

## ИЗМЕНЕНИЯ ЭЭГ ЧЕЛОВЕКА ПРИ НАПРАВЛЕННОМ ВОСПРИЯТИИ И АНАЛИЗЕ ОБОНЯТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ

Поступила 18.10.08

Регистрировали ЭЭГ у взрослых испытуемых при восприятии запахов растительных эфирных масел в условиях направленного внимания. Показано, что восприятие обонятельной информации даже в случаях невысокой интенсивности запахов, не вызывающих аверсивных эффектов, связано с заметными изменениями характеристик ЭЭГ. Снижение спектральной плотности низкочастотных компонентов ЭЭГ (6–10 Гц) свидетельствовало о реакции неспецифической ЭЭГ-активации, обусловленной сенсорной стимуляцией. Кроме того, наблюдалось увеличение спектральной мощности относительно высокочастотных составляющих ЭЭГ (11–25 Гц), наиболее выраженное в затылочных регионах неокортекса. Восприятие запахов эфирных масел также сопровождалось увеличением когерентности колебаний ЭЭГ, наиболее интенсивным в  $\beta$ 2-диапазоне (20–25 Гц). Такие изменения были максимальными в левой височно-теменной области, что расценивается как свидетельство особой роли этих участков коры в процессах взаимодействия неокортикального представительства обонятельного анализатора с соответствующими структурами других анализаторных систем. Предполагается, что такое взаимодействие необходимо для построения семантического образа анализируемых стимулов.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** ЭЭГ, ольфакторная стимуляция, обонятельный анализатор, спектральная композиция, когерентность, эфирные масла, внимание.

### ВВЕДЕНИЕ

Обонятельные структуры головного мозга имеют тесные морфофункциональные связи с лимбическими структурами [1], вовлеченными в реализацию таких несенсорных функций, как формирование эмоций и памяти [1–3]. Последние феномены рассматриваются в качестве основных системообразующих факторов в теории функциональных систем [4]. Высшим уровнем интеграции разных компонентов функциональных систем и межсистемного взаимодействия у млекопитающих является кора головного мозга. В то же время именно этот уровень ЦНС пока наименее изучен в аспекте его участия в анализе обонятельных раздражителей. Имеющиеся в литературе сведения о характере перестроек электрической активности головного мозга человека (в основном изменений характери-

стик текущей ЭЭГ) под воздействием обонятельных стимулов разрозненны и часто противоречивы [1, 5–8]. Следует отметить, что при оценке модификаций ЭЭГ большинство авторов ограничиваются анализом только её спектрально-мощностных характеристик, в то время как для оценки информационных процессов, происходящих в головном мозгу, необходимо учитывать и показатели дистантной синхронизации колебаний ЭЭГ [9]. Тесная связь ольфакторных и эмоциогенных структур головного мозга обуславливает ряд особенностей субъективного восприятия запахов, в частности то обстоятельство, что запахи часто имеют выраженную эмоционально-гедоническую оценку («нравится/не нравится») [10, 11]. С наличием эмоционального фактора могут быть связаны заметные различия в характере одорантзависимых изменений ЭЭГ [12, 13]. В то же время, по нашему мнению, должны существовать некие общие паттерны активации головного мозга человека, отражающие различные этапы анализа обонятельной информации и не зависящие от типа запаха и его субъективной оценки. Исходя из этого мы провели

<sup>1</sup> Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко (Украина).

Эл. почта: psytab@psytab.kiev.ua (А. А. Чернинский, И. Г. Зима, Н. Е. Макарчук, Н. Г. Пискорская, С. А. Крижановский).

исследование, которое было направлено на выявление общих закономерностей изменений спектрально-мощностных и спектрально-когерентных характеристик электрической активности головного мозга человека, обусловленных предъявлением ольфакторных стимулов в условиях направленного внимания.

## МЕТОДИКА

В экспериментах приняли участие добровольцы – 67 студентов киевских ВУЗов (возраст от 18 до 25 лет, 24 женщины и 43 мужчины, без каких-либо явных признаков ринальной патологии).

ЭЭГ регистрировали до, во время и после восприятия запахов различных растительных эфирных масел (ЭМ). Выбор обонятельных раздражителей данного класса был связан с тем, что человек достаточно часто встречается с подобными запахами, и для него они являются привычными и знакомыми. Несмотря на очевидную интериндивидуальную вариабельность восприятия, такие запахи в большинстве случаев квалифицируются как приятные, реже – как нейтральные или неприятные, но без значительного аверсивного эффекта. Использовали ЭМ лаванды (*Lavandula officinalis*), розмарина (*Rosmarinus officinalis*), иланг-иланга (*Cananga odorata*), сосны альпийской (*Pinus alpinum*), лимона (*Citrus limonium*), мяты (*Menta piperita*), аниса (*Pimpinella anisum*), полыни горькой (*Artemisia absintim*), розы (*Rosa* sp.) и спиртовую настойку валерьяны лекарственной (*Valeriana officinalis*). Небольшие количества указанных жидкостей наносились на полоски фильтровальной бумаги (50 × 10 мм) и помещались в пробирки для полумикроанализа (75 × 10 мм). Дозы одорантов, как правило, составляли всего одну-две капли и подбирались таким образом, чтобы субъективная интенсивность их запахов была примерно одинаковой и достаточной для детекции и распознавания.

