Сергей Гуляев: метод энцефалографии надо перевернуть с головы на ноги

04 марта 2025

Автор: Константин Фрумкин

Группой сотрудников Инженерно-физического института биомедицины НИЯУ МИФИ под руководством доктора медицинских наук Сергея Гуляева разрабатываются новаторские технологии исследования функциональной активности головного мозга человека на основе данных электроэнцефалографии.

По мнению ученых, новый метод имеет ряд преимуществ по сравнению с традиционно используемым в этих целях в последние десятилетия методом функциональной магнитно-резонансной томографии.

Об особенностях и задачах нового метода мы беседуем с начальником отдела симуляционных технологий ИФИБ НИЯУ МИФИ Сергеем Гуляевым.

Интервью взято в рамках рубрики «Голос науки»



В чем проблемы МРТ

Сергей Александрович, сегодня важнейшим методом функционального исследования мозга является магнитно-резонансная томография, МРТ. Почему вы решили использовать для этого, казалось бы, более старый и давно известный метод электроэнцефалографии, ЭЭГ?

МРТ - это наше всё в нейровизуализации и вообще в визуализационных исследованиях, потому что этот метод обладает широкими возможностями. Он позволяет увидеть ткань мозга, проводящие пути, биохимию клетки и сосудистое питание тканей. Это очень распространённый и довольно удобный метод исследования, особенно в неврологии, которая ограничена тем, что долгое время мы были лишены возможности увидеть головной мозг, поскольку он находится в

черепной коробке. Вплоть до конца 80-х годов прошлого века у нас не было технологий, позволяющих видеть живой мозг. Но в последние десятилетия прошлого века они появились и сейчас активно развиваются.

Мы можем увидеть работу мозга благодаря МРТ, но это довольно медленный метод.

Функциональная нейровизуализация основана на том, что активная нервная ткань потребляет кислород и возвращает в кровь углекислоту в прямой зависимости от степени ее активности. В ткань приходит гемоглобин в соединении с кислородом - оксигемоглобин, а уходит гемоглобин в соединении с углекислотой - карбоксигемоглобин. Эти два вещества в магнитном поле ведут себя диаметрально противоположно. Оксигемоглобин притягивается, карбоксигемоглобин отталкивается, вычитание изображений в различные периоды активности и позволяет обнаружить функционально активный участок. Потому что в момент возбуждения исследуемая ткань изменила свои магнитные свойства.

Хороший метод: удобный, безопасный, не нагрузочный, но страшно дорогой, в нем используется мощная аппаратура, для охлаждения необходим недешёвый жидкий гелий, требуется инженерная служба, которая поддерживает всё это в рабочем состоянии.

Однако самым большим ограничением метода функциональной МРТ является время. Для того чтобы передать кислород в ткань и забрать из ткани углекислый газ, требуется около двух секунд. Но за две секунды электрическая работа головного мозга проворачивается так интересно, что мы успеваем сказать от трех до пяти слов.



Сергей Гуляев

«Перевернуть» энцефалографию

Поэтому вы обратили внимание на метод электроэнцефалографии?

Этот метод довольно хорошо известен, в этом году будет 112 лет со времени проведения первых опытов по исследованию биоэлектрической активности головного мозга. Несмотря на почтенный возраст, этот метод, к сожалению, до сих пор пребывает в младенческом состоянии, мы до сих пор используем технологию, разработанную в 1933 году супругами Гиббс.

Почему же так получилось?

Главным образом из-за того, что, увидев какую-то электрическую активность головного мозга, исследователи сочли, что это и есть основной процесс человеческого мышления. В частности, эту идею активно продвигал Эдвард Адриан, английский нейрофизиолог, он даже пытался в своё время записать электроэнцефалограмму на пластинку и прослушать через граммофон. Но когда в 1980-е годы исследователи занялись картированием ритмической активности мозга с помощью электроэнцефалографии, то картина полученных биоэлектрических проекций совершенно не совпадала с привычными картами функциональной активности головного мозга, как их описал в свое время Уайлдер Пенфилд. На классической ЭЭГ-карте мы не видим тех стандартных нервных центров, которые описаны в наших учебниках. Более того, получаемая ЭЭГ-карта не похожа на те результаты, которые мы видим во время функционального МРТ-исследования.

Почему?

