

УДК 56.026: 612.86

ЭЭГ-РЕАКЦИИ ДЕВУШЕК С РАЗНОЙ ЗАПАХОВОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬЮ НА ПОДПОРОГОВЫЕ, ПОРОГОВЫЕ И СВЕРХПОРОГОВЫЕ КОНЦЕНТРАЦИИ БУТАНОЛА

О. В. Булатова, В. В. Трасковский, Н. А. Литвинова

EEG-REACTIONS OF GIRLS WITH DIFFERENT SMELL SENSITIVITY TO SUBTHRESHOLD, THRESHOLD AND SUPERTHRESHOLD CONCENTRATIONS OF BUTANOL

O. V. Bulatova, V. V. Traskovsky, N. A. Litvinova

Работа выполнена на кафедре физиологии человека и животных и валеологии КемГУ, г. Кемерово.

Рассматривается изменение спектральной мощности в низкочастотном (8 – 10 Гц) и высокочастотном (10 – 13 Гц) альфа-диапазонах при предъявлении 22 девушкам запаховых стимулов – подпороговой, пороговой и сверхпороговой концентрации бутанола. Обнаружены отличия фоновой ЭЭГ у девушек с различной чувствительностью к бутанолу. В низко- и высокочастотном альфа диапазоне выявлены различия в спектральной мощности в зависимости от чувствительности девушек и концентрации предъявляемого стимула. Девушки с высокой и средней чувствительностью реагируют на подпороговые стимулы в альфа 2-диапазоне.

The article addresses the spectral capacity change in low-frequency (8 – 10 Hz) and high-frequency (10 – 13 Hz) alpha ranges in reply to the presentation of smell stimuli – subthreshold, threshold and superthreshold concentration of butanol – to 22 girls. The differences in electric brains activity of the girls with different sensitivity to butanol have been found out. The differences in alpha rhythms spectral power were revealed to depend on the girls' sensitivity and smell concentrations. The girls with high and average sensitivity to butanol react to the subthreshold concentration in alpha high-frequency rhythm.

Ключевые слова: ЭЭГ-реакции, обонятельная чувствительность, альфа-ритм, порог, бутанол.

Keywords: EEG-reactions, olfactory sensitivity, alpha rhythm, threshold, butanol.

Известно, что обонятельный анализатор является одним из древнейших и его активация приводит к усилению деятельности многих структур мозга. В последние годы стали известны некоторые механизмы переработки обонятельной информации. В литературе достаточно широко представлены данные об активационном и тормозном характере воздействия на человека химически биоактивных веществ, а также работы, связанные с выявлением природы одорантов [1, с. 23 – 24].

Для человека свойственна высокая вариабельность обонятельной чувствительности. Это разнообразие касается не только общей остроты обоняния человека, но и обонятельной чувствительности к отдельным пахучим веществам, в том числе их качественной оценки. Пороги обонятельной чувствительности к некоторым веществам сильно отличаются по величине у разных людей [8, с. 32 – 33].

В большинстве работ, посвященных изучению обонятельной функции, широко используются субъективные методы анализа: оценка силы, привлекательности и ассоциации к запахам, – тогда как объективная сторона запахового восприятия изучена недостаточно [3, с. 1250 – 1259; 6, с. 65 – 72; 7, с. 60 – 74]. В настоящее время появились исследования, посвященные изучению изменения активности коры больших полушарий в ответ на предъявление запаховых стимулов [9, с. 1340 – 1346; 10, с. 741 – 749; 12, с. 92 – 93]. Однако в этих работах не учитывается индивидуальная чувствительность реципиентов к исследуемым запахам, а чаще всего берут средние значения концентраций веществ, выявленные для популяции. Изучение же реакций на подпороговые стимулы вообще не изучалось.

Из всего частотного диапазона (0 – 500 Гц) электрических колебаний, генерируемых мозгом человека, большой интерес вызывают исследования параметров альфа-диапазона ЭЭГ как индикатора когнитивной и других видов деятельности. Так как альфа-ритм ЭЭГ имеет функциональную гетерогенность различных поддиапазонов, при анализе электроэнцефалографических данных важно использовать более узкие частотные полосы вместо широкого диапазона (8 – 13 Гц) [14, с. 319 – 340].

