ГБОУ города Москвы школа №1505 «Преображенская»

Структурное подразделение «Пугачевская, 6а»

Нейро-компьютерный интерфейс

Работа выполнена Горячевой Софьей, учащейся 9 «Б» класса

Консультант: Воробьева Е.А.

Москва, 2017

Содержание:

[Введение 3](#_Toc507620850)

[Актуальность: 5](#_Toc507620851)

[Цель: 5](#_Toc507620852)

[Задачи: 5](#_Toc507620853)

[§1 Анатомия и физиология нервной системы человека. 6](#_Toc507620854)

[§1.1 строение нервной системы 6](#_Toc507620855)

[§1.2 Функции нервной системы 9](#_Toc507620856)

[Функции спинного мозга 9](#_Toc507620857)

[Функции головного мозга 10](#_Toc507620858)

[§1.3 Высшая нервная деятельность (ВНД) 13](#_Toc507620859)

[§2 Человек – машина 17](#_Toc507620860)

[§ 2.1 Рецепторы 17](#_Toc507620861)

[§ 2.2 Способы изучения нервной системы 18](#_Toc507620862)

[§3 НКИ 21](#_Toc507620863)

[§3.1 История НКИ 21](#_Toc507620864)

[§3.1 Классификация НКИ 22](#_Toc507620865)

[§3.2 Методика регистрации нерональной активности 24](#_Toc507620866)

[§3.3 Декодирование нейрональной активности 26](#_Toc507620867)

[§3.4 Использование НКИ 28](#_Toc507620868)

# Введение

Межличностное общение существенно отличается от коммуникации с машиной. При общении с машиной человек использует набор команд, которые машина может выполнить. Общение с другими людьми намного сложнее и интереснее, так как предполагает не только восприятие явной информации, но и анализ жестов, движений, выражения лица. Задача нейро-компьютерного интерфейса – перенести свойства человеческого общения на общение человека с машиной. Одним из путей решения данной задачи является интерпретация сигналов, возникающих в мозгу. Однако существуют две основные проблемы, препятствующие достижению цели. Во-первых, поверхность мозга имеет складчатую форму, что осложняет процесс интерпретации сигналов. Во-вторых, кора мозга, а именно ее «узор», абсолютно индивидуальны, из-за чего расположение некоторых функциональных частей, из которых поступает сигнал, у разных индивидуумов отличается.

Еще в древности человек пытался найти способ заменить поврежденные или отсутствующие конечности. По всему миру люди находят разные типы протезов, возраст некоторых из них насчитывает более 2200 лет. Уже в XVI веке были совершены попытки создания подвижных протезов. Так, в 1504 году в Баден-Вюнтерберге один кузнец смастерил руку с четырьмя подвижными пальцами, а в 1564 году французский хирург Амбруаз Паре смоделировал подвижные протезы рук и ног, а также изобрел первые протезы глазных яблок. В XVII веке произошли значительные усовершенствования механических протезов. Они стали более практичны в использовании и выглядели более эстетично. Принцип таких протезов используется и в наше время, однако сейчас используются другие материалы.

Помимо протезов, заменяющих отсутствующие конечности, существуют устройства, протезирующие или способствующие нормальной работе внутренних органов: кардиостимуляторы, искусственные хрящи, сосудистые стены, жесткие структуры для суставов и костей. Однако такие хирургические протезы появились только в конце XX века. Следующий этап развития протезов – «интеллектуальные» протезы, эндо протезы и киберпротезы. такие протезы существенно отличаются от их предшественников, так как они непосредственно связаны с нервной системой или мышцами носителя.

На сегодняшний день технологии нейро-компьютерного интерфейса (НКИ) способны повлиять на образ жизни многих людей с ограниченными возможностями. Существует несколько систем классификации НКИ. Функциональная классификация выделяет:

1. моторные
2. сенсорные
3. сенсомоторные, или двунаправленные
4. когнитивные НКИ
5. мозгосети.

Моторные НКИ воспроизводят движения конечностей, а также осуществляют управление движением моторизированного кресла. Сенсорные НКИ вызывают ощущения, а сенсомоторные НКИ одновременно выполняют функции сенсорных и моторных НКИ. Когнитивные НКИ работают в области высшей нервной деятельности, они улучшают такие функции, как память, внимание и принятие решений. Мозгосети – это НКИ, включающие несколько участников. Также принято классифицировать НКИ по степени инвазивности (степень внедрения во внутреннюю среду организма). Выделяют инвазивные и неинвазивные НКИ. Инвазивные НКИ небезопасны: для них требуется трепанация черепа, позволяющая ввести электроды в мозг или поместить на его поверхность. Использование неинвазивных НКИ незатруднительно. Например, ЭЭГ- электроды смачиваются электродной пастой и накладываются на поверхность головы. Так же существует классификация НКИ, основанная на области мозга, в которой записывается активность.

## Актуальность:

Так как данная технология достаточно новая и находится в стадии активного развития, то изучение этой темы может привлечь интерес нового поколения, что будет способствовать появлению новых идей ее 5дальнейшего развития и использования. Изучение данной темы позволяет ознакомиться с начальным этапом современной технологии, которая имеет широкий спектр применения. Так же развитие данной технологии может кардинально изменить образ жизни многих людей, особенно людей с ограниченными возможностями.

## Цель:

Целью данной работы является изучение основных принципов работы нейро-компьютерного интерфейса, а так же определить факторы, влияющие на развитие данной технологии.

