

Методы исследования структуры и функционального состояния головного мозга

Гужов В.И., Винокуров А.А.

Аннотация: В статье описываются методы исследования структуры и функционального состояния головного мозга.

Ключевые слова: головной мозг, эхоэнцефалография, рентгеновская компьютерная томография, ЯМР томография, электроэнцефалография, магнитоэнцефалография, окулография, электромиография.

1. ВВЕДЕНИЕ

Функциональное состояние — фоновая активность центральной нервной системы, в условиях которой проявляются те или другие поведенческие акты человека. Является общей, интегральной характеристикой работы мозга, обозначающей общее состояние множества его структур.

Функциональное состояние зависит от особенностей характера выполняемой деятельности; значимости мотивов, побуждающих к выполнению конкретной деятельности; величины сенсорной нагрузки, которая может достигать высоких значений или резко падать в условиях сенсорной депривации; исходного уровня активности нервной системы; индивидуальных особенностей нервной системы; воздействий, выходящих за рамки естественной среды обитания организма. [1]

В настоящее время существуют методы исследований структуры и функционального состояния головного мозга, основанных на использовании следующих физических явлений:

- Ультразвук. Первый опыт в 1955 году. [2]
- Рентген-лучи. Первый опыт в 1895 году. [3]
- Рентгеновская компьютерная томография. Первое исследование в 1972 году. [4]
- Ангиография. Первое исследование в 1929 году. [5]
- Ядерно-магнитный резонанс. Первый опыт на человеческом теле в 1980 году. [6]
- Позитронная эмиссия. Первый работающий прототип появился в 1952 году. [7]

- Электроэнцефалография. Первая запись ЭЭГ проведена в 1928 году. [8]
- Магнитоэнцефалография. Первый работающий прибор в 1983 году. [9]
- Окулография. В 1955 году происходят активные исследования. [10]
- Электромиография. Впервые запись произведена в 1907 году. [11]

Целью данной статьи является обзор известных методов диагностики функционального состояния и исследования структуры головного мозга.

2. УЛЬТРАЗВУК

Ультразвуковая диагностика - распознавание патологических изменений органов и тканей организма при помощи ультразвука. Ультразвуковая диагностика основана по принципу эхолокации — приёме сигналов посланных, а затем отраженных от поверхностей раздела тканевых сред, обладающих различными акустическими свойствами. [12]

Существуют одномерный (А- и М-методы) и двухмерный (В-метод) методы анализа структур. Эти методы зависят от излучателя, а также характера обработки отраженных сигналов. Одномерный метод регистрирует отраженные эхосигналы на экране в виде пиков кривой. Двухмерный метод реализуется по средствам формирования изображения из отдельных взятых точек в процессе сканирования движущимся ультразвуковым излучателем (Рис. 1). Каждая точка принимается датчиком в виде отраженного эхосигнала. Место точки определяется глубиной расположения отражающей сигнал структуры. Экраны подобных приборов устроены по принципу «серой шкалы», яркость точек зависит от интенсивности отраженного эхосигнала, т.е. от акустического сопротивления тканей данного участка. Ультразвук хорошо распространяется в упругих средах и отражается на границе различных слоёв. Чем больше акустическое сопротивление выбранной ткани, тем сильнее она отражает ультразвук, тем светлее выбранный участок отражается на сканограмме.

Главный элемент в ультразвуковом приборе

это преобразователь, преобразующий электрический сигнал в звук высокой частоты при помощи пьезоэлектрического сигнала (0,5 – 15 МГц). Этот же кристалл используется для приёма эхосигналов и преобразует их в электрические сигналы.

Для обследования головного мозга данным методом применяются следующие названия: УЗИ головного мозга, эхоэнцефалография, ультрасонография, ультразвуковое исследование головного мозга в «В-режиме».



Рис. 1. Ультразвуковое исследование головного мозга

3. РЕНТГЕН-ЛУЧИ

Рентгеновское излучение - это электромагнитные волны, энергия фотонов которых лежит от 100 эВ до 250 кэВ, что соответствует излучению с длиной волны от 0,005 до 10 нм и частотой $3 \cdot 10^{16}$ до $6 \cdot 10^{19}$ Гц. Длинноволновое рентгеновское излучение перекрывается коротковолновым ультрафиолетовым, коротковолновое - длинноволновым гамма-излучением [13].

