

Изображения мозга

Френологи в свое время предполагали, что исследуя нервные на поверхности черепа, они могут понять работу мозга. Несмотря на то, что сегодня эти идеи кажутся смешными, однако идея визуализации мозга завораживала людей в течение многих лет. Теперь мы на самом деле можем заглянуть внутрь черепа благодаря современным технологиям. Современные сканеры на основании различных методов позволяют увидеть нейроны, филаменты, кровотоки или энергетический метаболизм в ткани мозга, и их нарушения.

Пути современной техники

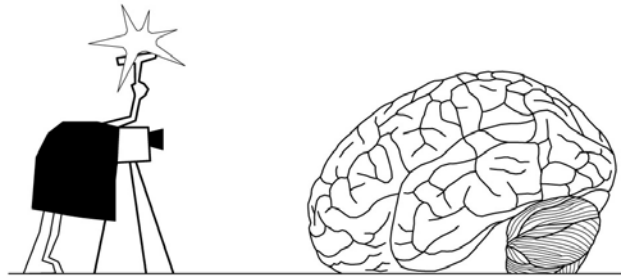
В попытках исследовать связи между структурой и функцией неврологи и нейропсихологи достигли в свое время значительных успехов при посмертном изучении мозга. Именно таким образом были идентифицированы корковые центры речи Брока (Broca). Несмотря на успехи, такой подход имел существенные ограничения. Ведь не всегда можно сделать вывод, что потеря функции происходит именно из-за повреждения этой области мозга. Так, дефицит также может возникнуть из-за поражения ассоциативных связей между областями мозга. Кроме того, неповрежденные участки мозга способны в определенной степени перенять утраченные функции – в этом и заключается пластичность. Наконец, крайне редко патологические процессы повреждают всего одну функциональную область мозга, и часто промежуток времени между изучением неврологического статуса пациента и мозговой структуры может занять несколько десятков лет.

Техники прижизненного изучения структуры мозга стали развиваться около 30 лет назад. Возможность функциональной визуализации привлекла особенное внимание неврологов. Ведь стало возможным буквально заглянуть внутрь черепа, увидеть, как человеческий мозг работает, думает, учится и даже видит сны.



Слева: Доходы от продаж альбомов "Битлз" позволили оплатить создание первых мозговых сканнеров.

Справа: Современный ЯМР сканнер. Исследуемый лежит на специальном столе, который проходит через сканирующие магнитные кольца. Процедура занимает от 30 минут до часа.



Как это работает

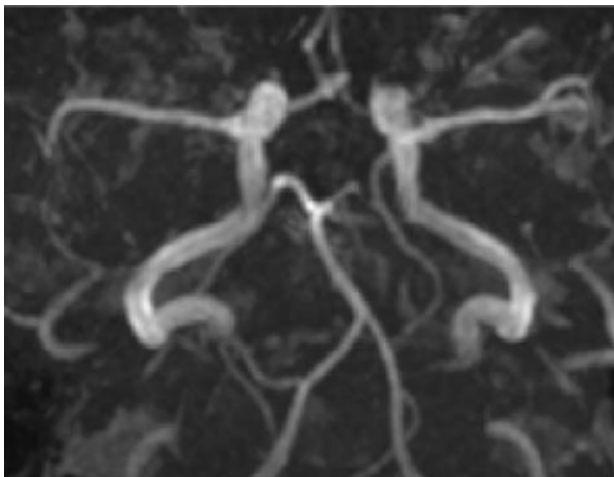
Электрофизиологические техники для мониторинга нейрональной активности основаны на изменениях мембранного потенциала активированных нейронов. Мозг-сканирующая техника основана на энергетических изменениях, возникающих при работе нейронов.

Электрохимические градиенты, переносящие и выносящие заряженные ионы из нейронов (что лежит в основе синаптических потенциалов и потенциалов действия) требуют энергетических затрат, основным источником которых является окисление глюкозы. Кислород и глюкоза доставляются в мозг посредством кровотока. Особенностью церебральной гемодинамики является быстрое увеличение кровотока в активных участках. Современные аппараты измеряют изменения кровотока и используют их в качестве индекса нейрональной активности.