Общеизвестно, что альфа ритм считают ритмом покоя или ритмом «холостого хода» мозга проявляющегося в состоянии спокойного бодрствования и закрытых глазах [15]. Увеличение функциональной активности мозга приводит к уменьшению амплитуды альфа-ритма, и он часто исчезает. Электрическая активность сменяется высокочастотной нерегулярной активностью. Данная реакция имеет несколько названий: «реакция активации», «ориентировочная реакция», «реакция гашения альфа ритма», «реакция десинхронизации» [4].

В связи с этим целью работы явилось изучение электрической активности головного мозга в ответ на предъявление подпороговых, пороговых и сверхпороговых концентраций бутанола у девушек с различной чувствительностью.

Материалы и методы

В определении порогов чувствительности к бутанолу и последующего ЭЭГ-обследования приняли участие 22 девушки, студентки в возрасте 18 – 22 лет. Исследование проводилось в рамках медицинских и этических норм. Все испытуемые были ознакомлены с условиями эксперимента и дали добровольное согласие на участие в нем.

Исследование проводилось в 2 этапа:

1) на первом этапе у девушек определяли при помощи «Sniffin Sticks» теста порог чувствительности к бутанолу [11, 13, 16]. Для определения порогов чувствительности к запахам использовали 16 стандартных разведений бутанола: 1 проба содержала 4 % бутанола, а каждая последующая в 2 раза меньше предыдущей, т. е. во 2 пробе было 2 % бутанола, в 3 – 1 % и так до 16-го разведения. Бутанол разводили бидистиллированной водой. Пробы бутанола (40 мкл) были нанесены на фильтровальные диски, помещенные в пенициллиновые флаконы.

Перед проведением «Sniffin Sticks» теста испытуемых знакомили с запахом бутанола в самой высокой концентрации. В ходе определения порога чувствительности испытуемому с закрытыми глазами подносили на расстоянии 2 см от носа в течение 2 – 3 секунд 3 пенфлакона поочередно – один с запахом бутанола (начиная с самой низкой концентрации) и два с растворителем (бидистиллированной водой). Испытуемому предлагали выбрать 1 из трех, в котором содержался бутанол. Если испытуемый неверно определял искомую пробу, то через 20 – 30 секунд подавалась следующая тройка запахов, где концентрация бутанола была в 4 раза выше (16, 14, 12 и т. д. разведение), так до тех пор, пока бутанол не идентифицировали правильно 2 раза подряд в одном и том же разведении. Полученная таким образом пороговая концентрация являлась отправной для измерения порога чувствительности. От этого разведения испытуемому несколько раз подавали запах бутанола в большей или меньшей в 2 раза концентрации, выявляя общепринятым способом верхний и нижний пороги чувствительности к бутанолу и рассчитывали среднее значение порога. Очередность подачи бутанола и 2-х проб растворителя каждый раз менялась. Всю процедуру определения порога чувствительности продолжали 10 – 20 минут;

2) на втором этапе проводилось ольфакторное тестирование обонятельных стимулов с одновременным съемом ЭЭГ. Для выявления ЭЭГ-реакции на бутанол использовали три концентрации – пороговую, в 2 раза выше и в 2 раза ниже пороговой, соответственно – сверхпороговый и подпороговый стимул. Концентрации бутанола подбирались индивидуально для каждой девушки с учетом выявленного порога чувствительности к данному запаху.

При регистрации электроэнцефалограммы запахи испытуемым предъявляли с закрытыми глазами: сначала вода, потом подпороговый стимул, вода, пороговый стимул, вода, сверхпороговый стимул, 3 цикла подряд. Запах предъявлялся по 10 секунд с таким же интервалом покоя, между циклами – 30 секунд. Пенициллиновый флакон с водой использовался как контрольный запах для всех, чтобы нивелировать сенсорную реакцию, связанную с предъявлением запахов испытуемым.

ЭЭГ регистрировали монополярно в 16 симметричных точках правого и левого полушарий: Fp₁, Fp₂, F₃, F₄, C₃, C₄, P₃, P₄, O₁, O₂, T₃, T₄, T₅, T₆ с референтными ушными электродами. Аналого-цифровое преобразование сигнала проводили с частотой дискретизации 1000 Гц. Расчет параметров спектра мощности

биопотенциалов ЭЭГ выполняли по программе «Нейрокортекс-Про». Для анализа выбирали 2-секундные безартефактные эпохи общей длительностью 20 секунд, взятые во время предъявления воды и в период предъявления бутанола трех различных концентраций. Для каждого отведения методом быстрого преобразования Фурье были получены значения спектров мощности ЭЭГ в семи частотных диапазонах: дельта (0,5 – 3 Гц), тета 1 (3 – 6 Гц), тета 2 (6 – 8 Гц), альфа 1 (8 – 10 Гц), альфа 2 (10 – 13 Гц), бета 1 (13 – 20 Гц), бета 2 (20 – 30 Гц).