Чтобы нивелировать воздействие на результаты исследования типа запаха и его субъективной оценки, испытуемым предлагалось выбрать из описанного набора два одоранта, которые расценивались как наиболее и наименее субъективно приятные. Такая предварительная субъективная оценка запахов предшествовала ЭЭГ-исследованию; два указанных этапа проводились в разные дни. Следует отметить, что ни один из ольфакторных раздражителей не был однозначно аверсивным (вызываю-

щим отвращение) ни для одного из испытуемых. Это подтверждалось характером и степенью изменений показателей variability сердечного ритма у таких испытуемых в наших предварительных опытах [14].

Во время отведения ЭЭГ обследуемые находились в звуко- и светоизолированной камере в удобном кресле в положении полулежа с закрытыми глазами. До начала эксперимента закрытые пробирки закреплялись в подвижном штативе рядом с испытуемым на таком расстоянии (50 см), чтобы они находились в пределах досягаемости, но возможность восприятия их запаха была исключена. Далее участников инструктировали о поведении во время эксперимента. Экспериментатор выходил из камеры, закрывал дверь и выключал освещение. После адаптации испытуемых к условиям отведения и записи фоновой ЭЭГ (3 мин) по голосовой команде экспериментатора участники должны были открыть первую пробирку и установить ее перед собой на таком расстоянии от лица (1–5 см), чтобы четко ощущать запах находящегося внутри тест-вещества. Успешность и точность манипуляции достигались предварительной тренировкой (перемещение и открывание пробирок, не содержащих одоранта, в освещенной камере). После окончания манипуляций с пробиркой и прекращения двигательной активности испытуемые сообщали об этом экспериментатору, и через 15–30 с начиналась регистрация ЭЭГ во время восприятия запаха определенного одоранта (3 мин). Далее по голосовой команде экспериментатора участники должны были закрыть и отодвинуть от себя пробирку, после чего у обследуемых по прекращении движений в течение еще 3 мин вновь регистрировалась ЭЭГ. Каждому испытуемому предлагались три пробирки в следующем порядке: индивидуально наиболее приятный запах, контроль (дистиллированная вода), индивидуально наименее приятный запах. Такой фиксированный порядок предъявления запахов был обусловлен психологическими особенностями восприятия эмоционально окрашенных стимулов. Принято считать, что эффект негативного эмоционального воздействия является более длительным, чем эффект позитивного эмоционального. До окончания эксперимента участники не получали информации о содержимом предъявляемых пробирок. После пробы какого-либо одоранта испытуемым предлагался разработанный нами вопросник для характеристики предлагаемого стимула. Методика опроса, а также анализ его результатов описа-

ны в нашей ранее выполненной работе [11]. Пауза между пробами с разными одорантами и контролем составляла не меньше 3 мин. Вентиляция камеры во время эксперимента обеспечивалась работой вентилятора, а также открытием двери во время заполнения бланка вопросника. Таким образом, мы полагаем, что сенсорное воздействие одоранта, предъявленного в одном из тестов, в течение следующего теста было пренебрежимо малым.

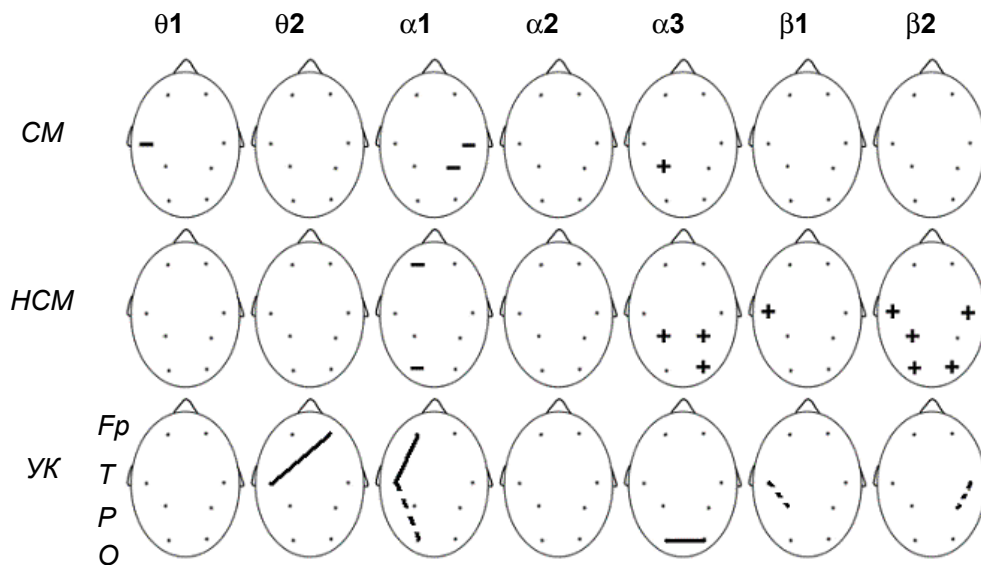
Сигналы ЭЭГ отводили от симметричных лобных (Fp1, Fp2), теменных (P3, P4), затылочных (O1, O2) и височных (T3, T4) локусов по международной схеме «10–20» с помощью стандартного электроэнцефалографа. В качестве референтного электрода использовали объединенные ушные контакты. Межэлектродное сопротивление не превышало 5 кОм. Использовали фильтр высоких частот с частотой среза 70 Гц и сетевой фильтр (50 Гц); постоянная времени тракта усиления составляла 0.3 с. Сигналы от энцефалографа дискретизировали с частотой  $100 \text{ с}^{-1}$  и вводили в персональный компьютер. В пределах каждого из трехминутных интервалов (фона, восприятия запаха и последствия) записывали по шесть 20-секундных отрезков ЭЭГ. Записи подвергали предварительному визуальному контролю качества отведения, после чего из этих отрезков выбирали безартефактные 15-секундные реализации. При помощи специализированной программы на основе алгоритма быстрого преобразования Фурье для данных образцов ЭЭГ вычисляли спектральные мощности (СМ) семи частотных субдиапазонов: низко- и высокочастотного компонентов тета-ритма ( $\theta_1$ , 4.0–6.0 Гц и  $\theta_2$ , 6.0–7.5 Гц), низко-, средне и высокочастотного компонентов альфа-ритма ( $\alpha_1$ , 7.5–9.5,  $\alpha_2$ , 9.5–11.0 и  $\alpha_3$ , 11.0–13.0 Гц), и низко- и высокочастотной составляющих бета-ритма ( $\beta_1$ , 13.0–20.0 и  $\beta_2$ , 20.0–25.0 Гц) [15], а также средние уровни когерентности (УК) для колебаний указанных диапазонов по всем 28 возможным парам отведений. Кроме того, вычисляли нормированные значения СМ (НСМ) указанных диапазонов (отношение СМ определенного диапазона к интегральной мощности ЭЭГ-колебаний в пределах всех перечисленных выше диапазонов, принятой за 100 %). Эпоха анализа составляла 5.12 с, эпоха усреднения – 1/8 эпохи анализа.

