команд в течение интерактивной MATLAB сессии;

Инструмент Current Directory для нахождения и навигации по файлам и директориям; Редактор - отладчик M-файлов позволяет

разрабатывать и отлаживать M-файлы (функций и сценариев);

выделять различными цветами резервные слова и комментарии, проверяет скобки и позволяет пошаговое выполнение кода;

нумерацию строк;



Рис. 3.2. Инструменты для создания приложений в MATLAB

Установку контрольных точек, остановку на ошибке или на предупреждении;

Вычисление переменных по месту нахождения;

Контекстно-чувствительная справка по функциям;

Программа протоколирования производительности M-файлов;

Вычисляет время, затрачиваемое в каждой строке функции;

Выводит отчет (или график) распределения времени;

Инструменты для интерактивного создания и редактирования пользовательского интерфейса, включая окна списков, ниспадающие меню, кнопки и переключатели, полосы прокрутки и другие стандартные элементы интерфейса. Имеются следующие инструменты:Editor - добавление и настройка объектов в окнеTool - выравнивание объектов по отношению к друг другуInspector - проверка и установка значений для свойств объектовBrowser - наблюдение иерархического списка объектов Handle Graphics в текущей MATLAB сессии

Редактор меню - создание окна и содержания меню

Для повышения производительности Вы можете использовать языковые конструкции, проверенные интерактивно либо из сохраненных M-файлов [52].

Особенности языка

Типы данных

Векторы и двухмерные матрицы

Многомерные массивы

Структуры

Определенные пользователем объекты

Многотипные данные

Текстовые и скалярные данные

, 16, и 32-bit целые числа

Программные конструкции

while, for, break, return, else, elseif

switch, case

глобальные и локальные переменные

списки длин переменных аргументов

Языковая и объектная поддержкафайлы - список вызовов функций и команд, вызываемых из MATLAB и других M-файлов, необязательные аргументыфайлы - выполняемые Си и Фортран функции, вызываемые непосредственно из командной строки MATLAB и из программкод - вызываемый непосредственно из командной строки MATLAB и из программ

Встроенные объекты - ActiveX, Java классы

Форматы файлов и поддержка ввода / вывода

Много популярных графических форматов файлов, такие как JPEG, TIFF

Чтение данных из стандартных приложений, таких как Excelфайл (MATLAB файл данных) формат поддержки переменных MATLAB, находящихся в памяти и связанной информации

Встроенные низкоуровневые функции ввода / вывода для чтения и записи защищенной авторскими правами и пользовательской информации в двоичном формате

Дополнительные инструменты обеспечивают поддержку

Преобразования ваших MATLAB приложений в Си или Си++ коды

Доступ к данным, расположенным в базах данных, других приложениях и из аппаратуры, подключенной через интерфейсные платы

Дополнительные приложения расширяют возможности MATLABразрабатывает и поставляет множество специализированных приложений - тулбоксов и других продуктов, расширяющих возможности MATLAB для применения в:

Тестировании и измерениях

Математическом моделировании и анализе

Обработке сигналов

Обработке изображений и картографии

Распространении MATLAB приложений в кодах Си, Си++ и другие.

**3.3 Структура автономного MATLAB-приложения**

Схема получения автономного MATLAB-приложения показана на рис. 3.4.

Само же автономное приложение состоит из исполняемого (exe) файла, двух файлов поддержки графического интерфейса и пакета файлов динамически-связываемых библиотек DLL (Dynamic Linked Library), поставляемых фирмой-разработчиком MATLAB - The MathWorks Inc.

**.4 Метод анализа ЭЭГ в частотной области**

Согласно теории обработки сигналов к спектрально-корреляционным методам относятся разложение сигнала в ряд Фурье, построение спектра мощности, спектральной плотности мощности, автокорреляционной и кросскорреляционной (взаимно корреляционной) функции и т.д. Электроэнцефалография - метод исследования головного мозга, основанный на регистрации его электрических потенциалов.

ЭЭГ - сигнал, получаемый при регистрации электрической активности головного мозга.

Перед тем, как приступить к описанию методов, с помощью которых автоматизируется анализ ЭЭГ, необходимо сделать одно допущение. Все нижеперечисленные методы, согласно теории обработки сигналов, могут быть применимы для стационарных случайных процессов. Очевидно, что ЭЭГ таковым процессом не является. Обычно в таких случаях при анализе выбирают участки, которые условно можно считать стационарными или, иначе, квазистационарными, и длина которых достаточно велика для получения статистически разумных результатов.