Статистическую обработку данных проводили с использованием дисперсионного анализа ANOVA с коррекцией статистической значимости эффектов взаимодействия факторов по методу Гринхауза – Гейссера. Для нормализации данных проводили логарифмирование мощности биопотенциалов.

Дисперсионный анализ ANOVA значений мощности проводили с использованием факторов: STIM (2: вода, бутанол), Sense (3: низкая, средняя и высокая чувствительность), проба (3: подпороговая, пороговая, и сверхпороговая концентрация бутанола), band (7: дельта, тета 1, тета 2, альфа 1, альфа 2, бета 1, бета 2), HEM (2: полушарие левое, правое), LOC (8: область Fp₁₋₂, F₃₋₄, C₃₋₄, P₃₋₄, O₁₋₂, T₃₋₄, T₅₋₆).

Результаты и обсуждение

Согласно индивидуальным значениям порога обонятельной чувствительности испытуемые были разделены на три группы: первая группа – испытуемые с высоким порогом чувствительности к бутанолу (I, n = 7), вторая группа (II, n = 9) – девушки, имеющие средний порог чувствительности, третья группа (III, n = 6) состояла из девушек имевших низкий порог. Средние значения порога чувствительности находилось в пределах от 7-го до 9-го разведения (0,0625 – 0,015625 % раствор бутанола) – группа среднечувствительных девушек, что соответствовало литературным данным [11, с. 145 – 148].

Особенности фоновой ЭЭГ.

Дисперсионный анализ ANOVA с использованием средних значений мощности фоновой ЭЭГ по каждому отведению, либо парам отведений, выявил достоверный эффект взаимодействия группы факторов LOC*Sense*band

($F_{84, 3087} = 1,53, p = 0,002$). У девушек I группы доминантными ритмами являются оба альфа-диапазона, у девушек II группы ведущим был высокочастотный альфа-ритм, а у девушек III группы – низкочастотный альфа ритм. Кроме того, по сравнению с I и III группой у девушек со средней чувствительностью в фоновой ЭЭГ относительно ниже мощность низкочастотных ритмов (дельта, обоих тета диапазонов), т. е. наблюдается более высокий уровень активации коры и десинхронизация нервных процессов. У всех девушек спектральная мощность ведущего альфа-ритма одинакова с дельта.

Так как изменение дельта ритма возникает на стимулы, которые важны для удовлетворения биологических потребностей или достижения сиюминутных целей [5, с. 570 – 576], к которым запах бутанола не относится, поэтому для дальнейшего анализа ЭЭГ-реакций были взяты только низкочастотный и

высокочастотный альфа-ритмы. Кроме того, по мнению О. М. Базановой и соавторов (2007) индивидуальная ширина альфа-диапазона может отражать степень психофизической реактивности и пластичности нейронных процессов [2, с. 14 – 26]. Согласно ряду исследований низкочастотная альфа активность функционально соотносится с уровнями бдительности и активации, а высокочастотная – с когнитивными процессами [12].

Особенности ЭЭГ-реакций девушек с высоким порогом обонятельной чувствительности к бутанолу

У девушек I группы при воздействии подпороговой, пороговой и сверхпороговой концентрации бутанола по сравнению с водой достоверных изменений спектральной мощности альфа 1-ритма не наблюдалось.