С целью выявления общих паттернов изменений ЭЭГ, связанных с анализом обонятельной информации, все образцы ЭЭГ, зарегистрированные в ходе тестирования действия одорантов, объединяли в одну выборку. Приемлемыми для анализа по каче-

ству сигнала оказались 101 ЭЭГ-реакция из 134 на предъявление запахов ЭМ и 46 реакций из 67 на предъявление контрольной пробирки с дистиллированной водой. Таким образом, в данной работе мы не учитывали такие факторы, как субъективная оценка стимулов, гендерные и психолого-типологические особенности испытуемых. Их анализу будут посвящены наши дальнейшие сообщения. Поскольку в каждом случае рассматривалось большое количество показателей ЭЭГ (СМ семи частотных компонентов, зарегистрированных в восьми отведениях, т. е. 56 значений СМ, 56 – НСМ и 196 – УК), отличающихся естественной интериндивидуальной вариабельностью, мы анализировали преимущественно качественный аспект изменений – их наличие или отсутствие, а также направленность (увеличение или уменьшение). Значимость отличий исследуемых параметров при сравнении зависимых выборок оценивали с помощью критерия знаковых ранговых сумм Вилкоксона. Чтобы установить в ряде случаев различия между количественными характеристиками изменений параметров ЭЭГ в разных отведениях, применяли непараметрический вариант однофакторного анализа – критерий Краскелла–Уоллиса. Указанные расчеты производили с использованием программного пакета «Statgraphics 5.1» («Manugistics», США) или макросов, реализованных нами на языке программирования «Visual Basic for Applications» (пакет Microsoft Excel).

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Анализ полученных результатов показал, что изменения параметров ЭЭГ при предъявлении обследуемым контрольной пробирки с дистиллированной водой были незначительны по количеству (рис. 1) – в пределах исследуемой группы испытуемых статистически значимыми оказались четыре из 56 сдвигов значений СМ, 11 из 56 НСМ и шесть из 196 УК. Так, в целом наблюдалось снижение СМ колебаний  $\theta_1$ -диапазона в отведении T3 и колебаний  $\alpha_1$ -диапазона в отведениях P4 и T4. Кроме того, возростала СМ  $\alpha_3$ -диапазона в отведении P3. Анализ значений НСМ выявил некоторое увеличение доли высокочастотных компонентов ЭЭГ. В затылочно-теменных отведениях усиливались колебания  $\alpha_3$ -диапазона, в затылочно-теменно-височных возростала мощность  $\beta_2$ -осцилляций, а в левой височной области –  $\beta_1$ -колебаний. Изменения УК оказались



**Р и с. 1.** Топокарты изменений параметров ЭЭГ в исследуемой группе при предъявлении испытуемым контрольной пробирки с дистиллированной водой ( $n = 46$ ).

Над схемами указаны анализируемые субдиапазоны ЭЭГ. Знаками “+” и “-” обозначены случаи значимого ( $P < 0.05$ ) увеличения или уменьшения значений спектральной мощности (СМ) и нормированной СМ (НСМ) в том или ином отведении. Непрерывными линиями соединены обозначения пар отведений, в которых наблюдалось значимое возрастание уровня когерентности (УК), пунктирными – те, в которых отмечалось уменьшение УК. Fp, T, P, O –локусы отведений.

