# §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)