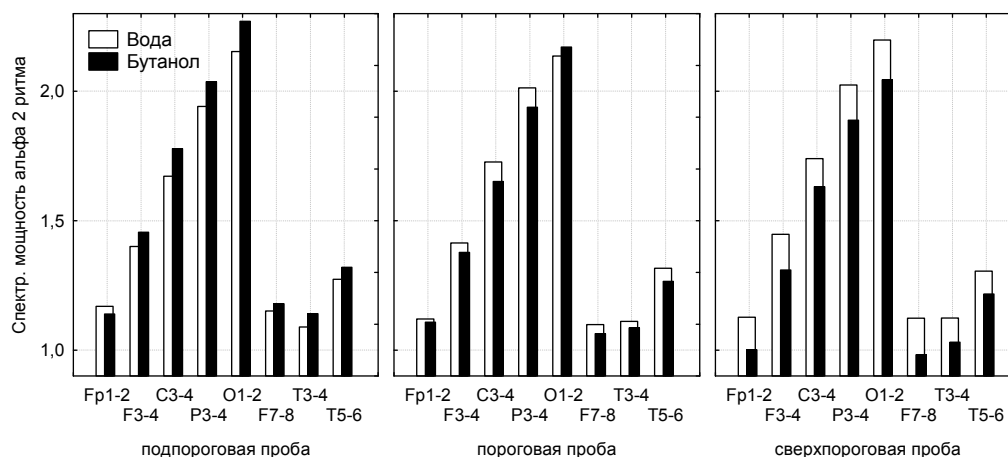


Рис. 1. Изменение спектральной мощности альфа 2-ритма у девушек I группы в ответ на предъявление разных концентраций бутанола ($F_{2,42} = 2,77, p = 0,02$)

Анализ спектральной мощности в альфа 2-ритме (рис. 1) выявил достоверное изменение электрической активности мозга у девушек I группы в ответ на запаховые пробы только при сочетании факторов STIM*ПРОБА ($F_{2,42} = 2,77, p = 0,02$). При воздействии подпороговой концентрации бутанола у девушек наблюдался рост спектральной мощности высокочастотного альфа ритма практически во всех локализациях, спектральная мощность не изменялась лишь в задневисочной области правого полушария и снижалась в префронтальной области левого полушария. Пороговая проба ($F_{7,18} = 4,26, p = 0,03$) вызвала снижение спектральной мощности во всех локализациях кроме затылочной области правого полушария, где происходил рост спектральной мощности. Спектральная мощность альфа 2-ритма в ответ на воздействие бутанола сверхпороговой концентрации имела тенденцию к снижению, но достоверных отличий не было.

Особенности ЭЭГ-реакций девушек со средним порогом обонятельной чувствительности к бутанолу

При анализе ЭЭГ-реакций девушек со средней чувствительностью в альфа 1-диапазоне выявлено достоверное взаимодействие факторов STIM*ЛОС*НЕМ*ПРОБА ($F_{14,168} = 3,25, p = 0,001$) и STIM*ЛОС*ПРОБА ($F_{14,168} = 3,71, p = 0,001$) (рис. 2). При воздействии запаховой пробы бутанола подпороговой концентрации ($F_{7,56} = 4,55, p = 0,001$) у девушек наблюдался рост спектральной мощности альфа 1-ритма во всех локализациях, кроме средне височной области

правого полушария. Пороговая проба ($F_{7,56} = 4,11, p = 0,001$) вызвала снижение спектральной мощности в теменно-затылочной и задневисочной области, рост во фронтальной области и центральной области левого полушария. В ответ на воздействие сверхпорогового запахового стимула спектральная мощность альфа 1-ритма незначительно понизилась во всех локализациях, кроме задней височной области левого полушария, префронтальной и средней височной области правого полушария.

Анализ изменения спектральной мощности в ответ на предъявление бутанола у девушек II группы в альфа 2-диапазоне (рис. 2) выявил достоверные отличия при сочетании факторов STIM*ЛОС*ПРОБА ($F_{14,168} = 2,33, p = 0,006$). У девушек изменение спектральной мощности альфа 2-ритма в ответ на предъявление подпороговой пробы ($F_{7,56} = 3,09, p = 0,008$) было следующим: спектральная мощность понизилась во всех локализациях, кроме затылочной и задней височной области правого полушария, где она повысилась. Пороговая концентрация бутанола ($F_{7,56} = 4,76, p = 0,001$) вызвала повышение спектральной мощности в префронтальной, фронтальной, центральной, передней и средней височной области и понижение спектральной мощности в теменно-затылочной области. Сверхпороговый стимул вызывает депрессию высокочастотного альфа-ритма.

Таким образом, у девушек со средней чувствительностью ЭЭГ-реакция на предъявление бутанола выявляется уже на подпороговую пробу в ведущем высокочастотном альфа 2-диапазоне.