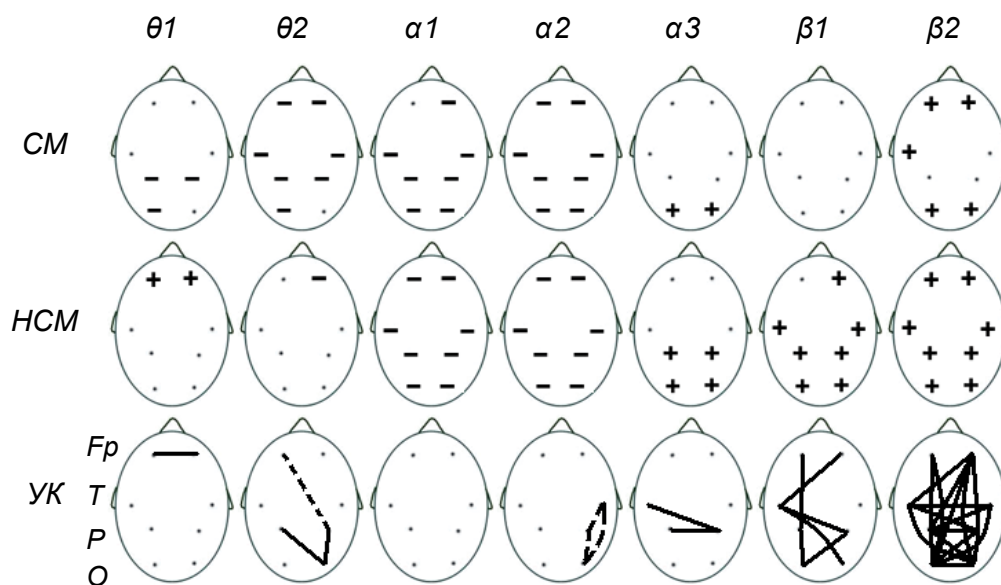
**Р и с. 1.** Топокарти змін параметрів ЕЕГ у дослідженій групі при пред’явленні обстежуваним контрольної пробірки з дистильованою водою ( $n = 46$ ).

незначительными и топографически неупорядоченными (рис. 1). Сравнение степени изменений СМ в пределах одного диапазона, но в разных отведениях показало, что для  $\beta 2$ -диапазона прирост данного показателя в отведении ТЗ был статистически значимо большим ( $P < 0.05$  при сравнении с показателями для Fp1, Fp2, P3 и P4).

В отличие от этого восприятие испытуемыми запахов ЭМ сопровождалось значительными изменениями текущей ЭЭГ (рис. 2). Статистически значимыми оказались сдвиги 32 из 56 значений СМ, 38 из 56 – НСМ и 31 из 196 – УК. Так, в целом по группе наблюдалось существенное снижение СМ колебаний, имеющих частоту от 6 до 11 Гц. Такое уменьшение отмечалось для СМ  $\alpha 2$ -колебаний во всех отведениях, для СМ  $\alpha 1$ - и  $\theta 2$ -осцилляций – почти во всех отведениях, кроме одного, а для колебаний низкочастотного  $\theta$ -субдиапазона – в отведениях P3, P4 и O1. В то же время происходило возрастание СМ относительно высокочастотных ЭЭГ-колебаний. Мощность  $\alpha$ -диапазона возрастала в отведениях O1 и O2, а  $\beta$ -диапазона – в Fp1, Fp2, T3, O1 и O2. Изменения значений НСМ в целом соответствовали изменениям натуральных величин СМ.

Сравнение интенсивности изменений СМ  $\theta 1$ -диапазона показало, что максимальные по величине сдвиги этого показателя происходили в отведениях Fp1 и Fp2 ( $P = 0.01$  по критерию Краскелла–Уоллиса и  $P < 0.05$  при попарном сравнении с остальными отведениями). Для  $\theta 2$ -диапазона такие сдвиги были наибольшими в отведении ТЗ ( $P < 0.05$  при сравнении с O2), для  $\alpha 3$ -диапазона – в O1 и O2 ( $P = 0.017$  по критерию Краскелла–Уоллиса и  $P < 0.05$  при попарном сравнении с остальными отведениями), а для  $\beta 2$ -диапазона – в ТЗ, O1 и O2 ( $P = 0.03$  по критерию Краскелла–Уоллиса и  $P < 0.05$  при попарном сравнении с остальными отведениями) (рис. 2).

Существенные изменения показателей пространственной синхронизации касались в основном относительно высокочастотных компонентов ЭЭГ (25 из 32 статистически значимых изменений УК) – значения УК возрастали для двух пар отведений в  $\alpha 3$ -, для пяти – в  $\beta 1$ - и для 18 – в  $\beta 2$ -диапазоне. Учитывая значительную интенсивность изменений УК  $\beta 2$ -колебаний, мы попробовали дать им количественную оценку. Оказалось, что изменения УК были максимальными в следующих парах отведений: Fs–Ps, Ps–Td, Pd–Ts и Od–Ts (табл. 1;  $P = 0.07$



**Р и с. 2.** Топокарты изменений параметров ЭЭГ в исследуемой группе при предъявлении ольфакторных стимулов (пробирок с эфирными маслами,  $n = 101$ ). Вверху указаны поддиапазоны ЭЭГ-колебаний. Остальные обозначения те же, что и на рис. 1.

**Р и с. 2.** Топокарти змін параметрів ЕЕГ у дослідженій групі під час пред'явлення ольфакторних стимулів (пробірок з ефірними оліями,  $n = 101$ ).