## Задачи:

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи:

1. поиск источников информации по теме
2. изучение информации в найденной литературе
3. обобщение и структурирование полученных знаний

# §1 Анатомия и физиология нервной системы человека.

Нервная система – одна из самых удивительных и высокоорганизованных систем в мире. Именно нервные клетки управляют нашим организмом и осуществляют взаимодействие человека с окружающим его миром. Нормальная деятельность нервной системы определяется возбудимостью нервных клеток – нейронов. Возбуждение – это электрохимический процесс, который проявляется в виде ответной реакции нервных клеток на раздражителей. Этот процесс происходит исключительно на цитоплазматической мембране клетки и изменяет ее электрическое состояние, что приводит к запуску специфической для каждой ткани функции. Всю нервную систему делят на центральную и периферическую, однако они не существуют отдельно друг от друга. Периферические нервы обеспечивают связь центральной нервной системы со всеми органами и тканями человеческого организма

## §1.1 строение нервной системы

Нервную систему делят на два основных отдела: центральную и периферическую нервную систему. К центральному отделу нервной системы относятся головной и спинной мозг, а к периферическому нервы, нервные сплетения и узлы. Однако данные отделы представляют собой единую систему, так что такое деление достаточно условно. *Центральная нервная система* состоит из скопления нервных клеток, которые называются центры или ядра; *периферическая часть нервной системы в основном состоит из* нервов, т. е. отростков нервных клеток, тела которых находятся в центральной части нервной системы. Функционально нервная система делится на *соматическую* и *вегетативную.* *Соматический отдел нервной системы* снабжает тело и некоторые внутренние органы нервными волокнами, обеспечивая их связь с ЦНС. *Вегетативный отдел нервной системы* состоит из симпатической и парасимпатической частей. Также существует деление нервной системы на *афферентный* и *эфферентный отделы. «Афферентный* отдел отвечает за поступление информации в нервную систему из внешней и внутренней среды, а *эфферентный* обеспечивает управляющие воздействия нервной системы на организм. В основе деятельности нервной системы ежит рефлекс». [[1]](#хомутов)

«Мозг состоит из миллиардов нервных клеток, или нейронов. Нейрон состоит из трех основных частей: тело нейрона (сома); дендриты – короткие отростки, которые получают сообщения от других нейронов; аксон – длинное отдельное волокно, которое передает сообщения от сомы к дендритам других нейронов или тканям тела, мышцам. Передача возбуждения от аксона одного нейрона к дендритам другого называется нейропередачей или нейротрансмиссией. Существует большое многообразие нейронов ЦНС. Чаще всего классификация нейронов осуществляется по трем признакам – морфологическим, функциональным и биохимическим» [[2]](#пивоварчик)

1. Морфологическая классификация нейронов делит нейроны в зависимости от количества отростков *на униполярные, биполярные и мультиполярные (униполярные – один отросток, биполярные – два отростка – аксон и дендрит, мультиполярные – один аксон и более двух дендритов).*
2. Функциональная классификация нейроновделит нейроныв зависимости от выполняемой ими функции и их расположением в рефлекторной дуге на три типа: *афферентные* (чувствительные: создают нервные импульсы, отвечая на раздражители внешней среды), *эфферентные* (двигательные: передают информацию от ЦНС к железам, мышцам и органам) и *ассоциативные* (передают нервный импульс афферентного нейрона эфферентному).
3. Биохимическая классификация нейроновделит нейроны по им биохимическим признакам.

Нервная система и проводящие пути в ЦНС состоят из нервного волокна (отросток нейрона). Диаметр такого волокна может составлять от 0,5 до 1700 мкм и зависит от скорости проведения возбуждения (чем выше скорость, тем толще волокно), а длина может быть более 1 м. нервные волокна собраны в пучки, из которых состоят нервы. «Нервы делят на два типа в зависимости от того, в каком направлении они передают импульсы. Сенсорные, или афферентные, нервы (такие как обонятельный, зрительный, слуховой) передают импульсы в ЦНС, а эфферентные (такие как глазодвигательный, отводящий, блоковый) — от ЦНС к периферии. Смешанные нервы передают импульсы в обоих направлениях, например, тройничный, лицевой, языкоглоточный, блуждающий и все спинномозговые нервы». [[1]](#хомутов)

Передача информации от одной нервной клетки к другой происходит посредством синапсов – мест соединений клеток. По своему строению синаптические образования делятся на электрические и химические. «Оба способа синаптическои передачи имеются и в нервной системе беспозвоночных, и у позвоночных, тем не менее у высших организмов преобладает химический способ передачи информации. Там, где необходима быстрая передача возбуждения, выгоднее электрические синапсы: здесь не бывает синаптическои задержки, и электрическая передача проходит большей частью в обоих направлениях, что особенно удобно для одновременного возбуждения нескольких участвующих в процессе нейронов». [[1]](#хомутов)Электрический синапс симметричен и обладает тесным контактом обеих мембран. *Химический синапс* является специфическим и несимметричным контактом между клеточными мембранами двух нейронов.