Рентгенологический метод – это способ исследования структуры и функциональности различных органов и систем, основанный на количественном и/или качественном анализе пучка рентгеновского излучения, который проходит сквозь тело человека. Возникшее на аноде рентгеновской трубки рентгеновское излучение направляют на больного, в теле которого оно частично поглощается и рассеивается, а частично проходит через тело. Затем рентгеновское излучение попадает на датчик, чувствительный к рентген-лучам, и преобразователь перестраивает изображение с датчика в видимый световой образ, воспринимаемый врачом.

Рентгеновская компьютерная томография (КТ) – метод послойного исследования внутренней структуры объекта, основанный на

измерении и компьютерной обработке разности ослабления рентгеновского излучения различными по плотности тканями.

Рентген-лучи компьютерного томографа проходят под различными углами через тело пациента, попадают на датчики, данные с которых обрабатываются компьютером, позволяя получать изображения в виде срезов и/или объёмной реконструкции. Методом КТ можно различать ткани отличающиеся по плотности на 0,5% друг от друга. Поэтому при помощи КТ можно получать примерно в 1000 раз больше информации, чем при обычном рентгеновском снимке (Рис. 2).

КТ головы – это метод неразрушающей визуализации головного мозга, внутречерепных пространств, костей и мягких тканей. При помощи современных приборов можно получать четкое изображение головного мозга, костей черепа, зоны сочленения черепа с шейными позвонками, придаточных пазух носа, внутреннего уха, челюстей и зубов. Также КТ позволяет получить информацию при сосудистых заболеваниях, травматических повреждениях, опухолях мозга, пороках развития, абсцессах и других заболеваниях головного мозга. Информативность метода свидетельствуются многочисленными примерами.



Рис. 2. Рентген КТ головного мозга

КТ-ангиография позволяет получить послойную серию изображений кровеносных сосудов, на основе которых посредством компьютерной постобработки с объёмной реконструкцией строится трёхмерная модель кровеносной системы (Рис. 3). Спиральная КТ-ангиография - одно из последних достижений рентгеновской

компьютерной томографии. Исследование проходит в амбулаторных условиях. В локтевую вену вводится йодсодержащий контрастный препарат в объеме ~100 мл. В момент введения контрастного вещества проводят серию сканирований исследуемого участка.



Рис. 3. Ангиография сосудов головного мозга

4. ЯДЕРНО-МАГНИТНЫЙ РЕЗОНАНС

Ядерно-магнитный резонанс - это физическое явление, заключающееся в способности ядер некоторых химических элементов (с полуцелым спином), помещенных в постоянное магнитное поле, поглощать

энергию электромагнитных волн (радиоволн) на определенной резонансной частоте. МРТ (магнитно-резонансная томография) - метод получения послойного изображения органов и тканей организма с помощью феномена ядерно-магнитного резонанса (ЯМР) [14].

МРТ строится по принципу переизлучения

радиоволн ядрами водорода (протонами), содержащимися в тканях тела, сразу же после получения ими энергии от радиоволнового сигнала, облучающего пациента. То есть, контрастность тканей отражает особенности «внутренних», ядерных структур вещества, и она зависит от ряда таких факторов, как строение вещества, взаимодействие между молекулами, молекулярное движение (диффузия, кровоток), и это позволяет не только дифференцировать на изображении

патологические и здоровые ткани, но и дает возможность наблюдать отражение функциональной деятельности отдельных структур. Выбирая вид облучающего радиоволнового сигнала или импульсной последовательности, можно выделить влияние на тканевую контрастность одного какого-нибудь параметра, и одна и та же ткань на одной МРТ может получиться светлой, а на другой – темной (Рис. 4).