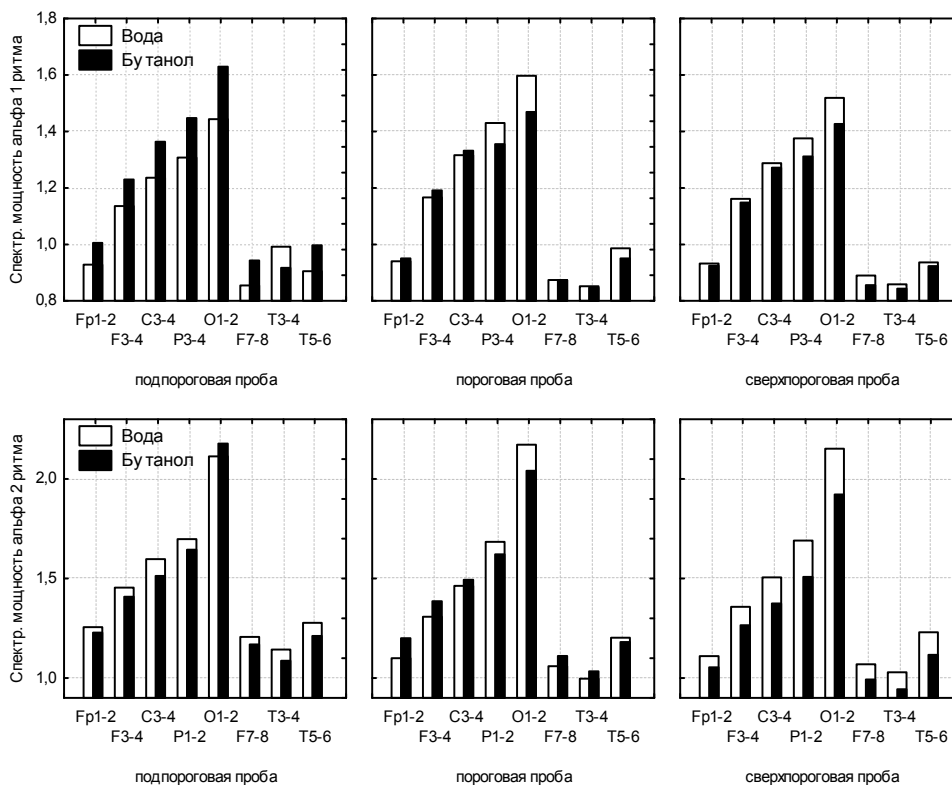


Рис. 2. Изменение спектральной мощности альфа 1- и альфа 2-ритма у девушек II группы ($F_{14, 168} = 3,71, p = 0,001$), ($F_{14, 168} = 2,33, p = 0,006$)

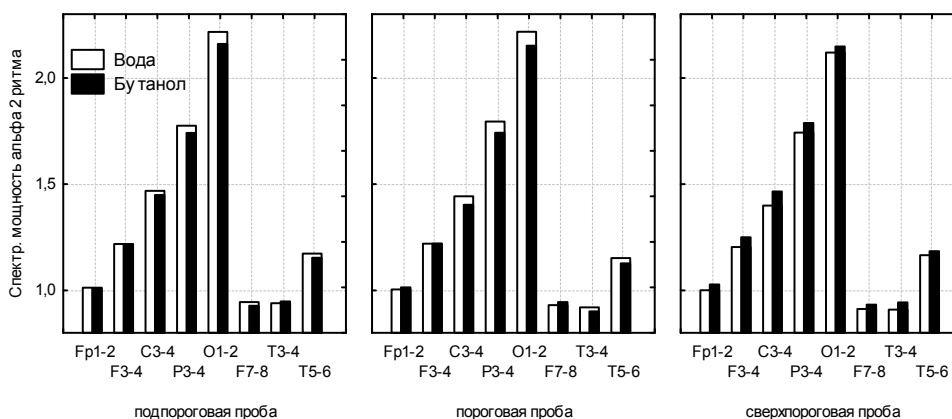


Рис. 3. Изменение спектральной мощности альфа 2-ритма у девушек III группы ($F_{2,15} = 4,80, p = 0,024$), ($F_{14, 105} = 1,92, p = 0,03$)

Особенности ЭЭГ-реакций девушек с низким порогом обонятельной чувствительности к бутанолу

В III группе девушек в альфа 1-диапазоне достоверное изменение электрической активности головного мозга в ответ на бутанол выявлено при сочетании факторов STIM*НЕМ*ПРОБА ($F_{2,15} = 4,80, p = 0,024$). При предъявлении подпорогового стимула ($F_{7,35} = 2,94, p = 0,015$) девушки отреагировали повышением спектральной мощности низкочастотного альфа-ритма практически во всех локализациях, исключения составили теменная и затылочная зона левого полушария, где электрическая активность не изменилась, и затылочная зона правого полушария, где она понизи-

лась. Пороговая концентрация бутанола вызвала рост спектральной мощности в передней и средней височной области левого полушария. Реакция на сверхпороговую запаховую пробу выявилась в снижении спектральной мощности альфа 1-ритма во всех отделах правого полушария и повышении в затылочной передней и задней височной области левого полушария.