**«Сущность процесса возбуждения** заключается в следующем. Все клетки организма имеют электрический заряд, обеспечиваемый неодинаковой концентрацией анионов и катионов вне и внутри клетки. При действии раздражителя на клетку возбудимой ткани изменяется проницаемость ее мембраны, вследствие чего ионы быстро перемещаются согласно электрохимическому градиенту (совокупность концентрационного и электрического градиентов), - это и есть процесс возбуждения. Его основой является потенциал покоя».[[3]](#осипов)

## §1.2 Функции нервной системы

### Функции спинного мозга

Центральная нервная система состоит из спинного мозга, расположенного в позвоночном канале, и головного мозга, расположенного в полости черепа. Спинной мозг имеет относительно простое строение и сегментарную организацию. «Он обеспечивает связи головного мозга с периферией и осуществляет сегментарную рефлекторную деятельность». [[2]](#пивоварчик)

**Первой основной функцией** центральной нервной системы является *рефлекс***. «**Рефлекс – это возникновение, изменение или прекращение функциональной активности органов, тканей или целостного организма, осуществляемое при участии ЦНС в ответ на раздражение рецепторов организма. Осуществление любого рефлекса требует обязательного выполнения четырех основных операций:

1. прием информации от рецептора;

2. расшифровка этой информации и программирование адекватного ответа;

3. реализация ответа путем передачи сигнала к исполнительным органам (мышцам, железам);

4. контроль за правильностью осуществления программы». [[2]](#пивоварчик)

В основу рефлекса входит рефлекторная дуга – цепь последовательно соединенных нейронов, необходимых для осуществления рефлекса. Рефлекторная дуга, предназначенная для безусловных рефлексов, генетически-запрограммирована в человеческом организме. Однако в процессе появления условных рефлексов образуются новые нейронные соединения.

**Вторая основая функция спинного мозга** –проводниковая. Она связана с передачей афферентных сигналов головного мозга на мотонейроны и вегетативные нейроны спинного мозга. Существуют*афферентные входы в спинной мозг*- входы, которые несут информацию в ЦНС. Они образованы аксонами нейронов, которые лежат вне спинного мозга. Также существует три группы афферентных входов в спинной мозг. *Первая группа* состоит из чувствительных волокон, по которым поступает информация от мышц, сухожилий и связок. *Вторая группа* несет информацию от рецепторов кожи (тактильных, болевых и температурных). *Третья группа* - группа, несущая информацию от внутренних органов.

### Функции головного мозга

Головной мозг делят на ствол головного мозга, мозжечок и большой мозг. Ствол мозга, в свою очередь делят напродолговатый мозг, мост, средний мозг и промежуточный мозг. Мост и мозжечок составляют задний мозг. Задний мозг вместе с продолговатым мозгом представляют ромбовидный мозг.

***Ствол*** мозга является продолжением спинного. В том месте, где они соединяются, находятся черепно-мозговые нервы, совокупность нервных структур, ядерные образования, которые имеют отношение к осуществлению многих рефлекторных реакций соматического и вегетативного обеспечения высших функций центральной нервной системы. Также, через ствол мозга проходят восходящие и нисходящие пути, связывающие его со спинным и головным мозгом.

«**Продолговатый мозг** начинается у нижнего края моста и продолжается до корешковых нитей первого шейного сегмента». [[2]](#пивоварчик) Продолговатый мозг имеет *проводниковые и сенсорные функции*. Его свойство проводника проявляется в том, через него проходят все афферентные пути и эфферентные пути спинного мозга. «*Сенсорные функции* продолговатого мозга заключаются в первичной обработке сенсорных потоков, идущих от рецепторов. В задневерхних отделах продолговатого мозга проходят пути кожной, проприоцептивной, висцеральной чувствительности, часть из которых переключается здесь на второй нейрон». [[2]](#пивоварчик) Продолговатый мозг, мост и средний мозг принимают участие в *управлении движениями* (**Средний мозг** отвечает за прохождение таких важных реакций реакций, как: *ориентировочного и сторожевого рефлекса*). Активность двигательных ядер черепномозговых нервов, обеспечивает такие функции, как захват, переработка и проглатывание пищи. Также, благодаря вестибулярным ядрам, находящимся в продолговатом мозге, происходит регуляция позы.

**Мост** является частью заднего мозга. «Мост, являясь связующим звеном между отделами головного мозга, участвует в управлении движениями, в осуществлении вегетативных функций, а также в реализации сенсорных функций мозга». [[2]](#пивоварчик)

**Промежуточный мозг** – это структура мозга, которая принимает участие в реализации различных функций мозга, в том числе как компонент сенсорных, двигательных и вегетативных систем мозга, обеспечивающий целостную деятельность организма.

**Таламус**  - это крупное скопление серого вещества, которое разделено прослойками белового вещества на большое количество ядер – центров восходящих афферентных путей. Часть этих ядер выполняет сенсорную функцию, другая часть является компонентом двигательной системы, а остальные ядра - компоненты вегетативной и лимбической систем.

Ядра **метаталамуса** относятся к сенсорным специфическим релейным, или переключательным, ядрам, а также к сенсорным ассоциативным ядрам.

«**Эпиталамус** контролирует деятельность органа обоняния, принимает участие в тормозном контроле над формированием половой системы организма, регулирует деятельность организма в соответствии с уровнем освещенности окружающей среды». [[2]](#пивоварчик)

**Гипоталамус** находится в основании головного мозга человека и является центральной структурой лимбической системы мозга. Он выполняетфункции, связанные с *гормональными регуляциям*, которые осуществляются через гипофиз, и *регуляцией биологических мотиваций* (потребление пищи, поддержание массы тела, потребление воды и водно-солевой баланс в организме, регуляция температуры в зависимости от температуры внешней среды, эмоциональные переживания, мышечная работа и функция размножения).