по критерию Краскелла–Уоллиса и  $P < 0.05$  при некоторых попарных сравнениях).

Кроме того, нас заинтересовало, в какой из восьми исследованных областей неокортекса проявляются наибольшие изменения пространственной синхронизации ЭЭГ. Это весьма неоднозначная в математическом аспекте задача, поскольку показатели пространственной синхронизации вычисляются для пары отведений, а не для каждого отведения в отдельности. Для её решения мы вычисляли суммарные ранги изменений УК для всех пар, в которые входило определенное отведение, и сравнивали полученные показатели (фактически – складывали значения, приведенные в табл. 1, для всех пар, в которые входит конкретное отведение). В случае использования такого способа вычислений наибольший ранг оказывался у левого теменного отведения (P3; табл. 2). Следовательно, можно говорить о том, что именно эта область коры головного мозга в определенном смысле является центром интеграции при анализе обонятельной информации.

## ОБСУЖДЕНИЕ

Согласно гипотетической модели Лорига [5], функциональная система восприятия обонятельных стимулов состоит из модально-специфических сенсорных структур, эмоциогенных структур (роль которых заключается в оценке биологического значения анализируемых стимулов) и структур, обеспечивающих семантический анализ поступающей информации и процессы селективного внимания. Последние из упомянутых структур, очевидно, также участвуют в вербальной идентификации запахов и их гедонических качеств, а также обеспечивают процессы ассоциирования со стимулами других модальностей [5]. Естественно, что активация указанных компонентов обонятельного анализатора должна находить отображение в изменениях электрической активности неокортекса. Анализ полученных нами данных в контексте описанной схемы выявил следующее.

Одним из наиболее выраженных одорантзависимых изменений активности головного мозга ока-

**Т а б л и ц а 1. Средние ранги изменений уровней когерентности (УК) колебаний  $\beta$ 2-субдиапазона ЭЭГ при восприятии испытуемыми запахов эфирных масел**

**Т а б л и ц я 1. Середні ранги змін рівнів когерентності коливань  $\beta$ 2-субдіапазону ЕЕГ під час сприйняття обстежуваними запахів ефірних олій**

Пары отведений	Средний ранг	Пары отведений	Средний ранг	Пары отведений	Средний ранг	Пары отведений	Средний ранг
Fp1 – Fp2	1247	Fp2 - P3	1444	P3 - O1	1414	P4 - T4	1220
Fp1 – P3	1546 *	Fp2 - P4	1441	P3 - O2	1492	O1 - O2	1524
Fp1 – P4	1421	Fp2 - O1	1457	P3 - T3	1230	O1 - T3	1277
Fp1 – O1	1450	Fp2 - O2	1424	P3 - T4	1566 *	O1 - T4	1433
Fp1 – O2	1320	Fp2 - T3	1464	P4 - O1	1439	O2 - T3	1563 *
Fp1 – T3	1371	Fp2 - T4	1301	P4 - O2	1403	O2 - T4	1378
Fp1 – T4	1391	P3 - P4	1439	P4 - T3	1553 *	T3 - T4	1400

П р и м е ч а н и я. Изменения УК вычислялись как разности значений этого показателя во время восприятия запахов и в исходном состоянии, отнесенные к значению исходного УК. Процедура ранжирования проводилась по данным всех индивидуальных экспериментов; в таблице представлены средние ранги для каждой пары отведений. Звездочками обозначены пары отведений, для которых изменения УК были максимальными (статистически значимое различие при попарных сравнениях с наименьшими значениями).

**Т а б л и ц а 2. Суммарные ранги изменений уровней когерентности  $\beta$ 2-колебаний ЭЭГ при восприятии тестируемыми запахами эфирных масел**

**Т а б л и ц я 2. Сумарні ранги змін рівнів когерентності  $\beta$ 2-коливань ЕЕГ під час сприйняття обстежуваними запахів ефірних олій**

Отведение	Суммарные ранги
Fp1	9746
Fp2	9778
P3	10129
P4	9915
O1	9993
O2	10105
T3	9857
T4	9688

залось определенное уменьшение мощности колебаний  $\theta$ -диапазона ЭЭГ (рис. 2). Сопоставимые результаты были описаны и другими авторами при восприятии некоторых запахов [6]. В то же время во многих работах отмечалось, что возрастание СМ данного диапазона ЭЭГ связано с активацией функции внимания [16, 17]. С учетом этих данных Мартин пришел к выводу о снижении уровня внимания человека при восприятии определенных запахов [6]. Такое объяснение, по нашему мнению, не совсем адекватно. Ведь действие любых сенсорных раздражителей в силу неизбежной активации механизмов нисходящего контроля церебральных структур должно приводить к возрастанию уровня внимания, направленного на источник стимула [18]. Необходимо учесть, что в наших эксперимен-

тах задачей испытуемых было целенаправленное восприятие предлагаемых запахов (и дальнейшая их оценка). Следовательно, условия эксперимента требовали от участников определенной концентрации внимания на предъявляемых стимулах. Потенциальной причиной некоторого снижения уровня внимания могло быть то, что после начала тестирования испытуемые ждали команду экспериментатора, а значит, определенная часть внимания была ориентирована на акустические стимулы. После открывания пробирки внимание переключалось на восприятие обонятельной информации, а суммарный эффект активации аттентивных механизмов мог при этом оказаться отрицательным. Тем не менее, в наших контрольных тестах связанного с открыванием пробирки снижения СМ  $\theta$ -ритма не выявлялось (рис. 1), а значит, описанные изменения СМ данного диапазона ЭЭГ можно считать специфическими для анализа воздействия обонятельных стимулов.

