

УДК 612.822.3+612.825.5

**ОСОБЕННОСТИ СВЯЗЕЙ АКТИВНОСТИ НЕЙРОНОВ
АМИНЕРГИЧЕСКИХ СТРУКТУР СТВОЛА ГОЛОВНОГО МОЗГА
ЖИВОТНОГО СО СПЕКТРАЛЬНОЙ МОЩНОСТЬЮ РИТМОВ ЭЭГ,
ОТВЕДЕННОЙ В СИММЕТРИЧНЫХ ОТВЕДЕНИЯХ ДВУХ ПОЛУШАРИЙ**

Куличенко А.М.

*Таврический национальный университет имени В.И. Вернадского, Симферополь, Украина
E-mail: alexander.kulichenko@gmail.com*

В хронических опытах исследовали различия в связях активности нейронов аминергических структур ствола головного мозга со спектральной мощностью (СМ) частотных компонентов электроэнцефалограммы (ЭЭГ) бодрствующей кошки, отведенной в симметричных локусах. Выявленные различия указывают на возможность оценки участия нейрохимических систем мозга в формировании межполушарной асимметрии ЭЭГ. Обсуждаются возможные механизмы наблюдаемых особенностей связей активности нейронов аминергических структур ствола головного мозга кошки со спектральной мощностью (СМ) частотных компонентов электроэнцефалограммы.

Ключевые слова: корреляции, межполушарная асимметрия, ЭЭГ.

ВВЕДЕНИЕ

Существование закономерной связи между асимметрией электрофизиологических показателей и функциональным состоянием головного мозга отмечают многие авторы [1-3]. Однако механизмы межполушарной асимметрии (МПА) ЭЭГ изучены недостаточно. Как на предполагаемый источник формирования функциональной асимметрии указывают на биохимическую асимметрию мозга [4, 5, 6]. Суть этого явления в том, что анатомически симметричные участки мозга по химическому составу отличны друг от друга [7] прежде всего, количественно. Например, в мозге обнаружено разное распределение по полушариям катехоламинов и нейромедиаторов [8]. Считается, также, что МПА может быть связана с асимметричным выделением нейромедиаторов в коре полушарий. Поэтому важным аспектом изучения нейрофизиологических механизмов обеспечения МПА является уточнение характера участия глубинных аминергических систем в формировании этого фундаментального свойства ЦНС. Исследования связи активности нейромодуляторных систем мозга с характеристиками ЭЭГ, могут расширить круг задач эффективного использования данного метода в диагностике заболеваний, связанных с нарушениями их функционирования.

Причины преимущественной активации правого или левого полушария достаточно сложны. По гипотезе Доброхотовой и Брагиной (1977) [9], в настоящее

время поддержанной и другими авторами, левое и правое полушария асимметрично связаны с различными подкорковыми центрами. Одним из подходов к изучению этой проблемы является анализ особенностей отражения в частотном спектре ЭЭГ активности аминергических структур ствола головного мозга. Ранее в рамках единого методического подхода было проведено изучение участия аминергических структур ствола головного мозга в формировании частотного состава ЭЭГ [10, 11, 12]. Однако анализ различий в связях активности нейронов аминергических структур ствола головного мозга кошки со спектральной мощностью (СМ) частотных компонентов электроэнцефалограммы (ЭЭГ) бодрствующей кошки, отведенной в симметричных отведениях двух полушарий не проводился. Актуальность исследования взаимодействия различных нейромедиаторных систем определяется не только задачами, связанными с пониманием механизмов деятельности мозга, но и необходимостью разработки фармакологических средств коррекции разного рода нейропатологий.

Цель работы заключалась в доказательстве участия медиаторных систем в формировании межполушарной асимметрии и исследовании особенностей отражения в частотном составе ЭЭГ взаимодействия между этими системами.

Для решения поставленной цели нами выдвинуты следующие задачи: провести анализ связей спектральной мощности (СМ) ритмов ЭЭГ симметричных областей коры больших полушарий с активностью аминергических нейронов ствола головного мозга животных.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Все эксперименты выполнялись в соответствии с Европейской конвенцией о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях (ETS N 123 от 18 марта 1986 г.).

Динамику пространственно-временной организации электрической активности полушарий мозга животных в условиях сеансов ЭЭГ-ОС изучали на 7-и кошках обоего пола массой 2,5–4,0 кг.