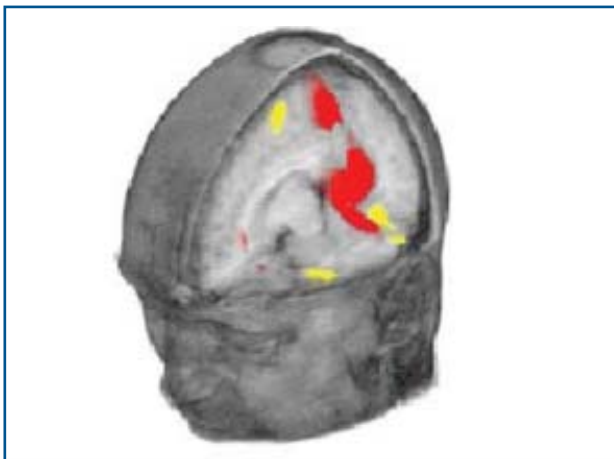
Среди функциональных методов исследования первой была открыта позитрон-эмиссионная томография (ПЭТ). Эта техника основана на введении радиоактивных меток, специфически соединяющихся с объектом исследования. Кольцевые детекторные установки вокруг головы фиксируют появление, локализацию и постепенное угасание активности изотопов. ПЭТ может быть использована для картирования церебрального кровотока. Эти измерения позволяют четко локализовать функциональные когнитивные, сенсорные и моторные центры мозга. Существуют и недостатки метода, среди которых основным считается применение радиоактивных меток. Это значит, что применение ПЭТ ограничено у детей и женщин детородного возраста, а также ограничена кратность сканирования.

Другая техника, основанная на ядерно-магнитной резонансной (ЯМР) томографии, является неинвазивной и не требует применения радиоактивных субстанций.





Изображения церебральных сосудов, основанные на изменениях в активности кровотока.



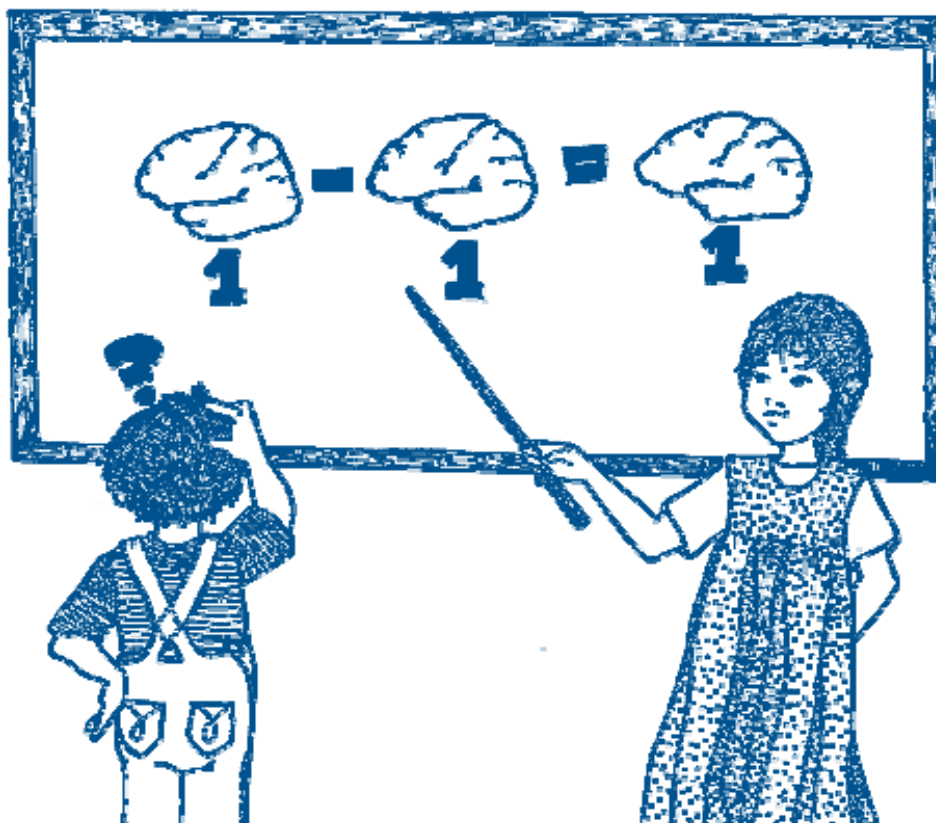
С применением компьютерных технологий можно точно установить места измененного кровотока в головном мозге.