**Кора мозга** – слой серого вещества (2 – 5 мм) на поверхности больших полушарий, который образован телами нейронов и глиальными клетками, расположенными слоями. «Кора – место высшего анализа и синтеза всей поступающей в мозг информации, интеграции всех форм сложного поведения и высших психических функций». [[2]](#пивоварчик)

**Функции нервных клеток ЦНС и периферического отдела нервной системы.**

«1. *Восприятие изменений* внешней и внутренней *среды* организма. Эта функция осуществляется прежде всего с помощью периферических нервных образований - сенсорных рецепторов.

2. *Передача сигнала* другим нервным клеткам и клеткам-эффекторам: скелетной мускулатуры, гладким мышцам внутренних органов, сосудам, секреторным клеткам. Эта передача реализуется с помощью синапсов.

3. *Переработка* поступающей к нейрону *информации* посредством взаимодействия возбуждающих и тормозящих влияний пришедших к нейрону нервных импульсов.

4. *Хранение информации с* помощью механизмов памяти. Любой сигнал внешней и внутренней среды организма вначале преобразуется в процесс возбуждения, который является наиболее характерным проявлением активности любой нервной клетки.

5. *Нервные импульсы обеспечивают связь между всеми клетками организма* и регуляцию их функций.

6. С помощью химических веществ нервные клетки оказывают *трофическое влияние* на эффекторные клетки организма».[[3]](#осипов)

## §1.3 Высшая нервная деятельность (ВНД)

**Высшая нервная деятельность (ВНД)** человека - это совокупность нейрофизиологических процессов, которые обеспечивают сознание, подсознательную переработку информации и приспосабливание организма к окружающей среде. **Психическая** деятельность - любая осознанная деятельность мозга, которая сопровождается или не сопровождается физической работой. Из определений следует, что понятие «высшая нервная деятельность» шире, чем понятие «психическая деятельность». То есть психическая деятельность является составной частью ВНД. ВНД может протекать осознанно и подсознательно. Примерами неосознаваемой высшей нервной деятельности являются сон, переработка поступившей ранее информации, в то время, когда человек уже переключился на другую деятельность, а также переработка сигналов от подпороговых внешних раздражителей. **Психика** - свойство мозга осуществлять психическую деятельность, главный критерий которой - осознаваемая активность мозга. Сознание - идеальное, субъективное отражение реальности мозгом. Сознание может отражать действительность в различных формах психической деятельности человека: ощущение, восприятие, представление, мышление, внимание, чувство (эмоции) и воля.

Человек обладает как **врожденной**, так и **приобретенной** **формой деятельности.** Когда живое существо появляется на свет, оно еще не имеет своего опыта, однако обладает определенным набором знаний. Эти знания, набор поведенческих реакций, которые направлены на адаптацию, и есть врожденная форма деятельности. К ней относятся *таксисы, безусловные рефлексы* и *инстинкты.* В процессе развития появляется выработанная реакция организма на раздражитель, который был ранее идентифицирован. Такая реакция является приобретенной формой деятельности.

«**Безусловные рефлексы** – ответная реакция организма на раздражение сенсорных рецепторов, осуществляемая с помощью нервной системы».[[4]](#смирнов)

**Таксисы –** перемещение всей клетки или организма, которое вызвано и определяется внешним стимулом. Таксисы можно разделить на положительные и отрицательные и классифицировать в соответствии с природой раздражителя.

**Инстинкт** – врожденная, строго постоянная форма деятельности, нацеленная на приспосабливание и вызванная специфическими раздражителями внешней среды и биологическими потребностями организма.

«Одной из форм психической деятельности являются ощущения, формирующиеся с помощью органов чувств. И.П.Павлов ввел в физиологию понятие «анализаторы», которые именуют в настоящее время также сенсорными системами. Поскольку ощущения - это основа и для других форм психической деятельности, рассмотрим общие закономерности функционирования анализаторов, обеспечивающих познание внешнего мира». [[3]](#осипов)

*Анализаторы - образования* центральной и периферической нервной системы, воспринимающие и анализирующие изменения окружающего мира и внутренней среды организма. «*Орган чувств -* периферическое образование, воспринимающее и частично анализирующее факторы окружающей среды». [[3]](#осипов) Позже понятие **«сенсорная система»** заменило понятие «анализатор», дополнив его включением механизмов регуляции функций его отделов.

Во многих системах, в том числе и в нервной системе, существуют процессы кодирования информации, предназначенные для удобства передачи информации. В нервной системе универсальным кодом является **нервный импульс,** который распространяется по нервным волокнам. «Передача сигнала от одной клетки к другой во всех отделах анализатора осуществляется с помощью химического кода - **медиатора.** Для хранения информации в ЦНС кодирование осуществляется с помощью **структурных изменений** в нейронах». [[3]](#осипов) В анализаторах происходит кодировка раздражителя, а именно: его **вид**, **сила**, **время** его действия и **локация (**место действия раздражителя, и локализация его в окружающей среде). В кодировании характеристик раздражителя принимают участие все отделы анализатора.

**Сила раздражителя** кодируется изменением частоты импульсов в возбужденных рецепторах в тот момент, когда меняется сила раздражителя, и определяется общим количеством импульсов в единицу времени. Такое кодирование называется частотным. Обычно с увеличением силы раздражителя возрастает число импульсов, возникающих в рецепторах, и наоборот. Изменение силы раздражителя влияет на количество возбужденных рецепторов. «**Пространство** на теле организма кодируется величиной площади, на которой возбуждаются рецепторы, - пространственное кодирование» [[3]](#осипов) Например, мы легко можем различить касание острого предмета от касания тупого предмета. Локализация действия раздражителя заключается в том, что рецепторы различных участков тела посылают импульсы в определенные зоны коры большого мозга. Процесс кодировки в**ремени действия раздражителя** на рецептор заключается в том, что рецептор начинает возбуждаться с началом действия раздражителя и прекращает возбуждаться сразу после остановки действия раздражителя (временное кодирование). Однако, время действия раздражителя кодируется недостаточно точно из-за быстрой адаптации рецепторов и прекращения возбуждения при постоянном действии раздражителя.