Потому что регистрируемая ритмическая активность мозга не является отражением его функциональной активности. Скорее наоборот, ее редуцирование порождается потенциалами, связанными с событиями, поэтому, когда мы начинаем исследовать, где нарушается ритмическая электрическая активность, мы приходим как раз к той картинке, которую мы прекрасно знаем, что дает возможность использовать электроэнцефалографию наравне с функциональной МРТ.

Ритмическая активность церебральных структур скорее отражает состояние относительного покоя отдельного нейронного образования (как модно сейчас говорить - нейронной сети, отвечающей за определенный набор функций).

В покое, когда человек неактивен, мы видим ритмическую активность, проекция суммарного потенциала которой исчезает во время начала функциональной активности. Вот, например, мы исследуем так называемую роландическую область мозга: когда человек в покое, мы видим нормальный ритм, а когда человек начинает сжимать руки, ритмическая активность исчезает и в области роландического ритма мы наблюдаем зону десинхронизации.

Для того чтобы метод ЭЭГ встал в один ряд с другими методиками функционального исследования, надо было перевернуть его с ног на голову и смотреть не на ритм, а на зону десинхронизации ритма.

Разделить фон и события

То есть ваша инновация – это не новое оборудование, а новый способ интерпретации данных?

Да, речь идет о новом способе анализа первичных данных. При этом, технология не меняется.

Получается, знаменитые альфа- и прочие ритмы – это как бы фон, на котором работает психика?

Да, скорее всего это фоновая несущая составляющая, наподобие радиосигнала. Основная частотная характеристика волны – показатель места передающей радиостанции в эфире. В то же время информация, которую передает эта станция, зависит не от ее частотного диапазона, а от модуляции сигнала.

К этому, наверное, приходили не только мы. Еще в 30-е годы прошлого века Альберт Грасс был уверен, что частота ритма – это важный показатель, который отвечает за быстроту мыслей. Он старался в свою лабораторию набрать людей, у которых частота альфа-ритма была больше 10 герц, но ничего хорошего из этого не получилось, он так и не обнаружил корреляции между частотой альфа-ритма и скоростью соображения. Хотя действительно мы иногда видим, что при замедлении альфа-ритма у человека снижается скорость интеллектуальных операций.

Мы долго накапливали данные, сравнивали картинки мозга, получаемые разными методами, и в конце концов увидели, что элементы десинхронизации можно рассматривать как триггерные сигналы. И сейчас у меня на компьютере есть игрушка: с одной стороны, находится карта мозга, а с другой – спрайт-автомобильчик, управляя импульсами мозга я могу перемещать банку, как если бы некий человек двигал ее руками.

Очень хотим сделать что-то подобное «Аватару» или хотя бы программе «Телепатия» Илона Маска. Но Илон Маск использует имплантацию электродов в сенсомоторной области мозга, что и привело к ожидаемому результату – его проект забуксовал.

В чем же причина «пробуксовки»?

Если вы внедряете инородный элемент в структуру живого мозга, то естественно мозг на это реагирует, он отторгает инородное тело и изолирует его с помощью микроглиальных клеток. Получается, что имплантируемый интерфейс живет какое-то ограниченное и, как видим, недолгое время. Когда я впервые услышал об этой системе, я подумал, что она проживет хотя бы год, а она даже полгода не

протянула. Обидно, конечно, но вполне ожидаемо. Для этого не нужно было даже экспериментировать.

Но для чего же тогда все эти сто лет использовались электроэнецефалограммы?

Для диагностики патологических состояний этот метод работает. Смотрели изменения электрической активности при опухолях, при эпилепсии, но этот метод не использовался для исследований нормальной физиологии мозга.

Помочь психиатрам

А почему это важно?

В медицине существует целая область, которая практически не имеет объективных методов доказательств своей правоты. Это психиатрия. Мы не можем, принимая психиатрического больного, объективно доказать наличие у него тех или иных изменений. Именно поэтому в исследованиях нас прежде всего интересовали крупные нейронные сети, которые отвечают за процесс восприятия окружающего мира. Именно их повреждение нарушает процесс восприятия, а значит и поведение. Мы подумали, если мы используем данные ЭЭГ и рассмотрим их с позиции гнозиса, то есть с позиции выделения вот этих отдельных нейрональных сетей и доказательства их правильной либо неправильной активности, то сможем получить объективный метод диагностики нарушения процесса восприятия, дадим психиатрам хоть какой-то объективный метод.