Перед каждой серией опытов животных обучали спокойно сидеть в течение длительного времени в специальном фиксирующем гамаке, расположенном в звукоизолированной камере. Животных предварительно оперировали под наркозом (нембутал 40 мг/кг, внутривенно). Все оперативные действия проводили с соблюдением принципов асептики и антисептики. Сквозь трепанационное отверстие (диаметр 2.5 мм) в соответствии с координатами атласа Ф. Рейнозо-Суареца [13] в мозг животных вводили направляющую канюлю из нержавеющей стали, через которую в дальнейшем выдвигался микроэлектрод. Кончик направляющей канюли в зависимости от задачи исследования располагался в 3–5 мм от одной из трех исследуемых структур ствола головного мозга: вентрального тегмента, А10 (ВТ, 3 животных), голубого пятна, А6 (ГП, 2 кошки) или дорзального ядра шва, В7 (ЯШ, 2 кошки). Данное расстояние от расчетной точки цели выбиралось с целью минимизации повреждений структур-мишеней.

Активные электроды располагали на костях черепа над правой и левой височными областями коры. Референтный электрод располагался в лобной пазухе. После размещения ЭЭГ-электродов поверхность черепа заливали акрилоксидом.

Во время каждого опыта параллельную регистрацию импульсной активности аминергических нейронов с отведением ЭЭГ у бодрствующих кошек проводили в условиях, приближенных к свободному поведению (в состоянии двигательного покоя). Для внеклеточной регистрации импульсной активности нейронов использовали подвижный электрод из серебряного микропровода (диаметр 12 мкм) в стеклянной изоляции (общая толщина 70 мкм).

Потенциалы действия нейронов поступали на вход предварительного усилителя. Затем сигналы фильтровались и усиливались с помощью установки УФУ-БК (производства ЭПМ НИИЭМ РАМН, Санкт-Петербург).

Полоса пропускания тракта импульсной активности нейронов и ЭЭГ составляла 10-10000 Гц. Сигнал поступал на вход звуковой карты компьютера (частота оцифровки до 4 Гц) и параллельно на монитор для визуального контроля.

ЭЭГ отводили монополярно с помощью электроэнцефалографа “Bioscrypt BST-112” (Германия), сигнал от которого через лабораторный интерфейс SDI-ADC16-16 (выполнен на базе сдвоенного трехканального 10-разрядного аналого-цифрового преобразователя со временем оцифровки 30 мкс (“Saturn Data International”, Украина) поступал на вход IBM PC. Частота оцифровки суммарной электрической активности неокортекса составляла 200 Гц.

Указанная методика позволяла проводить записи нейронной активности и ЭЭГ у каждого животного в течение 1–2 мес. Данные эксперимента обрабатывались off-line с помощью компьютерной программы “EEG Mapping 3”, разработанной Е.М. Зинченко. Для обработки выбирали безартефактные записи длительностью 60 с. В процессе обработки запись ЭЭГ, разбивалась на 30 эпох величиной 2,0 с и подвергалась спектральному анализу на основе быстрого преобразования Фурье. Выделяли следующие частотные компоненты: 1–3, 4–7, 8–13, 14–30 и 31–48 Гц (дельта-, тета-, альфа-, бета- и гамма-ритмы соответственно), по которым рассчитывали их значения СМ.

Для расчета коэффициента корреляции (r) между показателями ФИА ДА-, НА-, и СТ- нейронов и спектральной мощностью ритмов ЭЭГ использовали коэффициент ранговой корреляции Спирмена. С целью выявления различий между процентами позитивных связей активности нейронов аминергических структур ствола головного мозга кошки со спектральной мощностью (СМ) частотных компонентов электроэнцефалограммы (ЭЭГ) бодрствующей кошки, отведенной в симметричных отведениях использовали односторонний Т-критерий Стьюдента для выборочных долей.

Статистическую обработку полученных данных проводили с использованием пакета программ Statistica 6.0.

Остальные подробности методики изложены в предыдущих работах [10–12].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе экспериментов была зарегистрирована активность 256 моноаминергических нейронов, 46 из которых на основании описанных выше критериев отнесли к дофаминергическим нейронам, 50 – к норадренергическим и 52 – к серотонинергическим.

Параллельно с отведением активности таких нейронов, потенциалы действия (ПД) которых были, как правило, трехфазными и длительными (не менее 2.5 мс), регистрировалась активность единиц с короткими (порядка 1 мс) двухфазными или практически однофазными ПД. Записи активности таких клеток не включались в исследованную группу предположительно моноаминергических нейронов.

Настоящее исследование проводилось с учетом следующего допущения. Мы предположили, что в условиях относительного покоя как левая так и правая части исследованных глубинных структур головного мозга (ВТ, ГП, ЯШ) имеют близкую активность. Присутствие различий в количестве значимых позитивных связей частоты их активности с показателями ЭЭГ, регистрируемой в симметричных локусах, может свидетельствовать об асимметричности влияния данных нейронных популяций.

Анализ связи частоты ФИА ДА-нейронов ВТ со СМ ритмов ЭЭГ, отведенной от ипсилатерального (слева) и контралатерального (справа) височных локусов позволил выявить преобладание позитивных статистически значимых корреляций со СМ альфа- и бета-ритмов ЭЭГ (рис. 1).