«Во всех отделах анализатора импульсное кодирование осуществляется с помощью возникновения импульсов в рецепторах и изменения характера импульсации в других отделах анализатора. Импульсы в отдельном нервном волокне формируются в *пачки,* между которыми могут быть различные интервалы, в пачках - различное *число импульсов,* между отдельными пачками - различные интервалы ».[[3]](#осипов) Все это характеризует закодированную в рецепторах информацию.

# §2 Человек – машина

## § 2.1 Рецепторы

**Механорецепторы**

*Механорецепторы* — сенсорные структуры, которые воспринимают механические раздражения из внешней среды или от внутренних органов. Механорецепторы делятся на два основных типа:

1. Рецепторы 1-го типа - обладают специализированными волосково-реснитчатыми структурами. Эти структуры участвуют в актах первичной рецепции, например механорецепторы сенсорных органов.
2. Рецепторы 2-го типа не так чувствительны к механическим воздействиям и не имеют специальных структур.

**Барорецепторы**

*Барорецепторы (прессорецепторы)* — это вид механорецепторов. Данные рецепторы представляют собой чувствительные нервные окончания в кровеносных сосудах, воспринимающие изменения кровяного давления и рефлекторно регулирующие его уровень. Они приходят в состояние возбуждения при растяжении стенок сосудов. Барорецепторы имеются во всех сосудах; их скопления сосредоточены по большей части в рефлексогенных зонах (сердечной, аортальной, сино-каротидной, легочной и др.). При повышении кровяного давления барорецепторы посылают в НС импульсы, снижающие тонус сосудистого центра и возбуждающие центральные образования парасимпатического отдела вегетативной нервной системы, что приводит к понижению давления.

**Свободные нервные окончания**

*Свободные нервные окончания* — наиболее распространенный вид кожных рецепторов, который составляет примерно 80 % кожных афферентов. Со свободными окончаниями связаны также и средние мякотные волокна, диаметр которых обычно менее 6 мкм. Из всех видов афферентных нервных окончаний они более всего свободны от вспомогательных структур. В дерме в тех участках, где слой эпидермиса толстый и имеются высокие сосочки, основная масса свободных нервных окончаний находится в сосочках. А в тех местах, где слой эпидермиса невелик и его граница с дермой не очень извитая, нервные волокна образуют горизонтальные плексиформные разветвления, расположенные в поверхностных слоях дермы. В эпидермисе большинство свободных нервных окончаний располагается в нижних слоях, однако, в некоторых местах, например в пальцах рук, они наблюдаются в большом количестве и в зернистом слое. В роговом слое окончания постепенно истончаются и атрофируются. Непрерывный регенеративный рост (вместе с эпидермисом) инфрадермальных нервных волокон обеспечивает восстановление рецепторов. Свободные нервные окончания имеют сильное ветвление, из-за чего одно нервное волокно может иннервировать большую площадь.

## § 2.2 Способы изучения нервной системы

Для регистрации биоэлектрической активности нейронов и их отростков применяют микроэлектродную технику, которая в зависимости от задач исследования имеет много особенностей. Обычно применяют два типа микроэлектродов – металлические и стеклянные.

**Метод магнитно-резонансной томографии**. Современные методы позволяют увидеть строение головного мозга человека, не причиняя ему вред. Метод магнитно-резонансной томографии дает возможность на экране монитора наблюдать серию последовательных «срезов» головного мозга. «Этот метод позволяет исследовать, например, злокачественные образования головного мозга. Головной мозг облучают электромагнитным полем, применяя для этого специальный магнит. Под действием магнитного поля диполи жидкостей мозга (например, молекулы воды) принимают его направление. После снятия внешнего магнитного поля диполи возвращаются в исходное состояние, при этом возникает магнитный сигнал, который улавливается специальными датчиками. Затем это эхо обрабатывается с помощью мощного компьютера и методами компьютерной графики отображается на экране монитора». [[2]](#пивоварчик)

**Позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ).** Данный метод обладает более высоким разрешением. «Исследование основано на введении в мозговой кровоток позитрон излучающего короткоживущего изотопа. Данные о распределении радиоактивности в мозге собираются компьютером в течение определенного времени сканирования и затем реконструируются в трехмерный образ». [[2]](#пивоварчик)

**Электрофизиологические методы.** Еще в XVIII в. врачи пришели к выводу, что мышцы и нервные клетки животных производят электричество. «Современные методы клинической и экспериментальной электроэнцефалографии сделали значительный шаг вперед благодаря применению компьютеров. Обычно на поверхность скальпа при клиническом обследовании больного накладывают несколько десятков чашечковых электродов, которые соединены с многоканальным усилителем. Современные усилители очень чувствительны и позволяют записывать электрические колебания от мозга амплитудой всего в несколько микровольт, затем компьютер обрабатывает ЭЭГ по каждому каналу». [[2]](#пивоварчик)

**Электроэнцефалографиические методы.** *«Электроэнцефалография* - регистрация суммарной электрической активности мозга с поверхности головы. Электроэнцефалограмма (**ЭЭГ**) - кривая, зарегистрированная при этом исследовании. Запись ЭЭГ с коры головного мозга называется электрокортикограммой (**ЭКоГ**). При возбуждении в нервных клетках ионы перераспределяются, возникает разность потенциалов между участками ткани ».[[3]](#осипов) Эта разность очень мала (миллионные доли вольта), а значит, для их регистрации и измерения требуются высокочувствительные аппараты — электроэнцефалографы, которые усиливают и записывают биопотенциалы мозга. В наше время используют многоканальные электроэнцефалографы с перьевой записью. Отведение биотоков производится с помощью серебряных и оловянных электродов, которые укрепляются на коже в области различных отделов головы: лобных, височных, теменных, затылочных. ЭЭГ используют в анестезиологической практике для контроля за уровнем наркоза во время операции (однако в таких случаях чаще применяются игольчатые электроды). Основные анализируемые параметры ЭЭГ – *частота* и *амплитуда волновой* активности.