Мы начали исследования методом выделения отдельных участков мозга и непрерывной записи их электрической активности с последующей суммациий и математической обработкой этих данных. Ощущение было, что мы получили метод, который напоминает какую-то спектроскопию, когда мы по спектру можем оценить тот или иной процесс. Мы применяли этот метод к пациентам с различными патологическими состояниями. Мы накладывали результаты этих исследований на лепестковую диаграмму и получали фигуру, напоминающую летящего лебедя. Крылья лебедя **–** это активность участков мозга, отвечающих за зрительное и слуховое восприятия, хвост **–** ориентация в пространстве, а самый большой лепесток диаграммы, шея лебедя **–** это активность теменных структур, отвечающих за так называемую конструктивную обработку информации.

Дальше мы распределили эти данные по возрасту и полу и увидели, что есть отличия, но они не существенные, структура летящего лебедя сохраняется. У девочек больше объем зрительной коры, предполагаем, что она чаще задействуется, у мальчиков **–** меньше. Зато у мальчиков чаще задействуется кора ориентации в пространстве, у мальчиков меньше шансов потеряться. Вот это первый момент, который нам показался интересным. У молодых людей структура отвечающих за восприятие нейронных групп больше, она чаще используется, а у

тех, кто старше 30 лет, она более сжата, потому что нет необходимости использовать такое большое количество нейронных центров, все нейрональные сети уже структурированы, человек просто их использует в повседневной жизни на уровне готовых решений.

Полет лебедя

Это всё, конечно, интересно, но что бывает при болезнях?

Совершенно случайно мы взяли группы людей, больных эпилепсией, имеющих расстройства адаптации и страдающих алкоголизмом. Между приступами эпилептик представляет из себя практически здорового человека, но у него нарушена речевая структура, во взрослом состоянии он сохраняет детский вариант развития речевой системы. Это то, чему удивлялся наш писатель Корней Иванович Чуковский, когда наблюдал за детьми и слышал, как они до пяти лет легко изобретают новые слова и быстро понимают их значение. Это детская система восприятия языка, она, кстати, очень близка к системе восприятия животных, когда человек воспринимает не отдельные фонемы, а слышит тональности, музыку, перепевает ту же тональность, стараясь подражать. Так бывает, когда мы начинаем учить новый иностранный язык. Мы слышим тональную фразу и тональной же фразой стараемся ответить, у нас в голове идет перевод с родной речи на тональную. Что самое интересное, мы можем никогда не понять, что у какого-либо человека есть нарушение речевой функции. Эпилептики настолько хорошо адаптированы, что у них такая же беглая речь, как у всех. Но эпилептика можно «заподозрить», если он вдруг переставляет слоги.

Травка зенелеет?

Травка зенелеет, цветок монголии и прочее. Наш знаменитый диктор Левитан очень баловался этими вещами, за что его не хотели брать в дикторы. Зато такие люди лучше обучаются игре на музыкальных инструментах, то есть даже получают какие-то преимущества. И это, кстати, дает нам ответ, почему больные эпилепсией нам встречаются на протяжении 5000 лет, со времен Гиппократа. Никуда эта болезнь не уйдет, поскольку помимо неприятностей дает и некоторые бонусы.

Ну, а при расстройствах адаптации, то есть в ситуациях, когда пациента наблюдает психиатр, мы увидели, что ломается структура нашего «лебедя». Угнетаются системы восприятия, усиленно работает система конструктивного мышления, которая старается скомпенсировать проблемы восприятия. То есть у лебедя укорачиваются крылья и хвост, но удлиняется шея. Это нормальные люди, это не больные, но расстройство адаптации показывает, что у них не все ладно с головой.

Дальше мы взяли людей с выраженным поражением структур головного мозга, с гепатолеонтикулярной дегенерацией или болезнью Вильсона-Коновалова, когда

головной мозг испытывает токсическое влияние со стороны ионов меди. На их диаграмме вообще нет структуры лебедя!

Четвертая группа испытуемых – пациенты, страдающие алкоголизмом. У них нейрональные сети, отвечающие за восприятие, крупные, они функциональны и активны, но структурно не дифференцированы. И алкоголик, принимая очередную дозу спиртного, скорее всего, старается их как-то стимулировать и структурировать.

Сделали ли вы для обсчета данных ЭЭГ какой-то компьютерный продукт?

Мы очень хотим это сделать. Но найти таких программистов, которые горят идеей, горят наукой, очень сложно. Зато за прошедшие три года у нас вышло 19 научных публикаций в развитие этой темы.

Источник: официальный сайт НИЯУ МИФИ, 04 марта 2025 года

https://mephi.ru/press/news/24111