Другой особенностью, выявленной при проведении экспериментов с некоторым достаточно большим количеством ЭЭГ, является то, что в данном случае оценка процесса является скорее качественной, чем количественной. По крайней мере, для электроэнцефалографии нет каких-либо нормативных таблиц основных параметров сигнала, как это имеет место в электромиографии или кардиографии, и каждая ЭЭГ может характеризоваться своей определенной совокупностью параметров. Эти параметры варьируются для разных ЭЭГ, которые при этом могут относиться к одному из классов патологии или быть в норме. Применение алгоритмов обработки стационарных сигналов для анализа ЭЭГ в данном случае можно считать переходом от одной формы отображения информации к другой, более удобной, компактной и информативной. Также стоит отметить, что широко используемые методы обработки ЭЭГ, в общем-то, не учитывают ее биологический генез, а рассматривают ее как некий колебательный процесс и, как следствие, получаемые таким образом результаты не всегда удовлетворяют пользователя. И тот факт, что ЭЭГ представляет собой интегральную оценку электрофизиологической деятельности миллиардов элементарных источников, к тому же отфильтрованной естественными костно-тканевыми распределенными фильтрами, позволяет сказать, что использование рядов Фурье, корреляционного анализа для обработки ЭЭГ можно рассматривать только как более удобное в некоторых случаях изображение той же ЭЭГ и не более.

Некоторые специалисты считают, что достаточно визуального просмотра ЭЭГ, тем не менее, большую популярность начинают завоевывать методы математической обработки и представления сигналов. Так как в электроэнцефалографии основными параметрами являются частота и амплитуда, то необходимо иметь методы оценки сигнала с помощью амплитудно-частотных характеристик. Наибольшее распространение получили методы вычисления спектра мощности сигнала и построение топокартограмм головного мозга с помощью цветового представления амплитуды. Для этого обычно используют преобразования Фурье или, адаптированное для спектрального анализа ЭЭГ, преобразование Berg. Рассмотрим основные алгоритмы определения спектра сигнала.

Первый и наиболее часто используемый способ - использование алгоритма быстрого преобразования Фурье (БПФ). В настоящее время существует множество программных пакетов, созданных специально для реализации алгоритмов БПФ. Но, как показывает практика, использование классического БПФ не всегда удовлетворяет пользователя. Во-первых, несмотря на разнообразие способов ускорения этого алгоритма (оптимизация по периоду анализа, перевод некоторых функций на язык ассемблера), работает он достаточно медленно. Во-вторых, преобразование Фурье обладает некоторыми особенностями, которые отчасти затрудняют согласование получаемых с его помощью данных с данными визуального анализа.

Суть их заключается в том, что на ЭЭГ медленные колебания имеют большую амплитуду и длительность, чем высокочастотные. В связи с этим в спектре, построенном по классическому алгоритму Фурье, наблюдается диспропорциональное преобладание низких частот. Для обхождения этого разработано преобразование BERG, специально адаптированное к детектированию быстрых изменений в спектре ЭЭГ и выравнивающее его в зависимости от частоты.

Процедура вычисления преобразования BERG основывается на тех же принципах, что и преобразование Фурье, однако с тем отличием, что для каждой полосы спектра в исследуемой ЭЭГ эпоха анализа выбирается обратно пропорционально частоте и составляет T=16/f (c). Так, соответственно частота 2 Гц вычисляется за 8 с, 4 Гц - за 4 с, 6 Гц - за 2,6 с и т.д. Это преобразование дает результаты более соответствующие субъективным оценкам визуального анализа ЭЭГ при большей точности и надежности информации, и особенно пригодно для детектирования быстро меняющихся колебаний на ЭЭГ, что обеспечивается подчеркиванием более быстрых частот в спектре.

