На правах рукописи

ТУМЯЛИС АЛЕКСЕЙ ВЯЧЕСЛАВОВИЧ

ИНДИВИДУАЛЬНАЯ ЧАСТОТА АЛЬФА-РИТМА И МЕХАНИЗМЫ ВОСПРИЯТИЯ И ПЕРЕЖИВАНИЯ ЭМОЦИЙ

19.00.02. – психофизиология

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Новосибирск – 2014

Работа выполнена в лаборатории психофизиологии Федерального государственного бюджетного учреждения «Научно-исследовательский институт физиологии и фундаментальной медицины» Сибирского отделения Российской академии медицинских наук, г. Новосибирск.

Научный руководитель:
доктор медицинских наук, профессор, академик РАН Афтанас Любомир Иванович.

Официальные оппоненты:
Аксенов Михаил Михайлович - доктор медицинских наук, профессор, заведующий отделением пограничных состояний Федерального государственного бюджетного учреждения «Научно-исследовательский институт психического здоровья» Сибирского отделения Российской академии медицинских наук;
Бушов Юрий Валентинович - доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой физиологии человека и животных Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет».

Ведущая организация:
Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова Министерства здравоохранения Российской Федерации.

Защита диссертации состоится « » 2014 г. в « » часов на заседании диссертационного совета Д 001.014.01 в ФГБУ «НИИ ФФМ» СО РАМН (630117, г. Новосибирск, ул. акад. Тимакова, 4, тел. (383) 334-89-61, e-mail: dissovet@physiol.ru)
С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБУ «НИИ ФФМ» СО РАМН и на сайте http://www.physiol.ru/diss/.

Автореферат разослан « » 2014г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 001.014.01
кандидат биологических наук И.И. Бузуева

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность проблемы.

Осцилляции ЭЭГ, имеющие веретенообразную структуру, со средней частотой 10 Гц и максимумом мощности в теменно-затылочных отделах коры больших полушарий головного мозга человека в условии закрытых глаз, реагирующие снижением амплитуды в ответ на сенсорные и когнитивные стимулы квалифицируются как “альфа-ритм” (Klimesch et al., 2007; Bazanova, Vernon, 2013). На сегодняшний день установлены физиологические, когнитивные и поведенческие корреляты фоновой мощности и реактивности альфа-ритма, выделены функционально гетерогенные субдиапазоны альфа активности (напр., 6-8, 8-10 Гц и 10-12 Гц) (Klimesch, 1999; Tenke, Kayser, 2005).

Важным интегральным показателем альфа активности является индивидуальная частота альфа ритма (“individual alpha frequency” - IAF), которая у взрослых в возрасте 25-40 лет составляет величину 10±0.5 Гц (Klimesch, 1999). Гипотетически, IAF отражает состояние единого агрегированного ресурса альфа активности (Hooper, 2005). На клеточном уровне в основе IAF могут лежать генетически детерминированные особенности структурной организации нейронов, точнее - их кальциевых каналов, а вариабельность показателя отражает изменения в кортикально-таламических взаимодействиях, зависящие от вида и активности рецепторов (Pfurtscheller, Lopes da Silva, 1999). Концептуально предполагается, что частота альфа-ритма отражает уровень “когнитивной готовности” (“cognitive preparedness”), т.е. готовности нейрональных сетей к когнитивной деятельности (Анохин, 1980; Соколов, 2001; Angelakis et al., 2004). Согласно другой гипотезе, основанной на корреляциях частоты альфа ритма со скоростью моторных реакций в простых и сложных заданиях, IAF отражает скоростные характеристики работы мозга: при высокой частоте происходит более быстрое чередование фаз возбуждения и торможения и, соответственно, возрастает скорость обработки информации и моторных реакции (Klimesch et al., 1996; Умрюхин и др., 2003; Jin et al., 2006).