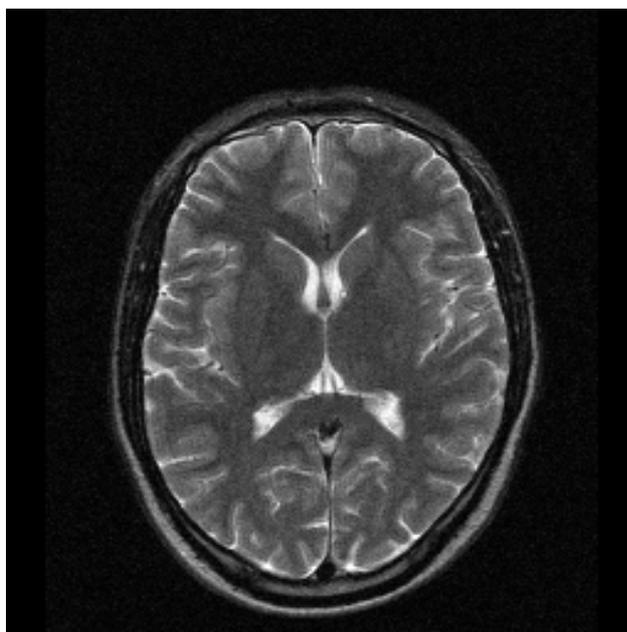


Рис. 4. ЯМР томография головного мозга

5. ПОЗИТРОННАЯ ЭМИССИЯ

Позитроны (β^+) - положительно заряженные электроны. Их излучение происходит из ядра некоторых нестабильных радиоизотопов, которые имеют избыточное число протонов и несут положительный заряд.

Ядро в позитронной эмиссии стабилизируется за счет устранения положительного заряда путем превращения протона в нейтрон. За счет этого, один элемент переходит в другой, атомное число последнего на единицу меньше, чем у исходного. Для изотопов, которые используются при позитронно-эмиссионной томографии, элемент, образующий в результате позитронного распада является стабильным (не радиоактивным).

Позитрон соединяется с электроном близлежащего атома, образуя при этом атом позитрония. При распаде атома позитрония электрон и позитрон аннигилируют, преобразуя свою массу два гамма-кванта с энергией 511 КэВ направленных почти на 180 градусов друг от друга. Данные фотоны легко выходят за пределы тела в котором находятся и могут

регистрироваться внешними детекторами. Возникающие в результате раздробления позитрония регистрируемые противоположно направленные гамма-лучи называются линией совпадения. [15]

Этот эффект применяется в позитронно-эмиссионной томографии (ПЭТ).

В таком исследовании позитрон-эмитирующий радиоизотоп вводится пациенту внутривенно или путем ингаляции. После этого, изотоп циркулирует в кровяном русле и достигает, например, сердечной мышцы или ткани головного мозга. После того как происходит аннигиляция, томограф регистрирует локализацию изотопа и вычисляет его концентрацию. Линия, возникающая после аннигиляции, отображает эмиссию двух гамма-лучей, с энергией 511 кэВ направленных приблизительно на 180 градусов друг по отношению к другу. Принцип работы такого томографа заключается в том, чтобы регистрировать эти лучи, означающие, что позитронная аннигиляция произошла где-то на данной линии совпадения (Рис. 5).

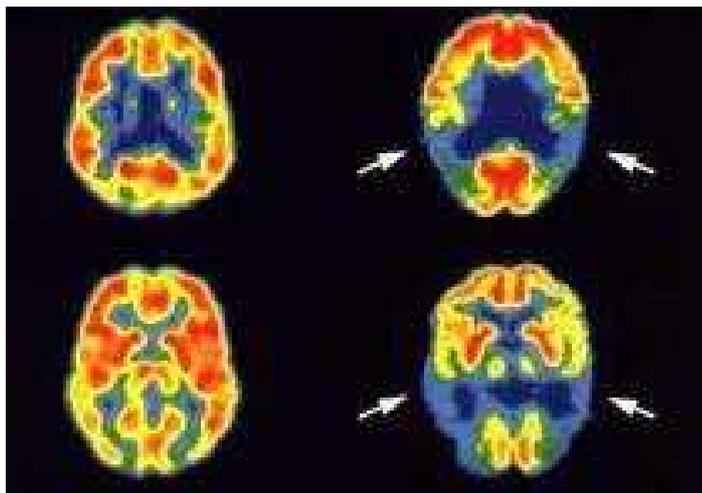


Рис. 5. ПЭТ головного мозга

6. ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАФИЯ

Электроэнцефалография (ЭЭГ) - метод исследования деятельности головного мозга животных и человека; основан на суммарной регистрации биоэлектрической активности отдельных зон, областей, долей мозга [16].