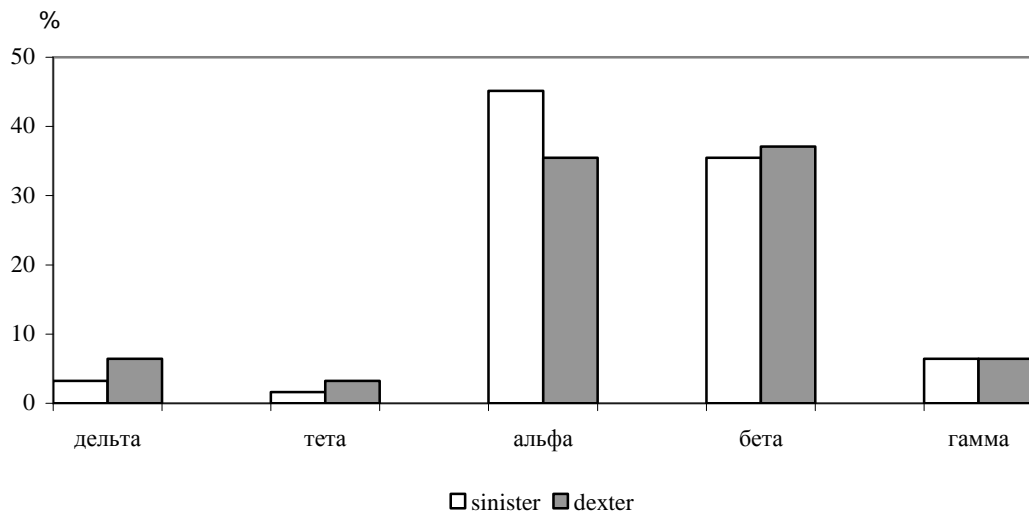


Рис. 1. Относительное количество исследованных дофаминергических нейронов (%), проявляющих достоверные положительные корреляционные связи со спектральной мощностью ритмов ЭЭГ, зарегистрированной в ипсилатеральном левом (sinister) и контралатеральном правом (dexter) отведениях.

Частота ФИА ДА-нейронов ВТ коррелировала в 45 % со СМ альфа-ритма, зарегистрированном в левом височном локусе и в 36 % – в правом. Корреляции частоты ФИА ДА-нейронов ВТ со СМ бета-ритма, зарегистрированного в височных отведениях были примерно одинаковы и составили 36 % в ипсилатеральном отведении и 37 % – в контралатеральном.

В результате анализа связи частоты ФИА НА-нейронов ГП со СМ ритмов ЭЭГ, отведенной от симметричных височных локусов выявлено преобладание положительных статистически значимых корреляций со СМ альфа- и дельта-ритмов ЭЭГ (рис. 2).

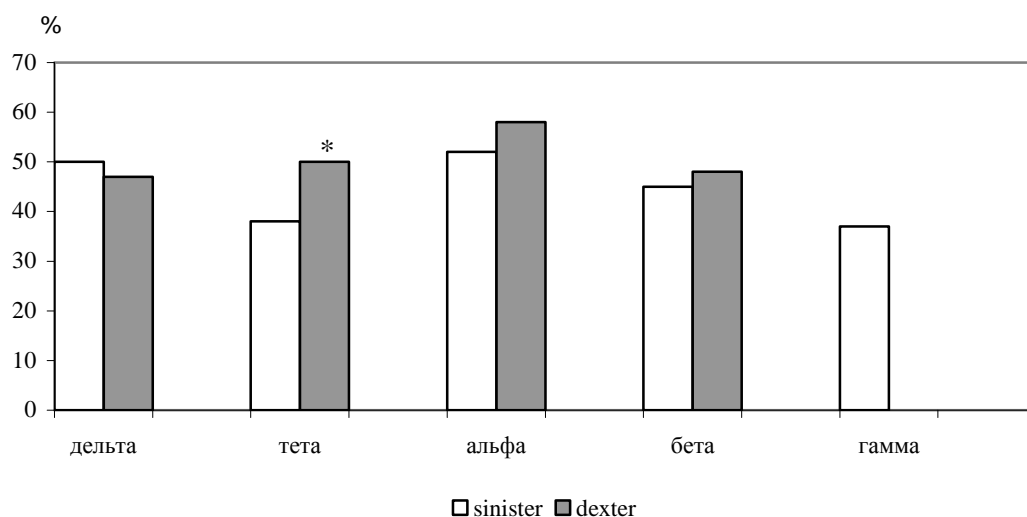


Рис. 2. Относительное количество исследованных норадренергических нейронов (%), проявляющих достоверные положительные корреляционные связи со спектральной мощностью ритмов ЭЭГ, зарегистрированной в ипсилатеральном левом (sinister) и контралатеральном правом (dexter) отведениях.