ЭЭГ-реакции в альфа 2-диапазоне у девушек III группы в ответ на предъявление бутанола выявлены при сочетании факторов STIM*LOC*НЕМ*ПРОБА ($F_{14, 105} = 1,92, p = 0,03$). Спектральная мощность высокочастотного альфа-ритма под воздействием бутанола подпороговой концентрации ($F_{7,35} = 2,39, p = 0,04$) уменьшилась в теменно-затылочной области

правого полушария центральной, передней, средней, задней височной области левого полушария. Пороговая проба вызвала снижение ($F_{7,35} = 2,53$, $p = 0,03$) спектральной мощности в центральной, теменно-затылочной области правого полушария. В ответ на сверхпороговый стимул происходит рост спектральной мощности практически во всех локализациях, кроме затылочной, передней и задней области левого полушария и префронтальной и передне-височной области правого полушария.

Наблюдаемое в нашем исследовании повышение спектральной мощности альфа 1-диапазона у девушек трех групп на подпороговый стимул означает, что он не вызывает у них реакцию активации и не вызывает сосредоточения внимания. Пороговый стимул вызывает активацию в отельных зонах у всех девушек, что возможно свидетельствует об обнаружении запахового стимула, более выраженная реакция на сверхпороговый стимул указывает на повышение уровней активации, связанные с узнаванием данного запаха.

В альфа 2-частотном диапазоне девушки I группы отреагировали повышением спектральной мощности на подпороговый стимул, что означает отсутствие реакции активации. В отличие от них девушки II и III группы характеризуются противоположной реакцией на этот стимул, что свидетельствует об обнаружении запахового стимула. У девушек I группы обнаружение запахового стимула выявляется лишь на пороговую пробу бутанола понижением спектральной мощности высокочастотного альфа-ритма в отдельных зонах. Пороговая концентрация бутанола у девушек II группы в альфа 2-диапазоне существенных изменений не вызывает, тогда как у высокочувствительных девушек III группы наблюдается уверенная реакция активации, связанная с обнаружением и узнаванием запахового стимула. Подобная реакция у девушек I и II наблюдается лишь на сверхпороговый стимул.

Ответ девушек III группы, которые отличаются самой высокой чувствительностью к бутанолу и кото-

рые реагировали повышением спектральной мощности альфа-ритма на воздействие сверхпороговой концентрации бутанола, возможно, объясняется его «тормозным» воздействием на ЦНС. Можно ожидать, что влияние запаха бутанола на ЦНС носит фазный характер, существенно зависит от индивидуального порога чувствительности к бутанолу и его концентрации.

Выводы

1. Фоновая электрическая активность головного мозга у девушек с различной чувствительностью к запахам отличается ведущим ритмом: у девушек с низким порогом чувствительности доминантными ритмами являются оба альфа-диапазона, со средней чувствительностью – высокочастотный альфа-ритм, а с высокой чувствительностью – низкочастотный альфа-ритм.

2. Девушки с низким порогом чувствительности на подпороговые раздражители реагируют повышением спектральной мощности альфа 1- и альфа 2-ритма, что связано с понижением уровня активации головного мозга, а на сверхпороговые раздражители – депрессией альфа 1- и альфа 2-ритма, что указывает на возникновение ориентировочной реакции

3. Девушки со средним порогом чувствительности на подпороговые раздражители реагируют повышением спектральной мощности альфа 1-ритма и незначительной депрессией альфа 2-ритма, что свидетельствует о появлении внимания к данному запаху. Сверхпороговый стимул вызывает незначительную депрессию альфа 1-ритма, что свидетельствует об угасании ориентировочной реакции.

4. У испытуемых с высоким порогом чувствительности ЭЭГ-реакция на подпороговый стимул аналогична реакции девушек со средней чувствительностью, а сверхпороговый раздражитель вызывает депрессию альфа 1-ритма в правом полушарии при повышении спектральной мощности альфа 2-ритма.