В качестве доминирующей закономерности можно отметить, что IAF положительно коррелирует с эффективностью выполнения когнитивных (Базанова, Афтанас, 2007; Grandy et al., 2013) и креативных заданий (Базанова, Афтанас, 2007), и отрицательно – с возрастом у взрослых (Clark et al., 2004). При заболеваниях и поражениях мозга, ограничивающих индивидуальные когнитивные ресурсы - уменьшается (Katada et al., 2000; Jeong, 2004; Tran et al., 2004; Stoffers et al., 2007). IAF рассматривается даже как маркер глобальной архитектуры и функциональных свойств головного мозга, отражающий общие когнитивные способности или фактор “g” интеллекта (Умрюхин и др., 2009; Grandy et al., 2013). На внутри-индивидуальном уровне, оставаясь стабильной в состоянии покоя, IAF может меняться, например, под воздействием блокатора NMDA рецепторов кетамина, модулирующего активность таламо-кортикальных образований (Hayashi et al., 2007; Bojak et al., 2013) и изофлурана (Li et al., 2013). Введение никотина приводит к увеличению IAF и эффективности когнитивной деятельности (Hasenfratz et al., 1990; Lindgren et al., 1999). С ростом эффективности повторно выполняемых когнитивных заданий IAF также может увеличиваться (Angelakis et al.,

2004), а длительная медитативная практика, направленная на редукцию когнитивной активности (“mindfulness”), вызывает снижение IAF (Saggar et al., 2012).

По данным повторных исследований одних и тех же индивидов (протоколы “тест-ретест”) IAF является относительно инвариантным и устойчивым во времени показателем (Näpflin et al., 2007; Grandy et al., 2013). Для IAF характерна высокая генетическая наследуемость причем, индивидуальные различия мало зависят от изменений нейрональной пластичности, обусловленных онтогенезом или индивидуальным опытом (Smit et al., 2006). Обладая большой вариабельностью между индивидами, IAF в последнее время рассматривают в качестве возможного нейрофизиологического эндофенотипа - индикатора индивидуальных различий, характеризующего склонность к эффективной когнитивной деятельности и ее высшей форме - креативности (Klimesch et al., 1993; Osaka et al., 1999; Angelakis et al., 2004; Базанова, Афтанас, 2007).

В то же время сведения о связи IAF и эмоциональной реактивности отрывочны и противоречивы. В единичных работах показано, что возникающие в процессе произвольного медленного абдоминального дыхания субъективные ощущения увеличения внутренней энергии и активности (“vigor-activity”) с тенденцией к снижению тревоги сопровождаются градуальным снижением низкочастотной (8-10 Гц) и ростом высокочастотной (10-13 Гц) альфа мощности (Fumoto et al., 2004). Антидепрессивный эффект кетамина сопровождается увеличением IAF (Hayashi et al., 2007). Имеются сообщения об использовании IAF в персонализированных протоколах нейротерапии с использованием биологической обратной связи при эмоциональных нарушениях (Базанова, Афтанас, 2010). Между тем, учитывая, что когнитивные стратегии являются важнейшим компонентом восприятия, переживания и регуляции эмоций (Бехтерева, 1988; Судаков, 1998; Юматов, 2013), определяющие медицинские аспекты индивидуального здоровья и риски развития психосоматических заболеваний (Юматов, 1980; Судаков, 1981; Судаков, Умрюхин, 2010), задача исследования – оценить возможный вклад IAF в механизмы индивидуальной эмоциональной реактивности в моделях восприятия и переживания эмоций.

Цель и задачи исследования:

Цель исследования состоит в изучении связей индивидуальной частоты альфа - ритма с центральными и нейровегетативными механизмами восприятия и переживания эмоций.

Были сформулированы следующие задачи:

1. Выявить связь IAF с показателями индивидуальной вариабельности активности вегетативной нервной системы в состоянии физиологического покоя.
2. Установить связь IAF с показателями индивидуальной вариабельности восприятия неосознаваемых и осознаваемых мотивационно значимых стимулов.
3. Провести анализ взаимоотношений IAF с индивидуальной динамикой кардиоваскулярной реактивности и осцилляторной активности головного мозга в оборонительном рефлексе сердца.
4. Выявить функциональные ассоциации IAF с индивидуальной кардиоваскулярной реактивностью и осцилляторной активностью головного мозга в процессе переживания положительных и отрицательных эмоций.