Оба эти алгоритма хороши в том случае, если нет необходимости в высокой скорости обработки процесса. В электроэнцефалографии, когда анализу подвергаются участки записи в несколько десятков секунд, а иногда и минут, они не всегда могут удовлетворять потребностям пользователя или будут требовать мощных и, естественно, дорогих вычислительных ресурсов. Поэтому возникает необходимость разработки более скоростного метода разложения и представления сигнала. Причем следует учитывать, что в данном случае не нужна сверхвысокая точность расчетов, поскольку все же математические методы оценки ЭЭГ дают скорее качественную, чем количественную оценку протекающим процессам. Учитывая эти особенности, здесь для анализа электроэнцефалографического сигнала представлен алгоритм, который можно назвать дискретным преобразованием Фурье с прореживанием по времени.

Справедливость использования данного алгоритма объясняется следующим. Так как частоту дискретизации для ЭЭГ не рекомендуется выбирать меньше, чем 200 Гц, а диапазон значимых частот располагается в пределах от 1 до 25 Гц (верхняя частота низкочастотного бета-диапазона), то можно выполнить прореживание дискретного ЭЭГ-сигнала по времени и использовать для анализа каждую четвертую точку. Это равносильно тому, что частота дискретизации уменьшится до 50 Гц. Согласно теореме Котельникова-Шеннона при такой частоте дискретизации без искажения будет передана верхняя полоса в 25 Гц. Для некоторых алгоритмов представления ЭЭГ такое значение будет удовлетворять (в частности, для реализации картирования).

Известно, что любой гармонический сигнал, при разложении его на комплексной плоскости, имеет две составляющие - синусную и косинусную. Поэтому для применения алгоритма дискретного преобразования Фурье необходимо задать массивы значений синусов и косинусов каждой представленной частоты. Точность разложения равна необходимой точности представления частот. Причем длительности этих массивов должны быть равными длине окна анализа алгоритма преобразования Фурье.

С помощью спектра мощности можно легко получить картину распределения ЭЭГ по ритмам, определить доминирующий ритм и доминирующую частоту как всей ЭЭГ, так и каждого отдельного ритма. Построив спектры мощности симметричных отведений левого и правого полушарий, можно оценить степень асимметрии между этими участками по каждому ритму и по каждой конкретной частоте.

**3.5 Алгоритм анализа электроэнцефалограмм в частотной области**

Алгоритм анализа электроэнцефалограмм в частотной области представлен на рис. 3.4.



Рис. 3.4. Алгоритм программы

В начале построения программы вводятся данные сигнала «eeg\_Fp1.txt» (1), которые представлены в виде файла с оцифрованной электроэнцефалограммой.

Далее переходим к вводу периода дискретизации и рассчитываем частоту дискретизации (2).

=1/Td;

Рассчитываем частоту Найквиста (2).

=fd/2;

После, рассчитываем параметры АЧХ (3), АКФ (4), периодограммы (5), спектрограммы (6).

Устанавливаем параметры фильтра для выделения альфа-ритма (7,8) и фильтруем сигнал (9). Рассчитываем параметры АЧХ (11), АКФ (10), периодограммы (12) и спектрограммы (13) для альфа-ритма сигнала.

Результаты выводятся на экран в двух окнах программной среды MatLab. Затем с помощью программы анализируются сигналы eeg\_Fp2.txt, eeg\_T4.txt, eeg\_C3.txt, eeg\_P4.txt.

**3.6 Программа анализа ЭЭГ**

Для реализации алгоритма анализа ЭЭГ используется программный пакет MATLAB.

Для чтения и обработки данных из файлов «eeg\_Fp1.txt», «eeg\_Fp2.txt», «eeg\_T4.txt», «eeg\_C3.txt», «eeg\_P4.txt» использовались следующие функции:=fopen («EEGeeg\_T4.txt», «rt»); - функция, позволяющая открыть файл исходного сигнала ЭЭГ;- считывание данных с файла;- идентификатор файла;

[2,512] - размер;- период дискретизации;- вектор времени;- вектор сигнала ЭЭГ;- функция, реализующая закрытие файла идентификатора;- частота дискретизации;- разбивает окно для построения в нем нескольких графиков;- строит график;- команда для определения длины массива y;- вектор из двох переменных, нижняя и верхняя граничные частоты для фильтра;- выбор окна, в котором реализуется текущее построение графиков;- получение абсолютного значения;- изменяет название графика;- рассчитывает площадь;- расчет параметров АКФ;

[P, f]=pmtm (y, [], [], fd) - расчет периодограммы по методу Томпсона;(y, [], fd, 100) - расчет параметров для построения спектрограммы;- установка параметров окна.