При этом, частота ФИА НА-нейронов ГП коррелировала в 38 % со СМ тета-ритма, зарегистрированном в левом височном локусе и в 50 % – в правом. Корреляции частоты ФИА НА-нейронов ВТ со СМ альфа-ритма, зарегистрированного в височных отведениях были примерно одинаковы и составили 53 % в ипсилатеральном отведении и 58 % – в контралатеральном.

Обращает внимание превалирование позитивных статистически значимых связей ФИА СТ-нейронов ЯШ со СМ бета-ритма ЭЭГ. Корреляции частоты ФИА СТ-нейронов ВТ со СМ бета-ритма, зарегистрированного в височных отведениях были примерно одинаковы и составили 48 % в левом височном локусе и 68 % – в правом. Не менее выраженными явились различия в количестве значимых связей частоты ФИА СТ-нейронов ЯШ со СМ альфа-ритма. Со СМ альфа-ритма, зарегистрированном в левом височном локусе частота ФИА коррелировала в 34 %, а в правом – в 53 % (рис. 3).

Сравнительный анализ позитивных корреляций частоты ФИА ДА-нейронов со СМ альфа-ритма ЭЭГ выявил их некоторое превалирование (на уровне тенденции) в левом височном отведении по сравнению с правым на 9,7 %. Данный факт можно объяснить тем, что нейронная активность отводилась от ипсилатерального ВТ, который ипсилатерально иннервирует неокортекс [14]. Кроме того, имеются данные о преобладании содержания дофамина в левом полушарии [15]. На левополушарную асимметрию содержания дофамина, также, указывали Springer и Deutsch [16].

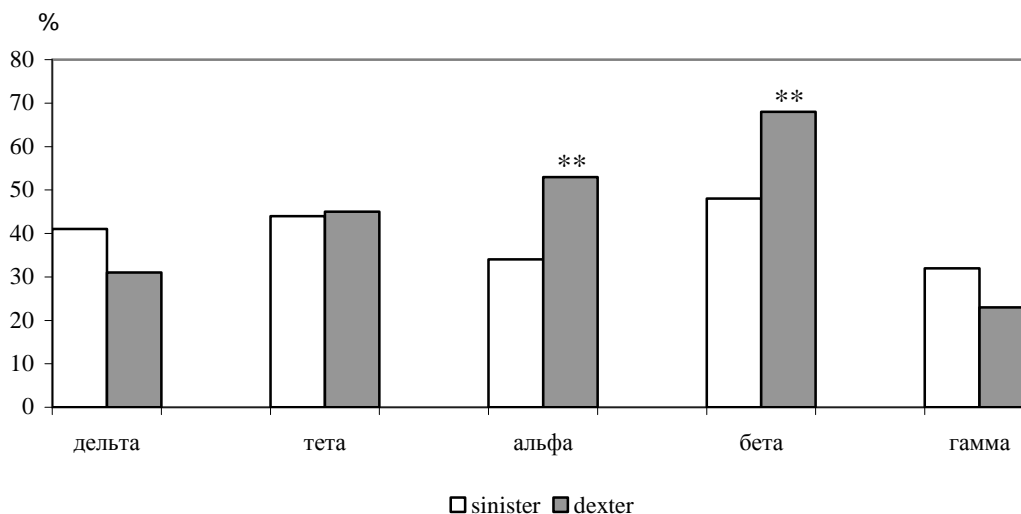


Рис. 3. Относительное количество исследованных серотонинергических нейронов (%), проявляющих достоверные положительные корреляционные связи со спектральной мощностью ритмов ЭЭГ, зарегистрированной в ипсилатеральном левом (sinister) и контралатеральном правом (dexter) отведениях.

Формированию более обширной нейрональной сети левого полушария может способствовать, по-видимому, доминирование в этом полушарии более широкого спектра основных нейромедиаторных путей – ацетилхолин-, дофамин- и ГАМКергических [17], включающих, возможно, глутаматергический (недавними исследованиями продемонстрирована левосторонняя латерализация соответствующей системы кортико-стриатного отдела мозга [18]).

Анализ позитивных корреляций частоты ФИА НА-нейронов со СМ тета-ритма ЭЭГ позволил выявить статистически значимое ($p < 0,05$) (односторонний Т-критерий Стьюдента) преобладание (на 12 %) связей в контралатеральном височном отведении. Данный эффект, по-видимому, объясняется спецификой мозговой активности животного, обусловленной состоянием спокойного бодрствования и согласуется со сведениями о преобладании в правом полушарии НА-путей [17].