Электроэнцефалограмма – сложный сигнал в виде кривой, состоящей из колебаний различных частот и амплитуд. Частоты ЭЭГ обозначаются греческими буквами (Рис. 6).

Альфа-активность представляет собой синусоидальные колебания частотой 8-13 Гц и амплитудой 40-100 мкВ. Выявляется при проведении электроэнцефалограммы в состоянии пассивного бодрствования. Альфа-активность зрелого мозга обычно располагается преимущественно в затылочных областях.

Бета-активность представляет собой синусоидальные колебания частотой 14-40 Гц и амплитудой до 15-20 мкВ. Выявляется в большей степени в передних отделах головного мозга во время активного бодрствования. В структуре бета-активности выделяют низкочастотную (с частотой до 22-24 Гц) и высокочастотную (с частотой более 22-24 Гц) активность. Некоторые авторы в структуру бета-активности включают гамма-активность, или высокочастотную бета-активность с частотой 40-70 Гц и амплитудой до 5-7 мкВ.

Дельта-активность – медленно-волновая активность частотой 1-3 Гц различной амплитуды, наиболее заметная во время сна. Появление активности на ЭЭГ в другие промежутки времени говорит о снижении уровня функциональной активности коры и всего мозга в целом.

Тета-активность – медленно-волновая активность частотой 4-7 Гц различной амплитуды, особенно проявляется при эмоциональном возбуждении и во время сна. Появление активности на ЭЭГ в другие промежутки времени свидетельствует о снижении уровня функциональной активности коры и всего мозга в целом.

Мю-активность выявляется в центральных областях головного мозга с преобладанием в области роландической борозды. По частоте и амплитуде совпадает с альфа-активностью, но имеет характерную аркоподобную форму.

Электроды для ЭЭГ бывают нескольких разновидностей:

Чашечковые - применяются для обследования детей, больных с нарушениями сознания, при долговременных записях и исследовании ЭЭГ сна. Изготовлены в виде диска с приподнятыми краями, которые прикрепляются к покровам головы при помощи специальной шапочки;

Мостовые - применяются при обследовании пациентов, способных определенное время быть в состоянии сидя или полулежа и выполнять команды нейрофизиолога;

Игольчатые - применяются во время хирургических операций для оценки состояния нервной системы и глубины наркоза. Вкальваются непосредственно в покровы головы пациента. При нейрохирургических операциях на головном мозге электроды устанавливаются непосредственно в мозговую ткань. На выходе получают графическое изображение колебаний разности биоэлектрических потенциалов живого мозга.