Существует *монополярный* способ записи ЭЭГ и *биполярный*. При использовании *монополярного* метода активный электрод помещают в любой точке головы, а другой, пассивный, устанавливают на мочке уха. При использовании *биполярного* метода применяют два электрода, установленных в различных отделах головы - лобно-затылочных, лобно-височных, височно-затылочных и других отведениях. Исследование проводят в изолированной от помех, свето- и звуконепроницаемой камере. Обследуемый должен максимально расслабиться, так как случайные мышечные движения мешают исследованию, создавая дополнительные биотоки.

На ЭЭГ регистрируются α, β,θ и δ-ритмы. Эти ритмы различаются по частоте и амплитуде.

**Метод вызванных потенциалов (ВП) –** регистрация колебания электрической активности, возникающей на ЭЭГ при однократном раздражении периферических рецепторов

# §3 НКИ

«Нейрокомпьютерные интерфейсы (НКИ) соединяют отделы нервной системы с внешними устройствами с целью восстановления моторных и сенсорных функций больных с неврологическими поражениями. За последние 50 лет НКИ прошли путь от первоначальных идей до высокотехнологических современных воплощений. Этому развитию в значительной мере способствовали методики многоканальной инвазивной регистрации активности нейронных ансамблей. Современные НКИ способны управлять механическими протезами рук и ног. Более того, НКИ могут обеспечивать сенсорную обратную связь, позволяющую пользователю ощущать движения протеза и его взаимодействие с внешними предметами. Новейшие НКИ соединяют несколько пользователей в мозгосеть. В настоящем обзоре эти достижения разбираются с акцентом на инвазивные НКИ» [[5]](#Science)

## §3.1 История НКИ

На протяжении веков проводились наблюдения и теоретические изыскания относительно нервной деятельности, однако история нейронауки, какой мы знаем их сейчас, началась в конце XIX века, с работ Рамона Кахала. Рамон Кахала детально изучил срезы мозга под микроскопом и обнаружил множество разнообразных нейронов и их соединений. Эти работы привели к теории, согласно которой нейрон являлся функциональной единицей мозга.

О том, что нейронные ансамбли представляют собой настоящие функциональные единицы мозга, в 1949 году высказался Дональд Хебб, автор теории пластичности синаптической передачи. Но его работы в то время не были по достоинству. Однако постепенно, с развитием методик записи отдельных нейронов, интерес к нейронным ансамблям возрастал. На тот момент ученые не записывали много нейронов одновременно; методика многоканальной регистрации была разработана Мигелем Николелисом и Джоном Чейпиным в 90-х годах. Это послужило бурному развитию нейрокомпьютерного интерфейса (НКИ), которое мы наблюдаем по сей день.

«Развитию НКИ положили начало работы по биологической обратной связи, которые были очень популярны в 60-70-х годах. Используя биологическую обратную связь сигналов мозга, также именуемую нейрофидбеком, испытуемые могут обучиться управлять собственной нервной деятельностью».[[5]](#Science)

Первая демонстрация того, что можно было бы сейчас назвать НКИ, состоялась в 1963 году. Даниэл Деннетт изложил, что он присутствовал на лекции Грея Уолтера, автора данной работы. На своей лекции Уолтер рассказал, как он подсоединил моторную кору пациентов к проектору слайдов. «Поначалу пациенты переключали слайды, нажимая на кнопку, но затем Уолтер отсоединил кнопку и изменил соединение таким образом, чтобы слайды переключались усиленными потенциалами готовности моторной коры, которые возникали за несколько сотен миллисекунд перед началом движения. Уолтер не стал публиковать эти результаты и никогда не интерпретировал их в терминах НКИ, что несколько странно, так как в 50-х годах он занимался роботами, обладающими мозгом»[[5]](#Science)

«Хотя основная цель НКИ – это разработка медицинских приложений, НКИ вторгаются во многие области нашей жизни. Примерами могут служить НКИ для компьютерных игр, НКИ для мониторинга состояния бодрствования водителя и даже образовательные НКИ. Многие полагают, что НКИ позволят расширить функции мозга, например, когнитивные способности и моторные функции».[[5]](#Science)

## §3.1 Классификация НКИ

Существует различные системы классификации НКИ.