Иным объяснением зарегистрированного в наших опытах некоторого уменьшения СМ  $\theta$ -диапазона может быть определенное снижение эмоционального тонуса обследуемых [19], их успокоение, вызванное действием одорантов. В то же время такая интерпретация не может быть справедливой для всех без исключения испытуемых, так как многие из них в самоотчетах про субъективное восприятие предлагаемых запахов характеризовали их как «активирующие», «возбуждающие» [11]. Таким образом, учитывая сказанное выше, можно резюмировать, что наблюдаемый феномен снижения мощ-

ности  $\theta$ 2-диапазона при восприятии ольфакторных раздражителей нуждается в последующем изучении.

Кроме того, представляет интерес некоторое возрастание НСМ  $\theta$ 1-диапазона во фронтальных зонах. Оно сопровождалось повышением уровня пространственной синхронизации в этих же областях. Учитывая тот факт, что именно передние области коры считаются существенной частью структурного субстрата механизмов селективного внимания [18, 20] и памяти [21], можно предположить, что возрастание доли колебаний  $\theta$ 1-диапазона в суммарной ЭЭГ связано с активацией указанных механизмов. Сравнительно небольшая интенсивность этих изменений (отсутствие прироста натуральных значений СМ) может быть объяснена следующим образом. В литературе упоминалось, что существенное возрастание амплитуды  $\theta$ -колебаний сопровождало выполнение специализированных задач, направленных на активное привлечение механизмов селективного внимания и памяти. В наших же опытах таких задач перед тестируемыми не ставилось, а следовательно, степень вовлечения указанных механизмов была невысокой.

Согласно полученным нами результатам, особенности изменений СМ разных частотных субкомпонентов  $\alpha$ -ритма во время восприятия запахов растительных ЭМ свидетельствуют о возможности наличия двух функционально различных составляющих в этом компоненте ЭЭГ.

Как уже указывалось, действие ольфакторных раздражителей приводило к уменьшению СМ  $\alpha$ 1- и  $\alpha$ 2-субдиапазонов ЭЭГ во всех отведениях (рис. 2). Подобная  $\alpha$ -десинхронизация, видимо, является выражением неспецифической активации неокортекса, связанной с сенсорной стимуляцией, причем некоторые авторы уменьшение мощности низкочастотного  $\alpha$ -ритма связывают с активацией механизмов внимания [21]. Подобное предположение согласуется с описанной выше интерпретацией изменений СМ  $\theta$ 1-диапазона во фронтальных отведениях.

Динамика же СМ высокочастотной составляющей  $\alpha$ -ритма оказалась обратной. Следует отметить, что в наших опытах модуляция  $\alpha$ 3-диапазона оказалась более сходной с таковой  $\beta$ -ритма ЭЭГ, чем остальных поддиапазонов  $\alpha$ -ритма. Считается, что усиление высокочастотных колебаний в составе ЭЭГ связано с активацией когнитивных механизмов [22]. Парадигма наших тестов требовала от испытуемых относительно высокоуровневого се-

мантического анализа предлагаемых раздражителей, а следовательно, и вовлечения ассоциативных областей неокортекса. Это, вероятно, и отражалось в возрастании СМ  $\beta$ 2-активности в лобно-височных областях. Доминирование же в данном случае активации затылочных областей коры (судя по изменениям СМ  $\alpha$ 3- и  $\beta$ 1-диапазонов) может рассматриваться как несколько парадоксальный эффект – привлечение к анализу обонятельной информации неокортикальных областей зрительного анализатора. Следует отметить, что правая затылочная область занимала второе место по интенсивности прироста когерентности после левой теменной области (табл. 2). Интересно, что участие затылочных областей в обработке обонятельной информации было показано и в томографических исследованиях [3]. Полагают, что это может являться отражением формирования мысленных зрительных образов, связанных с действием одорантов.

Необходимо отметить, что прирост СМ высокочастотных колебаний ЭЭГ, хоть и менее интенсивный, происходил и во время предъявления обследуемым контрольного «стимула» (рис. 1). Возможным объяснением данного факта, по нашему мнению, могла быть когнитивная установка на детекцию запаха, сформированная у испытуемых перед началом эксперимента, вследствие чего церебральные механизмы «искали» ожидаемый раздражитель в сенсорном потоке даже при отсутствии реальных стимулов. В этом аспекте вызывают интерес данные о влиянии когнитивной установки на характер субъективного восприятия обонятельных раздражителей [23]. Вероятно, что подобная ситуация могла иметь место и в наших исследованиях. Субстратом описанного процесса могла быть активация механизмов нисходящего контроля, которая, как считает Сергин [24], формирует определенный сенсорный «прогноз» и обуславливает генерацию соответствующих специфических паттернов электрической активности, связанных с передачей влияний верхних «этажей» ЦНС на нижние. Интересно также в этом плане упомянуть и работу Майберга и соавт. [25]. Согласно результатам указанной работы эффект плацебо в медицине обусловлен модуляцией активности некоторых кортикальных и субкортикальных структур со стороны «вышерасположенных» отделов коры. В числе таких структур-мишеней в цитируемой работе назывались, в частности, лимбические структуры (префронтальная кора, инсула и др.), которые принимают участие и в анализе обонятельной информации.