Обращают на себя внимание значительное превалирование позитивных связей частоты ФИА СТ-нейронов со СМ альфа- и бета-ритмов ЭЭГ выявил их

статистически значимое ($p < 0,01$) (односторонний Т-критерий Стьюдента) превалирование в правом височном отведении по сравнению с левым на 19 и 20% соответственно. Данный результат согласуются с заключением авторов [19] о наличии связи активности правого полушария с модуляцией серотонинергической системы.

Следует напомнить, что условия проведения настоящего эксперимента предполагают относительно низкий уровень бодрствования животного. В работах Кураева Г.А. с соавторами [20], посвященных исследованию межполушарных отношений на разных уровнях цикла бодрствование–сон, говорится о повышении уровня межполушарной синхронизации при снижении уровня бодрствования. Согласно Г.Н. Болдыревой, сглаживание межполушарных различий биопотенциалов при снижении уровня бодрствования происходит за счет уменьшения в доминантной полушарии преобладающей сочетанности альфа- и бета-диапазонов [21]. В работах В.Ф. Фокина [22] по исследованию межполушарных характеристик ЭЭГ здоровых людей было установлено, что при отсутствии специфической стимуляции, стойкого доминирования полушарий сохраняющегося при смене функциональных состояний не выявлялось. Автор [22] обращает внимание на то, что при некоторых функциональных состояниях головного мозга выявляется статистически значимая функциональная межполушарная асимметрия при, при иных – нет. Данный факт объясняется тем, что динамика межполушарной асимметрии меняется лишь при значимых сдвигах функционального состояния, например, таких как переход от спокойного состояния к стрессу, при этом полушарное доминирование может снижаться вплоть до инверсии [1]. Анализ динамической асимметрии показывает, что этот феномен не может существовать без наличия подкорковой асимметрии. Впервые обратили на это внимание Доброхотова и Брагина (1977) [9], позже была создана схема, отражающая предполагаемую асимметрию связей ретикулярной формации ствола преимущественно с левым полушарием [23]. Эти представления позволяют объяснить многие свойства динамической асимметрии, но пока не подтверждены морфологически.

Структурно-функциональная организация ФМА является многоуровневой, причем основные блоки обладают различной стабильностью: от устойчивых корковых до более гибких, подкорковых, связанных с работой неспецифических, активирующих систем мозга и ВНС. Для этих неспецифических систем характерным является их динамический характер. Данные системы могут оказывать возбуждающее или тормозное влияние либо непосредственно на активность специализированных нейронов.

В свете полученных результатов и литературных данных можно сделать вывод, о том, что в условиях спокойного бодрствования обнаруживаются различные, характерные для каждой из изученных нами медиаторных систем особенности композиции функциональных взаимоотношений проекционных зон коры мозга. Обнаруженные особенности связей в ЭЭГ логично оценить как важные дополнительные характеристики системной деятельности мозга, которые могут

быть использованы для объективной оценки психоэмоционального напряжения и эффективности сеансов ЭЭГ-ОС.

В целом, можно сделать заключение, что электроэнцефалограмма предоставляет возможность неинвазивного (при экспериментах на человеке) исследования динамических аспектов взаимодействия нейромедиаторных систем и может служить адекватным и эффективным методом для оценки участия нейрхимических систем мозга в механизмах МПА.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Выявлены различия в связях активности нейронов аминергических структур ствола головного мозга кошки со спектральной мощностью (СМ) частотных компонентов электроэнцефалограммы.
2. Особенностью позитивных корреляций частоты ФИА НА-нейронов со СМ тета-ритма ЭЭГ является статистически значимое ($p < 0,05$) (односторонний Т-критерий Стьюдента) преобладание (на 12 %) связей в правом височном отведении.
3. Статистически значимое ($p < 0,01$) превалирование позитивных связей частоты ФИА СТ-нейронов со СМ альфа- и бета-ритмов ЭЭГ правого височного отведения по сравнению с левым на 19 и 20% соответственно.
4. Представленные данные показывают перспективность применения ЭЭГ-подхода для анализа участия нейромедиаторных систем мозга в механизмах межполушарной асимметрии.