Литература

1. Аромовоздействие как фактор оптимизации состояния человека / А. Т. Быков, Т. Н. Маляренко, Ю. Е. Маляренко [и др.] // Валеология. – 2006. – № 2.
2. Базанова, О. М. Индивидуальные показатели альфа-активности электроэнцефалограммы и невербальная креативность / О. М. Базанова, Л. И. Афтанас // Рос. физиол. журн. им. И. М. Сеченова. – 2007. – Т. 93. – № 1.
3. Изменение запаха у студентов мужского пола при сдаче экзамена / М. П. Мошкин, Л. А. Герлинская, И. Е. Колосова [и др.] // Российский физиологический журнал им. И. М. Сеченова. – 2006. – № 10.
4. Клиническая энцефалография / под ред. В. С. Русинова. – М.: Медицина, 1986. – 368 с.
5. Князев, Г. Г. Осцилляции мозга и поведение человека: эволюционный подход / Г. Г. Князев // Методологические проблемы современной психологии: иллюзии и реальность: материалы Сибирского психологического форума (16 – 18 сентября 2004 г.). – Томск: ТГУ, 2004.
6. Особенности юношей с низкой и высокой чувствительностью к запахам противоположного пола / А. В. Бедарева, В. И. Иванов, Н. А. Литвинова [и др.] // Вестник ТГУ. – 2011. – № 2 (14).
7. Психосоциальные и физиологические факторы субъективной оценки запаховой привлекательности / М. П. Мошкин, Е. А. Литвинова, А. В. Бедарева [и др.] // Вестник Новосибирского государственного университета. – 2009. – Т. 3. – № 1. – (Серия: Психология).
8. Специфическая anosmia в свете современных представлений об обонятельной рецепции млекопитающих / М. А. Ключникова, А. Е. Вознесенская, Е. И. Родионова [и др.] // Сенсорные системы. – 2011. – № 1.
9. A putative social chemosignal elicits faster cortical responses than perceptually similar odorants / J. N. Lundström, M. J. Olsson, B. Schaal [et al.] // NeuroImage. – 2006. – Vol. 30, Is. 4.

10. Analysis of mutual information content for EEG responses to odor stimulation for subjects classified by occupation / B.-C. Min, S.-H. Jin, I.-H. Kang [et al.] // Chem. Senses. – 2003. – Vol. 28.
11. Briner, H. R. Smell Diskettes as a screening test of olfaction / H. R. Briner, D. Simmen // Rhinology. – 1999. – V. 37. – №. 4.
12. Correlation of psychological and physiological responses to olfactory stimulation / H. Sardi, B. Grimshaw, C. Hari et al. // Journal of Physiology. – 2000. – Vol. 523.
13. Hummel, T. Androstadienone odor thresholds in adolescents / T. Hummel, F. Krone, J. N. Lundstrom [et al.] // Horm Behav. – 2005. – V. 47. – №. 3. – P. 306 – 310.
14. Klimesch, W. EEG-alpha rhythms and memory processes / W. Klimesch // Int. J. Psychophysiol. – 1997. – Vol. 26.
15. Spelman, R. EEG primer / R. Spelman. – London: Butterworth Publishers, 1993. – 420 p.
16. «Sniffin' Sticks»: Olfactory performance assessed by the combined testing of odor identification, odor discrimination and olfactory threshold / T. Hummel, B. Sekinger, S. Wolf [et al.] // Chem. Senses. – 1997. – V. 22. – P. 39 – 52.

Информация об авторах:

Булатова Ольга Владимировна – кандидат биологических наук, доцент кафедры физиологии человека и животных и валеологии КемГУ, 8(3842)58-35-15, litvinca@kemsu.ru.

Olga V. Bulatova – Candidate of Biology, Assistant Professor at the Department of Human and Animals Physiology and Valeology, Kemerovo State University.

Трасковский Вячеслав Владимирович – аспирант кафедры физиологии человека и животных и валеологии КемГУ, litvinca@kemsu.ru.

Vyacheslav V. Traskovsky – post-graduate student at the Department of Human and Animals Physiology and Valeology, Kemerovo State University

Литвинова Надежда Алексеевна – доктор биологических наук, профессор кафедры физиологии человека и животных и валеологии КемГУ, 8(3842) 58-35-15, Litvinca@kemsu.ru.

Nadezda A. Litvinova – Doctor of Biology, Professor at the Department of Human and Animals Physiology and Valeology, Kemerovo State University.