Функциональная классификация выделяет:

1. моторные - воспроизводят движения рук и ног, а также могут управлять моторизированным креслом
2. сенсорные - вызывают ощущения
3. сенсомоторные, или двунаправленные - одновременно управляют движениями и ощущениями
4. когнитивные НКИ - работают в области высшей нервной деятельности, они улучшают такие функции, как память, внимание и принятие решений
5. мозгосети - включающие несколько участников

Также существует деление НКИ на инвазивные и неинвазивные. Такое деление необходимо, так как основное требование к медицинским НКИ – это безопасность пациентов. Инвазивные НКИ отличаются от неинвазивных тем, что они небезопасны, так как для них требуется трепанация черепа, позволяющая ввести электроды в мозг или поместить на его поверхность. Опасность представляет не только процесс оперирования, но и то, что наружу выходят провода. Неинвазивные НКИ не так опасны, и их использование незатруднительно. «Например, ЭЭГ-электроды смачиваются электродной пастой и накладываются на поверхность головы. Существуют и сухие электроды, не требующие пасты. Но качество сигналов, регистрируемых неинвазивными методами, не столь высоко, как при применении инвазивной записи».[[5]](#Science)

Следующая классификация НКИ основана том, в какой области мозга записывается активность. Наиболее популярны НКИ, регистрирующие активность в зоне коры. При этом, чем больше записывается различных областей коры, тем лучше работает НКИ. Помимо кортикальных, были разработаны субкортикальные НКИ, которые исследовались в экспериментах на крысах и людях. Существует также классификация НКИ по принципу выделения полезного сигнала, которая выделяет два основных типа НКИ: ***независимые*** (эндогенные) и ***зависимые*** (экзогенные). *Независимые* НКИ позволяют пользователю произвольно выбирать и выполнять действия, то есть для работы пользователь инициирует действия, когда захочет, и для их работы не требуются внешние стимулы. Так работает НКИ, основанный на воображении испытуемым движений. «*Зависимые* НКИ принципиально основаны на наличии внешней стимуляции. Принцип работы таких НКИ состоит в том, что внешний стимул вызывает нейрональный ответ, который пользователь может произвольно контролировать. Например, интерфейсы на основе потенциала P300 реагируют на стимулы, на которые пользователь обращает внимание. Вызванные ответы используются как в неинвазивных, так и инвазивных НКИ». [[5]](#Science)

Еще дна классификация определяется числом каналов записи: много их или мало. По этому вопросу поначалу возник диспут: достаточно записывать лишь несколько нейронов, чтобы получить хорошо работающие НКИ, или же необходимо записывать большое количество нейронов и только так можно создать качественный НКИ. Со временем этот спор разрешился в пользу больших нейронных ансамблей.

## §3.2 Методика регистрации нерональной активности

В настоящее время одной из самых распространенных методик записи нейронных ансамблей является использование матриц, составленных из металлических проволочных электродов, которые могут быть фиксированы или индивидуально подвижны. Такие матрицы пригодны для записи активности коры и подкорковых ядер. «Разрабатываются и новые технологии многоканальной регистрации нейронов, которые позволяют минимизировать поражение нервной ткани и увеличить время, на протяжении которого электрод способен записывать нейрональную активность. Примерами таких разработок являются «плавающий» имплантат и имплантаты, использующие гибкие электроды. Недавно была разработана так называемая синусоидальная проба, снижающая движения электрода относительно нервной ткани. Также разработаны микроэлектроды с множественными контактами, например, электрод Нейронексус, также именуемый «Мичиганской пробой». [[5]](#Science)

Не менее популярны и ***тетроды*** – электроды, представляющие собой четыре перекрученные проволоки и позволяющие улучшить распознавание разрядов отдельных нейронов. Такой электрод записывает активность небольших групп нейронов и позволяет идентифицировать отдельные нейроны, сравнивая сигналы на разных проволоках. Недавно с помощью тетродов была записана активность сразу в нескольких отделах мозга обезьяны.

Существует новейший способ записи - ***«нейронная пыль»****,* который обходится без электродных иголок. Данный метод использует микроскопические (10–100 микрон) сенсоры, чувствительные к электрическим потенциалам нейронов. «Сигналы этих сенсоров считываются посредством ультразвука. На каждом сенсоре имеется пьезоэлектрический элемент, отражающий ультразвук, посланный из внешнего устройства. Так как пьезоэлектрический элемент чувствителен к электрическому напряжению, он посылает ультразвук разной частоты в зависимости от регистрируемой сенсором нейронной активности. *Эндоваскулярные* электроды проникают в мозг через кровеносные сосуды. Достаточно тонкие эндоваскулярные электроды могут проникать в мозговые капилляры, не нарушая гематоэнцефалического барьера. Электроды такого типа, внедренные в среднюю церебральную артерию, использовались для записи ЭЭГ активности пациентов с эпилепсией». [[5]](#Science)

Еще одним из недавно разработанных методов является ***стентрод*** - пучок эндоваскулярных электродов. Стентроды вводятся в мозг через поверхностную вену. Разработанный Рудольфом Ллинасом и его коллеги наноэлектрод, плавает в кровеносных сосудах, а затем проникает в капилляры мозга. Было показано, что эти электроды могут записывать активность нейронов спинного мозга лягушки.

«Активность нейронов также может быть записана с помощью ***оптических методов***, например, с помощью *флюоресцентных маркеров*, чувствительных к напряжению и концентрации кальция. Эта методика была использована в НКИ, с помощью которого мышь модулировала звуки. Оптический метод регистрации также был использован для реконструкции положения мыши на арене, основываясь на активности популяций нейронов гиппокампа.

***Электрокортикографические сетки*** представляют собой минимально инвазивный способ записи активности коры. Высокоплотные сетки позволяют существенно улучшить разрешение этого метода. Запись нейрональной активности при помощи кортикальных имплантатов можно вести через провода либо беспроводным способом». [[5]](#Science)

## §3.3 Декодирование нейрональной активности

Декодирование нейрональной активности – процесс перевода разрядов нейронов в сигналы, пригодные для управления внешними устройствами, текстовой коммуникации и других полезных функций. Для этого используются математические алгоритмы, которые в общем виде могут быть описаны как модели с множественными входами и множественными выходами.