Еще одним выявленным нами феноменом, связанным с ольфакторной активацией головного мозга человека, было увеличение уровня пространственной синхронизации колебаний высокочастотной области ЭЭГ во многих парах отведений с участием всех исследуемых областей неокортекса (рис. 2). Количественный анализ изменений УК осцилляций  $\beta$ -диапазона (табл. 1, 2) свидетельствовал о том, что максимальный прирост уровня пространственной синхронизации ЭЭГ происходил в левой теменно-височной области. Функциональное доминирование указанных областей коры при восприятии обонятельных раздражителей было также показано с использованием методик выявления источников вызванных магнитных полей (magnetic source imaging) [26] и регистрации вызванных хемосенсорных потенциалов [27]. Кроме того, увеличение когерентности в высокочастотной области спектра ЭЭГ некоторые исследователи связывают с процессами взаимодействия неокортикальных представительств разных анализаторных систем. При этом указывается, что доминантная роль в данных процессах принадлежит именно теменно-височным зонам [28]. Таким образом, вполне возможно предположить, что зарегистрированные нами одорантзависимые изменения УК высокочастотных колебаний ЭЭГ могли быть проявлением процессов взаимодействия неокортикального представительства обонятельного анализатора с соответствующими структурами других анализаторов. Такое взаимодействие, вероятно, связано с формированием семантического образа на основе полученной сенсорной информации. Следует отметить, что в данном случае наблюдалось доминирование активации левого полушария головного мозга, которое в большей степени задействовано в вербально обусловленные процессы.

При анализе одорантзависимых изменений ЭЭГ интересно сравнить динамику показателей локальной и дистантной синхронизации колебаний ЭЭГ высокочастотной области спектра во время предъявления контрольного и реального ольфакторного стимулов. Возрастание СМ таких осцилляций было общим для обоих экспериментальных условий. В то же время увеличение УК наблюдалось только при восприятии запахов ЭМ (рис. 1; 2). На основании этого можно заключить, что изменения СМ частично связаны с неспецифическими сенсорными процессами, обусловленными активацией механизмов детекции запахов в воздухе, тогда как изменения УК отображают процессы анализа реально по-

ступающей сенсорной информации.

Таким образом, результаты проведенного исследования позволили обнаружить ряд проявлений активации церебральных систем человека, связанных с обработкой обонятельной информации и, вероятно, отражающих некоторые процессы интермодальной интеграции.

*А. О. Чернінський<sup>1</sup>, І. Г. Зима<sup>1</sup>, М. Ю. Макарчук<sup>1</sup>, Н. Г. Піс-  
корська<sup>1</sup>, С. А. Крижановський<sup>1</sup>*

#### ЗМІНИ ЕЕГ ЛЮДИНИ ПРИ НАПРАВЛЕНОМУ СПРИЙНЯТТІ ТА АНАЛІЗІ НЮХОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ

<sup>1</sup> Київський національний університет імені Тараса Шевченка

#### Резюме

Реєстрували ЕЕГ у дорослих випробуваних при сприйнятті запахів рослинних ефірних олій в умовах направленої уваги. Як показано, сприйняття нюхової інформації навіть у випадках невисокої інтенсивності запахів, що не викликають аверсивних ефектів, пов'язано з помітними змінами характеристик ЕЕГ. Зниження спектральної потужності низькочастотних компонентів ЕЕГ (6–10 Гц) свідчило про реакції неспецифічної ЕЕГ-активації, зумовленої сенсорною стимуляцією. Окрім того, спостерігалось зростання спектральної потужності відносно високочастотних складових ЕЕГ (11–25 Гц), найбільш виражене в потиличних регіонах неокортексу. Сприйняття запахів ефірних олій також супроводжувалось зростанням когерентності коливань ЕЕГ, найбільш інтенсивним у  $\beta$ -діапазоні (20–25 Гц). Такі зміни були максимальними в лівій скронево-тім'яній ділянці, що розцінюється як свідчення особливої ролі цих ділянок кори в процесах взаємодії неокортикального представництва нюхового аналізатора з відповідними структурами інших аналізаторних систем. Робиться припущення, що така взаємодія необхідна для побудови семантичного образу аналізуючих стимулів.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Н. Е. Макарчук, А. В. Калуев, *Обоняние и поведение*, КСФ, Киев (2000).
2. D. H. Zald, J. V. Pardo, "Emotion, olfaction and the human amygdala: Amygdala activation during aversive olfactory stimulation," *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **94**, No. 8, 4119-4124 (1997).
3. A. Qureshy, R. Kawasama, M. B. Imran, et al., "Functional mapping of human brain in olfactory processing: A PET study," *J. Neurophysiol.*, **84**, No. 3, 1656-1666 (2000).
4. К. В. Судаков, "Системная организация функций человека: теоретические аспекты", *Успехи физиол. наук*, **31**, № 1, 81-96 (2000).