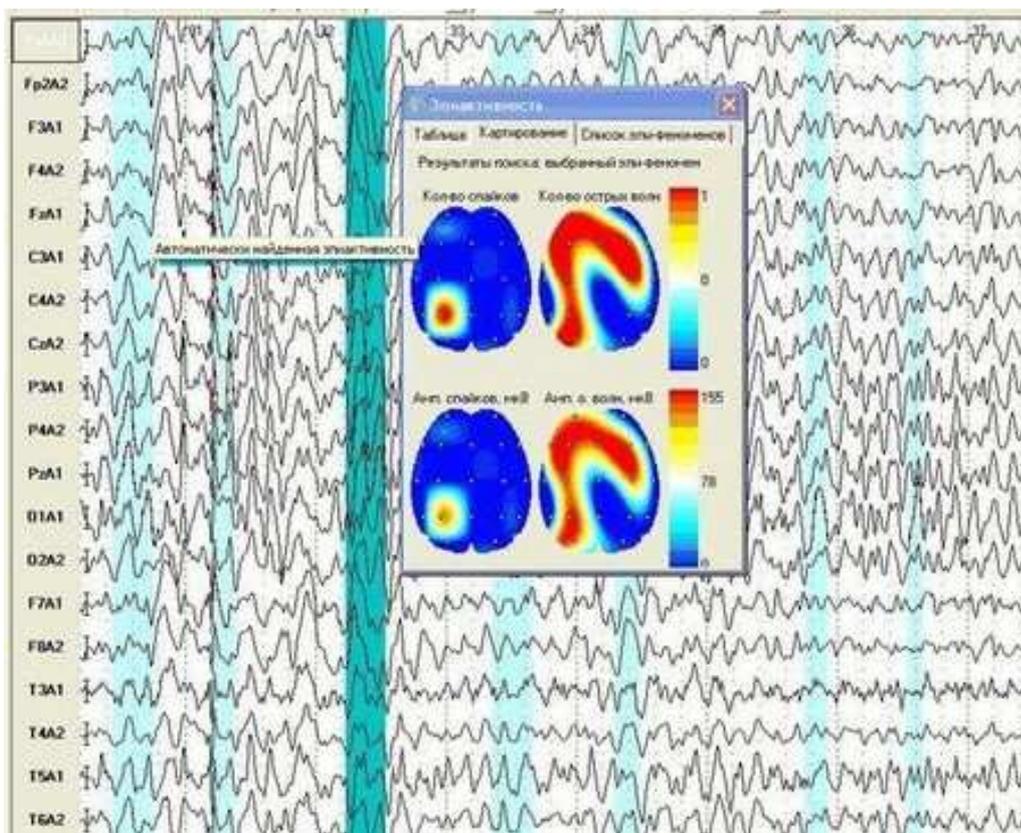


Рис. 6. ЭЭГ головного мозга

7. МАГНИТОЭНЦЕФАЛОГРАФИЯ

Магнитоэнцефалография (МЭГ) — метод, позволяющий измерять и визуализировать магнитные поля, возникающие вследствие электрической активности мозга. Для измерения полей используются высокоточные сверхпроводниковые квантовые интерферометры, или СКВИД-датчики. МЭГ применяется в исследованиях деятельности мозга и в медицине.

Временное разрешение порядка 1 мс, пространственное – до 5 мм [17].

Действие МЭГ основано на том, что любая активность головного мозга сопровождается слабым электрическим током - переносом заряженных частиц (ионов) через мембраны клеток. Магнитное поле, создаваемое этим током, улавливается сенсорами аппарата МЭГ. На основании силы и направления магнитного поля мозга можно определить местонахождение электрического тока, который создал это магнитное поле.

В аппарате МЭГ используются два основных типа сенсоров: магнетометры, измеряющие силу и направление магнитного поля в данной точке, и градиометры, измеряющие разницу между магнитным полем в двух разных точках.

В настоящее время применяются аппараты МЭГ с большим (256-304) количеством сенсоров. Каждому сенсору соответствует канал, в котором сигнал усиливается и анализируется в виде зависимости амплитуды (силы) магнитного поля от времени. На основании показаний большого количества измерений становится возможным рассчитать локализацию мозговой активности (Рис. 7).

Электрические токи головного мозга достаточно слабы. И для того, чтобы их обнаружить, необходимо придать сенсорам свойство сверхпроводимости. Это достигается при помощи охлаждения сенсоров жидким гелием до температуры, близкой к абсолютному нулю.

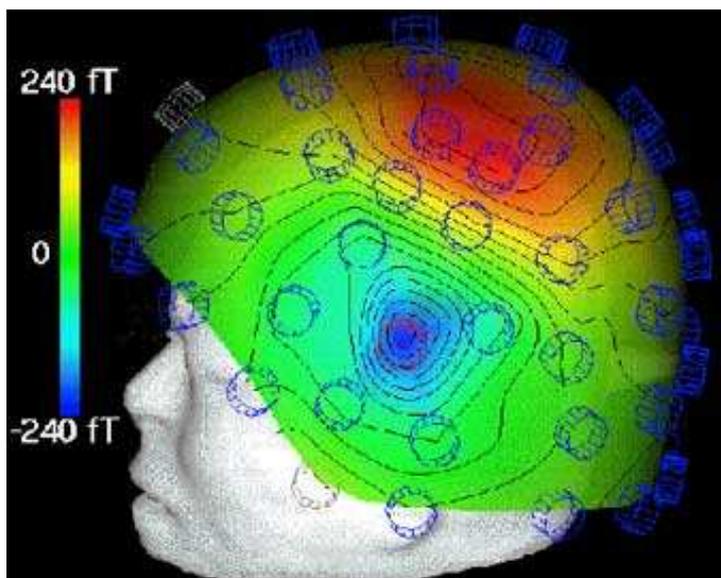


Рис. 7. Магнитоэнцефалография

8. ОКУЛОГРАФИЯ

Движения глаз являются важным показателем в деятельности мозга. Регистрация движений глаз называется окулографией.