Графические результаты приведены ниже.



Входной ЭЭГ сигнал («eeg\_Fp1.txt»), его АЧХ, АКФ, периодограмма и спектрограмма



Фильтр альфа-ритма сигнала «eeg\_Fp1.txt», альфа-ритм, его АКФ, АЧХ, периодограмма и спектрограмма



Входной ЭЭГ сигнал («eeg\_Fp2.txt»), его АЧХ, АКФ, периодограмма и спектрограмма



Фильтр альфа-ритма сигнала «eeg\_Fp2.txt», альфа-ритм, его АКФ, АЧХ, периодограмма и спектрограмма



Входной ЭЭГ сигнал («eeg\_T4.txt»), его АЧХ, АКФ, периодограмма и спектрограмма



Фильтр альфа-ритма сигнала «eeg\_T4.txt», альфа-ритм, его АКФ, АЧХ, периодограмма и спектрограмма



**Заключение**

В итоге выполненное работы создана программа в среде пакета MatLab, и проведен автоматизированный анализ оцифрованных энцефалограмм в частотной области. С помощью программы были получены графики периодограмм альфа-ритма, которые были сравнены с нормой. Все сигналы в пределах нормы, в некоторых наблюдаются шумы, которые связаны с аппаратурой и наложением электродов.

Несложность программы дает возможность ее широкого использования в диагностических целях в медицине. Она соответствует всем требованиям, поставленным задачами квалификационной выпускной работы.

В учебном процессе результаты проведённых исследований могут использоваться для чтения дисциплин по направлению «Биомединженерия», и дисциплин, связанных с необходимостью разработки программного обеспечения.

**Список литературы**

1. Павлова О.Н., Павлов А.Н. «Регистрация и предварительная обработка сигналов с помощью измерительного комплекса МР100» Саратов: Научная книга, 2008. - 80 с.

. Сахаров В.Л. «Методы и средства анализа медико-биологической информации: Учебно-методическое пособие» Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2001. 70 с.

. Бугрова С.Г., Новиков А.Е. Умеренные когнитивные нарушения при дисциркуляторной энцефалопатии. - Иваново, 2006. - 110 с.

. Бурцев Е.М. Дисциркуляторная энцефалопатия (классификация, клинико-морфологические и электрофизиологические сопоставления, патогенез, лечение) // Тез. докл. 7-го Всероссийского съезда неврологов. - Н. Новгород. - 2005. - С. 153-158.

. Жирмунская Е.А. Клиническая электроэнцефалография (цифры, гистрограммы, иллюстрации). - М., 1993. - С. 88-91.

. Лурия А.Р. Основы нейропсихологии. - М.: Academia, 2003.   
10. Немчин Т.А. Состояние нервно-психического напряжения. - Л.: Изд-во Ленинградского ун-та, 2003.

. Практикум по общей экспериментальной и прикладной психологии/ Под ред. А.А. Крылова, С.А. Маничева. - 2-е изд. - СПб.: Питер, 2003.

. Шмидт Е.В. Классификация сосудистых поражений головного и спинного мозга // Журн. невропатол. и психиатр. - 1995. - №9. - С. 1281-1288.

. Яхно Н.Н. Когнитивные и эмоционально-аффективные нарушения при дисциркуляторной энцефалопатии // Руc. мед. журн. - 2002. - Т. 10, №12/13. - С. 539-542.

. Потемкин В.Г. MATLAB: Справочное пособие - М.: «Диалог МИФИ», 1997. - 350 с.

. Бережной С.А., Романов В.В., Седов Ю.И. Безопасность жизнедеятельности: Учебное пособие. - Тверь: ТГТУ, 1996.

. Практимкум по безопасности жизнедеятельности:/С.А. Бережной, Ю.И. Седов, Н.С. Любимова и др.; Под ред С.А. Бережного. - Тверь: ТГТУ, 1997.

. Справочная книга для проектирования электрического освещения/ Под ред. Г.М. Кнорринга. - Л.:Энергия, 1976.

. Справочная книга по светотехнике/ Под ред. Ю.Б. Айзенберга. - М.: Энергоатомиздат, 1983.

. СНиП II-4-79. Естественное и искусственное освещение. М.:Стройиздат, 1980 (с изменением от 4.12.85 г. за №205).