Положения, выносимые на защиту

1. Индивидуальная частота альфа активности ЭЭГ коррелирует с активностью вегетативной нервной системы в состоянии физиологического покоя.
2. Индивидуальная частота альфа активности ЭЭГ ассоциируется с когнитивными компонентами эмоционального реагирования, связанными с дискриминацией знака и переживанием эмоций.
3. В условиях восприятия и переживания эмоций индивиды с низкой индивидуальной частотой альфа активности ЭЭГ обнаруживают эмоциональный перекос, характеризующийся повышенной реактивностью на негативные стимулы, а лица с высокой частотой альфа-ритма – на позитивные.

Научная новизна исследования.

В результате проведенного системного исследования впервые получены доказательства связи индивидуальной частоты альфа-ритма с механизмами восприятия и переживания положительных и отрицательных эмоций.

Впервые показано, что индивидуальная частота альфа-ритма ЭЭГ (IAF) в состоянии физиологического покоя коррелирует с величиной вариабельности сердечного ритма (SDNN), длительностью респираторной паузы и частотой дыхания.

Впервые показано, что при осознаваемом восприятии по данным субъективных оценок и магнитуды КГР индивиды с IAF выше медианы по выборке испытуемых, по сравнению с индивидами с IAF ниже медианы, воспринимают предъявленные зрительные стимулы как более эмоциогенные, а по данным вызванной синхронизации/десинхронизации ЭЭГ обнаруживают большее увеличение мощности низкочастотных диапазонов ЭЭГ (дельта, тета-1 и тета-2) в центральных и задних отделах коры и высокочастотной альфа-3 в лобных отделах коры на начальных этапах восприятия, вне зависимости от эмоциональной категории стимула.

Впервые установлено, что ожидание неизбегаемой угрозы у лиц с низкой IAF, по сравнению с индивидами с высокой IAF, сопровождается устойчиво более высоким диастолическим АД и более высокой альфа-1 мощностью ЭЭГ. Межиндивидуальная вариабельность и динамика коротко- и длинно-латентной кардиоваскулярной реактивности в исследуемой оборонительной реакции не зависела от IAF, однако, по данным вызванной синхронизации/десинхронизации ЭЭГ в альфа-3 полосе, повторные предъявления стрессора вызывали увеличение мощности у лиц с высокой IAF.

Впервые установлено, что в модели вызванных эмоций (извлечение из памяти недавних эмоциональных событий – “recall generation”) бóльшая эмоциональная реактивность на положительные эмоциональные стимулы наблюдается у лиц с высокой IAF, проявляющаяся в большей доступности следов памяти на недавние эмоционально положительные события, а также в повышенной интенсивности их переживания (по данным субъективного шкалирования и амплитуды КГР). По данным осцилляторной активности ЭЭГ при переживании радости лица с высокой IAF, по сравнению с индивидами с низкой IAF, демонстрируют большую вызванную синхронизацию альфа-3 активности в центрально-теменных отделах коры головного мозга билатерально.

Теоретическое и научно-практическое значение работы.

Работа посвящена актуальной проблеме изучения центральных механизмов инди-

видуальной вариативности мозговых процессов у человека. Теоретическое значение состоит в получении новых фундаментальных знаний об ассоциации IAF с механизмами восприятия и переживания положительных и отрицательных эмоций.

Полученные данные позволяют рассматривать IAF в качестве вероятного нейрофизиологического эндофенотипического индикатора индивидуальных различий, характеризующих склонность к эффективной когнитивной деятельности и ее высшей форме – креативности.