С одной стороны, окулографический показатель необходим для выявления артефактов от движений глаз в ЭЭГ, с другой стороны, этот показатель выступает и как самостоятельный предмет исследования, и как составляющая при изучении субъекта в деятельности. Амплитуду движения глаз определяют в угловых градусах. Существует восемь основных видов движений глаз. Три движения — тремор (мелкие, частые колебания амплитудой 20–40 угловых секунд), дрейф (медленное, плавное перемещение глаз, прерываемое микроскачками) и микросаккады (быстрые движения продолжительностью 10–20 мс и амплитудой 2–5 угловых минут) относят к микродвижениям, направленным на сохранение местоположения глаз в орбите [18].

Электроокулография – это наиболее распространенный метод регистрации движений глаз. В сравнении с другими окулографическими методами, такими, как фотооптический, фотоэлектрический и электромагнитный, электроокулография исключает контакт с глазным яблоком, может проводиться при любом освещении и тем самым не нарушает естественных условий зрительной активности. В основе метода электроокулографии лежит дипольное свойство глазного яблока – его роговица имеет положительный заряд относительно сетчатки. Электрическая и оптическая оси глазного яблока практически совпадают, и поэтому электроокулограмма

(ЭОГ) может служить показателем направления взора. При движении глаза угол его электрической оси изменяется, что приводит к изменению потенциалов, наводимых диполем глазного яблока на окружающие ткани. Именно эти потенциалы регистрируются электроокулографическим методом.

Две пары неполяризующихся отводящих электродов с электропроводной пастой накладывают на обезжиренные участки кожи в следующих точках:

- а) около височных углов обеих глазных щелей – для регистрации горизонтальной составляющей движений;
- б) посередине верхнего и нижнего края глазной впадины одного из глаз – для регистрации вертикальной составляющей движений.

Движения глаз, особенно вертикальные, а также моргания вызывают выраженные артефакты в ЭЭГ, поэтому регистрация ЭЭГ без регистрации ЭОГ считается недопустимой ошибкой.

9. ЭЛЕКТРОМИОГРАФИЯ

Электромиография – это регистрация суммарных колебаний потенциалов, возникающих как компонент процесса возбуждения в области нервномышечных соединений и мышечных волокнах при поступлении к ним импульсов от мотонейронов спинного или продолговатого мозга. В настоящее время применяются различные варианты подкожных (игольчатых) и накожных (поверхностных) электродов. Последние в силу их атравматичности и легкости наложения имеют более широкое применение. [19]

Обычно используют биполярное отведение,

помещая один электрод на участке кожи над серединой («двигательной точкой») мышцы, а второй – на 1–2 см дистальнее. При монополярном отведении один электрод помещают над «двигательной точкой» исследуемой мышцы, второй – над ее сухожилием или на какой-либо отдаленной точке (на мочке уха, на груди и т.д.). Требования, предъявляемые к электродам и к их наложению, такие же, как и при наложении электроэнцефалографических или электроокулографических электродов.

Во время покоя скелетная мускулатура всегда находится в состоянии легкого тонического напряжения, что отражается на электромиограмме (ЭМГ) в виде низкоамплитудных (5–30 мкВ) колебаний частотой 100 Гц и более. Даже при локальном отведении электроактивности от расслабленной мышцы полное отсутствие колебаний потенциала в отдельной двигательной единице (мышечном волокне) отсутствует; как правило наблюдаются колебания частотой 6–10 Гц. При готовности к движению, мысленному его выполнению, при эмоциональном напряжении и других подобных случаях, то есть в ситуациях, не сопровождающихся внешне наблюдаемыми движениями, тоническая ЭМГ возрастает как по амплитуде, так и по частоте. Например, чтение «про себя» сопровождается увеличением ЭМГ активности мышц нижней губы, причем, чем сложнее или бессмысленнее текст, тем более выражено ЭМГ. При мысленном письме у правшей сильнее проявляется мышечная активность поверхностных сгибателей правой руки, выявляемых на ЭМГ.

10. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современные методы исследования структуры и функционального состояния головного мозга в настоящее время достаточно хорошо развиты и позволяют глубоко оценить патологии в структуре и функциональном состоянии мозга. Огромное внимание к этой области исследований свидетельствует о важности проблемы. Для полноценной оценки функционального состояния мозга необходимо комплексное использование существующих методов.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Краткий психологический словарь. — Ростов-на-Дону: «ФЕНИКС». Л.А.Карпенко, А.В.Петровский, М. Г. Ярошевский. 1998.
- [2] История появления УЗИ в медицине: [Электронный ресурс] // УЗИст. URL: <http://www.uzist.ru/istoriya-uzi/istoriya-uzi.html>

- [3] Рентгенография: [Электронный ресурс] // Википедия. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Рентгенография>
- [4] История компьютерной томографии: [Электронный ресурс] // Central Laboratory diagnosis of head. URL: <http://tomograf.ua/stati/istoriya-kompyuternojj-tomografii.html>
- [5] Ангиография – исследование кровеносных сосудов: [Электронный ресурс] // News Tiensmed. URL: <http://www.tiensmed.ru/news/angiografiya1.html#nov3>
- [6] Клиническое применение позитронно-эмиссионной томографии [Электронный ресурс] // 5rik.ru. URL: <http://www.5rik.ru/better/article-218211.htm>
- [7] Клиническое применение позитронно-эмиссионной томографии [Электронный ресурс] // 5rik.ru. URL: <http://www.5rik.ru/better/article-218211.htm>
- [8] Электроэнцефалография: [Электронный ресурс] // Википедия. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Электроэнцефалография>
- [9] МЭГ – метод регистрации и визуализации магнитных полей, возникающих вследствие электрической активности мозга: [Электронный ресурс] // Ответы на экзаменационные билеты. URL: <http://psymsuotvety.jimdo.com/психофизиология/13-метод-магнитоэнцефалографии-мэг-история-и-основные-принципы-метода-особенности-регистрации-достоинства-и-недостатки-данного-метода-исследования/>
- [10] Электроокулография: [Электронный ресурс] // Творческая лаборатория психологического развития семьи и личности. URL: <http://lab-stereotipov.ru/pages/articles-n/elektrokylografiya.shtml>
- [11] Электромиография: [Электронный ресурс] // Медицинский портал для врачей и студентов. URL: http://doctorspb.ru/articles.php?article_id=787
- [12] Медицинская и биологическая физика: учебник / А. Н. Ремизов. - 4-е изд., испр. и перераб. - 2012. - 648 с.
- [13] Позитронно эмиссионная томография: [Электронный ресурс] // Большая психологическая энциклопедия. URL: <http://profbeckman.narod.ru/MED5.htm>
- [14] Большая советская энциклопедия. — М.: Советская энциклопедия 1969—1978.
- [15] Окулография: [Электронный ресурс] // PSYERA гуманитарно-правовой портал III. URL: <http://psyera.ru/okulografiya-347.htm>
- [16] Основы психофизиологии: Учебник / Отв. ред. Ю.И. Александров. – М.: ИНФРА-М, 1997. – 349 с.



Владимир Иванович Гужов - профессор кафедры систем сбора и обработки данных НГТУ, профессор, доктор технических наук. Он является автором более 160 научных работ. Область научных интересов: программные системы, высокоточные измерения.
E-mail: vig@nstu.edu.ru



Андрей Алексеевич Винокуров – аспирант кафедры систем сбора и обработки данных НГТУ.
E-mail: awin56rus@gmail.com

Methods for Studying of the Structure and the Functional State of the Brain

V.I. GUZHOV and A.A. VINOKUROV

Abstract: This paper describes the methods of investigation of the structure and the functional state of the brain.

Keywords: brain, echoencephalography, X-ray computed tomography, nuclear magnetic resonance imaging, electroencephalography, magnetoencephalography, oculography, electromyography.