Поэтому для ЯМР томографии нет возрастных ограничений, получаются довольно качественные изображения мозга, а новая техника на основе диффузного тензорного изображения (ДТИ) позволяет верифицировать также ассоциативные тяжи белого вещества, соединяющие различные участки мозга.

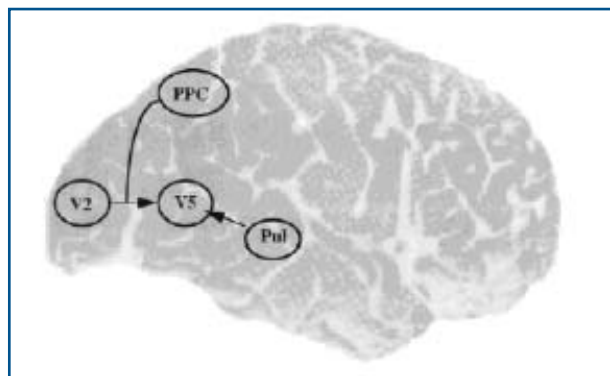
Но наиболее впечатляющим является получение функциональных изображений мозга (фЯМР). Техника исследования основана на разнице в магнетических свойствах оксигемоглобина и деоксигенированного гемоглобина в крови (и сигнал в фЯМР является зависящим от уровня оксигенации кислорода, **Blood-Oxygenation- Level-Dependent signal - BOLD**). Как только увеличивается активность нейронов и начинается ионный поток в энергетических помпах, увеличиваются и траты кислорода и потребности в энергии. Это приводит к увеличению количества деоксигенированного гемоглобина и снижению сигнала, тогда как повышенное потребление кислорода следует всего через секунду за увеличением локальной перфузии. С увеличением кровотока возникает увеличение потребления кислорода, таким образом, возникает относительное увеличение количества оксигемоглобина и увеличение сигнала. Точный механизм увеличения церебральной перфузии еще окончательно не выявлен, однако предполагается что здесь также вовлечены нейротрансмиттеры.

Применение на практике

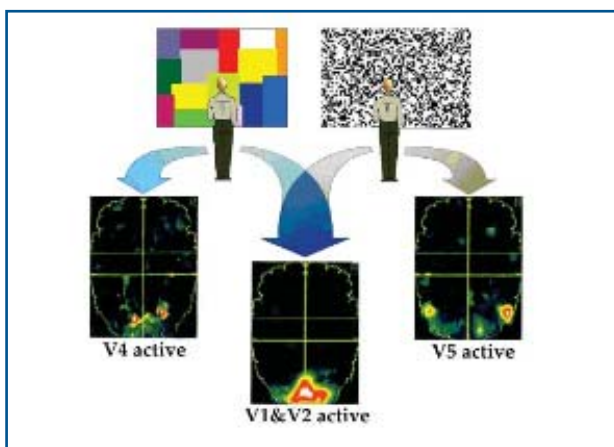
Возможно, вы имеете способности в вычитании чисел. А пытались ли вычитать мозги? Поэтому и мальчик на рисунке внизу так сконфужен. Вычитание мозговых изображений на 2-3 плоскостях предоставляет возможности для анализа. Большинство фЯМР также измеряют BOLD сигналы. При сканировании производится мониторинг поведенческих реакций на различные стимулы. Например, можно подавать зрительные изображения на экран или слуховые стимулы через наушники. И таким образом становится возможным изучение феноменов восприятия, обучения, запоминания, мышления или планирования.