Список литературы

1. Фокин В. Ф. Динамическая функциональная асимметрия как отражение функциональных состояний / В. Ф. Фокин // Асимметрия. – 2007. – Т. 1, №1. – С. 4-9.
2. Болдырева Г. Н. Межцентральные отношения ЭЭГ как отражение системной организации мозга человека в норме и патологии / Г. Н. Болдырева Л. А. Жаворонкова, Е. В. Шарова И. С. Добронравова // Журнал высшей нервной деятельности. – 2003. – Т. 53, №4. С. 391-401.
3. Леутин В. П. Психофизиологические механизмы адаптации и функциональная асимметрия мозга / В. П. Леутин, Е. И. Николаева. – Новосибирск, 1988. – 193 с.
4. Glick S. D. Lateral asymmetry of neurotransmitters in human brain / S. D. Glick, D. A. Ross, L. V. Hough // Brain Res. – 1982. – Vol. 234, No 1. – P. 53-63.
5. Cernáček J. Biochemical and electrophysiological correlations of functional asymmetry of the brain / J. Cernáček // Bratisl Lek Listy. – 1989. – Vol. 90, No 6. – P. 458-461.
6. Луценко В. К., Карганов М. Ю. Биохимическая асимметрия мозга / В. К. Луценко, М. Ю. Карганов // Биохимия. – 1985 – Т. 4, № 2. – С. 197-213.
7. Вартамян Г. А., Клементьев Б. И. Проблемы химической асимметрии мозга / Г. А. Вартамян, Б. И. Клементьев // Физиол. чел. – 1988. – Т. 14, № 2. – С. 297-313.
8. Брагина Н. Н., Доброхотова Т. А. Функциональные асимметрии человека / Н. Н. Брагина, Т. А. Доброхотова. – М.: Медицина, 1980. – 240 с.
9. Доброхотова Т. А. Функциональная асимметрия и психопатология очаговых поражений головного мозга / Т. А. Доброхотова, Н. Н. Брагина. – М.: Медицина, 1977. – 358 с.
10. Фокина Ю. О. Взаимосвязь активности дофаминергических нейронов вентрального тегмента с ритмами электроэнцефалограммы / Ю. О. Фокина, А. М. Куличенко, В. Б. Павленко // Ученые записки Таврического национального университета имени В.И. Вернадского. Серия: «Биология, химия» – 2006. – Т. 19 (58), № 4. – С. 195-200.

11. Куличенко А. М. Связь между активностью моноаминергических нейронов ствола мозга и спектральной мощностью ритмов ЭЭГ бодрствующей кошки / А. М. Куличенко, Ю. О. Дягилева (Фокина), О. И. Колотилова, В. Б. Павленко // Журнал высшей нервной деятельности. – 2013. – Т. 63, № 5. – С. 579-588.
12. Куличенко А. М. Изменения межцентральных связей в ЭЭГ животного при проведении сеансов обратной связи по схеме альфа/тета-протокола / А. М. Куличенко // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Серия «Биология, химия». – 2013. – Т. 26 (65), № 4. – С. 70-84.
13. Reinoso-Suarez F. Topographischer Hirnatlas der Katze (Für Experimental-physiologische Untersuchungen). Darmstadt. – 1961. – 74 p.
14. Porrino L. J. Brainstem innervation of prefrontal and anterior cingulate cortex in the rhesus monkey revealed by retrograde transport of HRP / L. J. Porrino, P. S. Goldman-Rakic // J. Comp. Neurol. – 1982. – Vol. 10 (205), No 1. – P. 63-76.
15. Flor-Henry P. Mood, the right hemisphere and the implications of spatial information perceiving systems / P. Flor-Henry // Research Communication Psychology, Psychiatry and Behavior. – 1983. – Vol. 8, No 2. – P. 143-170.
16. Vaskovsky V. E. Universal reagent for phospholipid analysis / V. E. Vaskovsky, E. V. Kostetsky, I. M. Vasendin // J. Chromatogr. – 1975. – Vol. 1. – P. 129-141.
17. Flor-Henry P. Observations, reflections and speculations on the cerebral determinants of mood and on the bilaterally asymmetrical distributions of the major neurotransmitter systems / P. Flor-Henry // Acta Neurol. Scand. Suppl. – 1986. – Vol. 109. – P. 75-89.
18. Capper-Loup C., Hemispheric lateralization of the corticostriatal glutamatergic system in the rat / C. Capper-Loup, D. Rebell, A. Kaelin-Lang // J. Neural. Transm. – 2009. – Vol. 116, No 9. – P. 1053-1057.
19. Симерницкая Э. Г. Нейропсихологический анализ межполушарной асимметрии / Э. Г. Симерницкая, Л. О. Бадоян. – М.: Наука, 1986. – 206 с.
20. Кураев Г. А. Межполушарные отношения на разных стадиях цикла бодрствование – сон человека / Кураев Г. А., Сунцова Н. В. // Физиология человека. – 1998. – Т4, №5. – С. 72-79.
21. Болдырева Г. Н. Межцентральные отношения ЭЭГ как отражение системной организации мозга человека в норме и патологии / Г. Н. Болдырева, Л. А. Жаворонкова, Е. В. Шарова, И. С. Добронравова // Журнал высшей нервной деятельности. – 2003. – Т. 53, №4. – С. 391-401.
22. Фокин В. Ф. Центрально-периферическая организация функциональной моторной асимметрии: Дис. д-ра биол. наук. М. 1982. – 460 с.
23. Жаворонкова Л. А. Правши – левши: межполушарная асимметрия биопотенциалов мозга человека / Л. А. Жаворонкова. – Краснодар: Экоинвест, 2009. – 240 с.