5. T. S. Lorig, "Human EEG and odor response," *Progr. Neurobiol.*, **33**, Nos. 5/6, 387-398 (1989).
6. G. N. Martin, "Human electroencephalographic (EEG) response to olfactory stimulation: Two experiments using the aroma of food," *Int. J. Psychophysiol.*, **30**, No. 1, 287-302 (1998).
7. С. А. Крижановський, І. Г. Зима, М. Ю. Макарчук та ін., "Стан уваги та електрофізіологічні показники діяльності мозку людини при дії запаху ефірної олії лимону", *Фізика живого (Біофізика і далі)*, **12**, № 1, 111-120 (2000).
8. І. Г. Зима, С. А. Крижановський, Н. Г. Піскорська та ін., "ЕЕГ-характеристики стану спокою людини в умовах одорації ефірними оліями меліси та лимону", *Наук. вісн. Волин. держ. ун-ту ім. Лесі Українки*, № 7, 30-34 (2005).
9. Н. Е. Сви́дерская, Т. А. Королькова, "Пространственная синхронизация электрических процессов мозга: проблемы и решения", *Журн. высш. нерв. деятельности*, **47**, № 5, 792-811 (1997).
10. Ю. К. Корнилов, "Особенности приемов описания в зависимости от описываемого объекта", в кн.: *Психологические проблемы рационализации деятельности*, ЯрГУ, Ярославль (1979), с. 28-41.
11. А. А. Чернинский, И. Г. Зима, Н. Е. Макарчук и др., "Особенности субъективной оценки человеком запахов растительных эфирных масел," *Нейронауки*, № 2, 26-28 (2002).
12. І. Г. Зима, С. А. Крижановський, А. О. Чернінський, "Зміни в ЕЕГ людини при сприйнятті запахів залежно від ступеня їх суб'єктивної приємності чи неприємності", *Вісн. Київ. нац. ун-ту, Сер. Біологія*, Вип. 36, 31-35 (2002).
13. І. Г. Зима, А. О. Чернінський, Н. Г. Піскорська, С. А. Крижановський, "Залежність змін дистантної синхронізації ЕЕГ при сприйнятті гедонічно оцінених запахів від рівня емоційної стійкості людини", *Вісн. Київ. нац. ун-ту, Сер. Біологія*, Вип. 39, 30-31 (2003).
14. А. О. Чернінський, І. Г. Зима, М. Ю. Макарчук та ін., "Обумовлення різних патернів активації автономної нервової системи людини характером суб'єктивної оцінки рослинних ароматів", *Вісн. Київ. нац. ун-ту ім. Тараса Шевченка, Сер. Проблеми регуляції фізіол. функцій*, № 11, 4-6 (2006).
15. Т. Е. Міщук, *Залежність індивідуально-типологічних властивостей та ефективності розумової діяльності від рівня активації мозку (електроенцефалографічне обстеження)*, Афтореф. дис. ... канд. біол. наук, Київ (1995).
16. О. S. Vinogradova, V. F. Kitchigina, and C. I. Zenchenko, "Pacemaker neurons of the forebrain medial septal area and theta rhythm of the hippocampus," *Membrane Cell Biol.*, **11**, No. 6, 715-725 (1998).
17. R. S. Sainsbury, "Hippocampal theta: a sensory-inhibition theory of function," *Neurosci. Biobehav. Rev.*, **22**, No. 2, 237-241 (1998).
18. Р. Наатанен, *Внимание и функции мозга*, Изд-во МГУ, Москва (1998).
19. М. Н. Русалова, М. Б. Костюнина, "Частотно-амплитудные характеристики левого и правого полушарий при мысленном воспроизведении эмоционально окрашенных образов," *Физиология человека*, **25**, № 5, 50-56 (1999).
20. Р. И. Мачинская, "Нейрофизиологические механизмы произвольного внимания (аналитический обзор)," *Журн. высш. нерв. деятельности*, **53**, № 2, 133-150 (2003).
21. W. Klimesch, "EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: a review and analysis," *Brain Res. Rev.*, **29**, Nos. 2/3, 169-195 (1999).
22. В. Н. Кирой, *Механизмы формирования функционального состояния мозга человека*, Изд-во РГУ, Ростов н/Д (1991).
23. R. Herz and J. von Clef, "The influence of verbal labeling on the perception of odors: Evidence for olfactory illusions?" *Perception*, **30**, No. 3, 381-391 (2001).
24. В. Я. Сергин, "Перцептивное связывание сенсорных событий: гипотеза объемлющих характеристик," *Журн. высш. нерв. деятельности*, **52**, № 6, 645-655 (2002).
25. H. S. Mayberg, J. S. Silva, S. K. Brannan, et al., "The functional neuroanatomy of the placebo effect," *Am. J. Psychiat.*, **159**, No. 5, 728-737 (2002).
26. G. Kobal and B. Kettenman, "Olfactory functional imaging and physiology," *Int. J. Psychophysiol.*, **36**, No. 2, 157-163 (2003).
27. В. М. Pause and K. Krauel, "Chemosensory event-related potentials (CSERP) as a key to the psychology of odors," *Int. J. Psychophysiol.*, **36**, No. 2, 105-122 (2000).
28. A. von Stein and J. Sarnthein, "Different frequencies for different scales of cortical integration: from local gamma to long range alpha/theta synchronization," *Int. J. Psychophysiol.*, **38**, No. 3, 301-313 (2000).