Часто ставятся две похожие задачи, решение которых требует последовательного разрешения каждой. Идея заключается в том, что первая должна включать заинтересованную область мозга, а вторая - нет. Полученные изображения мозга отнимаются друг от друга для получения пикселированного 2D изображения всех изменений, возникших при решении первой задачи. После этого два изображения соединяются друг с другом на компьютере для получения изображения уже в 3 плоскостях (см рисунок на предыдущей странице). Последние достижения техники позволяют измерять и фиксировать даже короткие мысли или же мозговые события (продолжительностью всего в несколько секунд). Сейчас это носит название события-зависимая фЯМР томография. Надежные методы анализа информации позволяют верифицировать изменения интенсивности сигнала во время проведения эксперимента, так что эти тесты статистически достоверны. Сейчас широко используется пакет обработки получаемых изображений под названием статистическое



Активация области V5 указывает на восприятие движения. Информационные связи этой области включают участок V2 коры и пулвинар (Pul) в глубине мозга. Задне-теменная кора (posterior parietal cortex (PPC)) контролирует поток информации. Совместная работа обеспечивает эффективное управление.



Лицу перед сканнером показываются многочисленные образы, которые отображаются на зрительной коре, зонах V1 и V2. Использование субтракционных технологий позволило выяснить, что понимание цвета (слева) происходит в V4, когда понимание движения (движущиеся точки справа) активирует V5.

параметрическое картирование (СТПК). СТПК карты часто даются в цвете, где желтым окрашены самые активные участки активности, а синим или черным - наиболее пассивные участки.

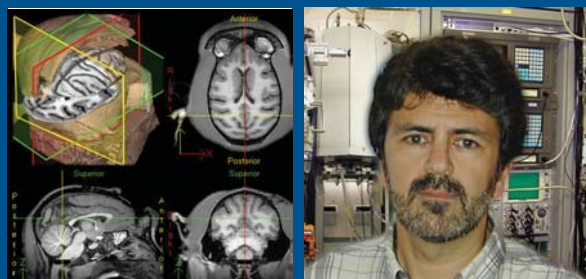
Специалисты указывают на 'включение' определенных участков при выполнении задачи. Если испытуемый смотрит постоянно изменяющийся паттерн, у него активируется первичная зрительная кора. Применение движущихся окрашенных паттернов позволило выяснить строение человеческой зрительной системы. Похожие исследования были проведены для других чувствительных систем. Эта локализационная техника позволила идентифицировать участки мозга, вовлеченные в процесс чтения - трансформация зрительного изображения в фонологический код, группирование букв в слова, понимание смысла слов, и тд. Обучающие задачи, включая выявление участков мозга, вовлеченных в рецепцию и ожидание боли, также были исследованы.

Однако, с проведением исследований возникли и сюрпризы. Так, возникла неожиданная неспособность

увидеть активацию медиальной теменной извилины при рутинных тестах на долгосрочную память. Однако, новые парадигмы, включая виртуальную реальность, доказали активность именно этой области мозга при обработке памяти наряду с префронтальной корой и прекунеус. После рассмотрения полученных данных с новыми нейробиологическими тестами наше понимание системы памяти мозга было пересмотрено. Новые математические техники позволили выяснить, как нейронная активность в различных участках мозга коррелирует для выполнения поставленных комплексных задач - так называемые эффективные связи. Именно эти исследования позволяют понять комплексную работу различных участков мозга в составе "одной команды".

Существует надежда, что новые технологии, с мощными магнитами и более качественным изображением, позволят нам выявить динамические связи нейронов и нейрональных сетей во время выполнения совместных действий, мысли и восприятия.

Передовая наука



Nikos Logothetis внес значительный вклад в понимание отношений между активностью нейронов в мозге и экспериментах с изображением мозга. Последние исследования с применением фЯМР и электрических записей показали, что существуют тесные корреляции между синаптической активностью и BOLD сигналами при разрядении потенциала действия. Таким образом, BOLD сигнал является более надежным индексом синаптической активности в мозге, чем измерения потенциала действия. На основании этих исследований BOLD сигнал используется для локализации функций.