Куличенко О.М. Особливості зв'язків активності нейронів амінергічних структур стовбура головного мозку тварини з спектральної потужністю ритмів ЕЕГ, відведеної в симетричних відведеннях двох півкуль / О.М. Куличенко // Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського. Серія „Біологія, хімія”. – 2014. – Т. 27 (66), № 1. – С. 81-92.

У хронічних досліджах досліджували відмінності в зв'язках активності нейронів амінергічних структур стовбура головного мозку з спектральної потужністю (СП) частотних компонентів електроенцефалограми (ЕЕГ) бодрствующей кішки, відведеної в симетричних локусах. Виявлені відмінності вказують на можливість оцінки участі нейрохімічних систем мозку у формуванні міжпівкульної асиметрії ЕЕГ. Обговорюються можливі механізми спостережуваних особливостей зв'язків активності нейронів амінергічних структур стовбура головного мозку кішки з СП частотних компонентів ЕЕГ.

Ключові слова: кореляції, міжпівкульна асиметрія, ЕЕГ, дофамін, норадреналін, серотонін.

RELATION PECULIARITIES BETWEEN BRAIN STEM AMINERGIC NEURONAL ACTIVITY AND SPECTRAL POWER OF EEG RHYTHMS IN ANIMALS RECORDED SYMMETRICALLY IN BOTH HEMISPHERES

Kulichenko A.M.

*Tavrida National V.I. Vernadsky University, Simferopol, Crimea, Ukraine
E-mail: alexander.kulichenko@gmail.com*

Interhemispheric asymmetry (IHA) is thought to be connected with asymmetrical neurotransmitter releasing in brain cortex. That's why it is very important, in the context of studying the neurophysiological mechanisms underlying IHA, to specify the role of basic aminergic systems in forming this CNS fundamental property. Among other approaches there is one consisting in the analysis of how the activity of brain stem aminergic structures (namely, ventral tegmentum (VT), locus coeruleus (LC), and raphe nuclei (RN) containing dopaminergic (DA), noradrenergic (NA) and serotonergic (ST) neurons, respectively) could modulate the EEG rhythmical properties.

This work's goal was to prove the participation of aminergic systems in the formation of hemispheric asymmetry and discover the ways in which these processes could modify the EEG rhythmical activity. Our task was to analyze the correlation between spectral power (SP) of EEG rhythms in symmetrically located cortex areas and the activity level of DA, NA and ST neurons of brain stem in animals.

Each trial consisted of parallel recording of EEG and impulse activity of aminergic neurons in waking cats under conditions close to their normal behavior (resting state).

Our assumption was that under condition of relative rest both left and right deep brain aminergic structures would have nearly similar activity. While having different numbers of significant positive correlations between their activity frequency and EEG indices registered in symmetrical loci could be evidence of asymmetrical influence of these neuronal populations.

EEG spectral analysis was done for the following frequency bands: delta (1–3 Hz), theta (4–7 Hz), alpha (8–13 Hz), beta (14–30 Hz) and gamma (31–48 Hz). Current SP for each was calculated. To analyze statistical dependence between the variables we used Spearman's rank correlation coefficient.

Comparative analysis of positive correlations between DA background impulse activity (BIA) frequency and alpha SP showed their predominance for the left temporal lead on a trend level (9,7%). This phenomenon can be corroborated with the data of morphological studies showing DA predominance in left hemisphere.

Analysis of positive correlations for NA BIA frequency and EEG theta SP showed significant (one-tailed T-test, $p < 0,05$) predominance (12%) of dependencies for contralateral temporal lead. This effect is considered to be determined by the specifics of animal's brain activity in resting state and complies with the known fact of stronger NA-paths in right hemisphere.

Of interest is the essential prevalence of positive dependencies between ST BIA frequency and EEG alpha (19%) and beta (20%) SP in right temporal area compared to the left one (one-tailed T-test, $p < 0,01$). These results are in conformity with the known data that left

hemisphere activity is modulated by catecholaminergic system while right one – by ST-system.

The obtained results allow us to conclude that there exist different patterns of functional interrelations in cortical projection areas under condition of resting wakefulness for each neurotransmitter system we studied. The discovered peculiarities of EEG activity as it is connected with aminergic systems could be of help in determining important additional characteristics of brain system work useful for objective evaluation of psychoemotional strain and efficacy of EEG biofeedback sessions.

Keywords: correlations, cerebral electroencephalographic asymmetry, dopaminergic, noradrenergic, serotonergic.