Для того, что бы настроить декодер, используется период записи, называемый тренировочным периодом. Во время этого периода испытуемый либо выполняет задачу при помощи движения конечностью, либо пассивно наблюдает за выполнением задачи. Такой тренировочный период необходим для сопоставления разрядов нейронов с параметрами задачи и построения декодера, который переводит нейрональную активность в эти параметры. После настройки декодера, операции переводятся в режим НКИ, в котором сигналы с выхода устройства используются для управления внешним устройством. При этом пользователь НКИ может двигать частями тела или может оставаться неподвижен. Также для более четкого выполнения НКИ задач и для подстройки могут использоваться адаптивные декодеры. Были предложены адаптивные декодеры, которые упраздняют первоначальный тренировочный период. Одним из простейших, но в то же время

популярных алгоритмов является линейная модель. В такой модели выходные сигналы декодера представляют собой линейную комбинацию частот разрядов нейронов.

Фильтр Кальмана – другой популярный декодирующий алгоритм, использовавшийся во многих разработках НКИ. Фильтр Кальмана содержит модель состояния и наблюдаемые параметры. Модель состояния может включать в себя такие переменные, как координаты и скорость руки. Наблюдаемые параметры – это, в случае НКИ, частоты разрядов нейронов. Суть работы фильтра Кальмана заключается в том, что на вход фильтра подаются наблюдаемые параметры, а на выходе он выдает параметры состояния. Фильтр обновляет эти данные дискретным образом. Продвинутые фильтры Кальмана также могут использовать нелинейные преобразования сигналов, а в качестве декодеров могут также использоваться искусственные нейронные сети.

**ТЕОРИИ МОТОРНОГО КОНТРОЛЯ И НКИ**

В разработках НКИ для управления движениями существует тенденция копировать некоторые теоретические представления о том, как мозг контролирует движения. Принято считать, что существует иерархия нервных структур, контролирующих движения, в которой высшие функции выполняют корковые области, а спинной мозг ответственен за рефлексы. Основной вид движений, генерируемых корковыми структурами - произвольные движения, то есть такие, которые выполняются по собственному желанию. Любая двигательная или связанная с позой задача задействует как произвольные, так и рефлекторные компоненты.

## §3.4 Использование НКИ

**Управление искусственными Конечностями при помощи НКИ**

Большинство работ в области НКИ связаны с управлением внешней механической рукой. Такой интерес вполне объясним, так как моторика конечностей – одна из важнейших функций. Первые исследования на человеке лаборатория Донохью. «Парализованным пациентам в моторную кору имплантировали «Ютовскую пробу», регистрирующую несколько десятков нейронов. Пациенты обучились контролировать курсор на компьютерном экране и механическую руку, которая была способна подхватить чашку кофе и поднести ее ко рту пациента» [[5]](#Science). Для улучшения качества записи в алгоритм управления были добавлены команды, помогавшие пациенту не отклониться от желаемой траектории, а в качестве декодера использовался фильтр Кальмана. В итоге, через некоторое время после этих исследований Шварцу и его коллегам удалось улучшить качество управления механической рукой. Они имплантировали пациента «Ютовской пробой» и записывали две сотни нейронов моторной коры, что позволило управлять механической рукой с семью более свободно. Рука могла дотягиваться до кнопок, хвать их и поворачивать в разных направлениях.

**НКИ для управления ходьбой**

Несмотря на то, что НКИ для управления ходьбой менее разработаны по сравнению с НКИ, контролирующими искусственные руки, были достигнуты определенные успехи в этом направлении. Разработка таких НКИ способствует разработке устройств, восстанавливающих ходьбу у многих миллионов парализованных пациентов, не способных двигать нижними конечностями. Фитцсаймонс и его коллеги записывали активность ансамблей корковых нейронов обезьяны, которая ходила на беговой дорожке на двух нижних конечностях. Движения нижних конечностей отслеживались видеокамерой. Затем был настроен фильтр Винера, воспроизводивший ходьбу обезьяны по нейрональным записям. Как оказалось, этот фильтр может воспроизводить не только движения нижних конечностей, но и электромиографическую активность мышц, приводивших их в движение. Фильтр воспроизводил ходьбу вперед и ходьбу назад. После проделанной работы сигналы декодера были направлены через Интернет к человекообразному роботу, находившемуся в лаборатории Кавато в Японии, где робот успешно воспроизвел ходьбу обезьяны.

1. А.Е. Хомутов, С.Н. Кульба «Анатомия центральной нервной системы»
2. М. В. Пивоварчик «Анатомия и физиология центральной нервной системы»
3. Высшая нервная деятельность и сенсорные системы : учеб. пособие / Б. С. Осипов, Е. В. Пономарева ; Российский гос. ун-т им. И. Канта. - Калининград : Изд-во Российского гос. ун-та, 2006. - 139 с. : ил.; 21 cм.; ISBN 5-88874-704-1
4. В.М. Смирнов, С.М. Будылина «Физиология сенсорных систем и высшая нервная деятелность»: учебное пособиедля студентов высш. учеб. заведений
5. Наука и инновации в медицине. Научно-практический рецензируемый журнал. Учредитель и издатель — ФГБОУ ВО «Самарский государственный медицинский университет». Главный редактор — Г.П. Котельников,академик РАН, профессор (Самара, Россия)