References

1. Fokin V.F., Dinamicheskaya funktsionalnaya asimmetriya kak otrazhenie funktsionalnyih sostoyaniy, *Asimmetriya*, **1**, 1, 4 (2007).
2. Boldyireva G.N., Zhavoronkova L.A., Sharova E.V., Dobronravova I.S., Mezhsentralnyie otnosheniya EEG kak otrazhenie sistemnoy organizatsii mozga cheloveka v norme i patologii, *Zhurnal vysshey nervnoy deyatelnosti*, **53**, 4, 391 (2003).
3. Leutin V.P., Nikolaeva E.I., Psihofiziologicheskie mehanizmy adaptatsii i funktsionalnaya asimmetriya mozga (1988).
4. Glick SD, Ross DA, Hough LB., Lateral asymmetry of neurotransmitters in human brain, *Brain Res.*, **234**, 1, 53 (1982).
5. Cernáček J., Biochemical and electrophysiological correlations of functional asymmetry of the brain, *Bratisl. Lek. Listy*, **90**, 6, 458 (1989).
6. Lutsenko V.K., Karganov M.Yu., Biohimicheskaya asimmetriya mozga, *Biohimiya*, **4**, 2, 197 (1985).
7. Vartanyan G.A., Klementev B.I., Problemy himicheskoy asimmetrii mozga, *Fiziol. chel.*, **14**, 2, 97 (1988).
8. Bragina N.N., Dobrohotova T.A., Funktsionalnyie asimmetrii cheloveka (Meditsina, 1980).
9. Dobrohotova T.A., Bragina N.N., Funktsionalnaya asimmetriya i psihopatologiya ochagovyih porazheniy golovnoy mozga (Meditsina, 1977).
10. Fokina Yu.O., Kulichenko A.M., Pavlenko V.B., Vzaimosvyaz aktivnosti dofaminergicheskikh neyronov ventralnogo tegmentuma s ritmami elektroentsefalogrammy, *Scientific Notes of Taurida National V.I. Vernadsky University. Series: "Biology,chemistry"*, **19**, (58), 4, 195 (2006).
11. Kulichenko A.M., Dyagileva (Fokina) Yu.O., Kolotilova O.I., Pavlenko V.B., Correlation between brain stem aminergic neuronal activity and EEG patterns in a wakeful cat, *Zhurnal vysshey nervnoy deyatelnosti*, **63**, 5, 579 (2013).
12. Kulichenko A.M., EEG intercentral connections changes in animal during eeg biofeedback sessions under alpha/theta protocol, *Scientific Notes of Taurida National V.I. Vernadsky University. Series: "Biology,chemistry"*, **26** (65), 4, 70 (2013).
13. Reinoso-Suarez F. Topographischer Hirnatlas der Katze (Für Experimental-physiologische Untersuchungen) (1961).
14. Porrino L.J., Goldman-Rakic P.S., Brainstem innervation of prefrontal and anterior cingulate cortex in the rhesus monkey revealed by retrograde transport of HRP, *J Comp Neurol.*, **10**; 205, 1, 63 (1982).
15. Flor-Henry P., Mood, the right hemisphere and the implications of spatial information perceiving systems, *Research Communication Psychology, Psychiatry and Behavior.*, **8**, 2, 143 (1983).
16. Vaskovsky V.E., Kostetsky E.V., Vasendin I.M., Universal reagent for phospholipid analysis, *J.Chromatogr.*, **1**, 129 (1975).
17. Flor-Henry P., Observations, reflections and speculations on the cerebral determinants of mood and on the bilaterally asymmetrical distributions of the major neurotransmitter systems, *Acta Neurol. Scand. Suppl.*, **109**, 75 (1986).

18. Capper-Loup C., Rebell D., Kaelin-Lang A., Hemispheric lateralization of the corticostriatal glutamatergic system in the rat, *J. Neural. Transm.*, **116**, 9, 1053 (2009).
19. Simernitskaya E.G. Badolyan L. O. Neyropsihologicheskiy analiz mezhpolutsharnoy asimmetrii (Nauka, 1986).
20. Kuraev G.A., Suntsova N.V. mezhpolutsharnyye otnosheniya na raznyih stadiyah tsikla bodrstvovanie – son cheloveka // *Fiziologiya cheloveka*, **4**, 5, 72 (1998).
21. Boldyireva G.N., Zhavoronkova L.A., Sharova E.V., Dobronravova I.S. Mezhtsentralnyie otnosheniya EEG kak otrazhenie sistemnoy organizatsii mozga cheloveka v norme i patologii// *Zhurnal vysshey nervnoy deyatelnosti*, **53**, 4, 391 (2003).
22. Fokin V.F. Tsentralno-perifericheskaya organizatsiya funktsionalnoy motornoj asimmetrii: Dis. d-ra biol. nauk (1982).
23. Zhavoronkova L.A. Pravshi – Levshi: mezhpolutsharnaya asimmetriya biopotentsialov mozga cheloveka (2009).

Поступила в редакцию 28.01.2014 г.