Результаты настоящего исследования легли в основу формирования персонализированных протоколов волевой регуляции эмоциональных состояний в норме и патологии с помощью биологической обратной связи. Полученные в настоящем исследовании данные можно рассматривать как предварительное обоснование целесообразности потенциального изучения IAF в качестве предиктора риска возникновения психосоматических и психопатологических состояний, связанных с нарушением когнитивно-эмоционального реагирования.

Результаты работы используются при чтении курсов лекций в Федеральном Государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет», Федеральном государственном бюджетном учреждении высшего профессионального образования «Новосибирский государственный педагогический университет», Негосударственном образовательном учреждении (высшем учебном заведении) «Сибирский независимый институт».

Апробация работы.

Основные результаты были доложены в виде стендовых докладов на VI Сибирском физиологическом съезде (г. Барнаул, 2008 г.), XIV Всемирном конгрессе по психофизиологии “Olympics of the brain” (г. Санкт-Петербург, 2008 г.), XXI съезде физиологического общества им. И.П. Павлова (г. Калуга, 2010). Этапы настоящего исследования были поддержаны следующими грантами: РФФИ “Динамика кортико-висцеральных взаимоотношений в условиях конфронтации с аверсивными воздействиями: модулирующие влияния индивидуальных различий в активности систем положительного и отрицательного подкрепления”, проект № 06-04-49627а; РГНФ “Психофизиологический анализ индивидуальных стратегий неосознаваемого восприятия социальных сигналов угрозы” № 09-06-00458а.

Объем и структура диссертации.

Содержание диссертации изложено на 135 страницах печатного текста. Диссертационная работа состоит из введения, обзора литературы, описания методов исследования и условий постановки экспериментов, главы результатов собственных исследований обсуждения, выводов, указателя цитируемой литературы. Работа иллюстрирована 4 таблицами и 14 рисунками. Библиографический список включает 24 отечественных и 273 зарубежных источников.

Личный вклад автора.

Весь материал, представленный в диссертации, получен, обработан и проанализирован лично.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Испытуемые. В исследовании использовалось пять экспериментальных моделей. В модели эмоциональный Струп-тест приняло участие 32 испытуемых, восприятия эмоциональных изображений-62, эмоциональной модуляции стартл-реакции - 37, оборонительного рефлекса сердца - 47 и актуализации эмоций – 48. Испытуемыми выступали мужчины, все правши с нормальным или скорректированным до нормального уровнем зрения. Из исследования были исключены лица с повышенным артериальным давлением (САД>140 мм.рт.ст., ДАД >90 мм.рт.ст.), сахарным диабетом, заболеваниями почек и печени, сердечной недостаточностью, стенокардией, нарушениями ритма сердца. Накануне исследования у каждого испытуемого оценивали рост, вес, индекс массы тела (ИМТ). **Психометрическое тестирование.** Психологические характеристики испытуемых оценивались с помощью следующих опросников: опросник личностной и ситуативной тревожности Спилбергера (STAI); опросник депрессии Бека (BDI); Торонтская шкала алекситимии (TAS-26); шкала социальной желательности Марлоу – Крауна (MCSDS); опросник личностной и ситуативной гневливости Спилбергера (STAXI); опросник личности Айзенка (EPQ); шкала позитивного и негативного аффекта (PANAS-trait); опросник систем активации (САП) и торможения поведения (СТП) Карвера и Уайта (BIS/BAS); опросник депрессии, тревоги и стресса (DASS); “Опросник эмоционального интеллекта” К. Барчарда; опросник “Способы совладающего поведения” Р. Лазаруса; опросник Поргеса восприятия телесных ощущений; Опросник NEO-PI.

Общая процедура исследования: 1) измерение офисного АД согласно принятым стандартам; 2) Заполнение анкет и опросников, ознакомление с процедурой; 3) наложение физиологических сенсоров и микроманжетки; 4) адаптация испытуемого к процедуре в течение 15 мин.; 5) Регистрация состояния физиологического покоя; 6) процедура исследования в рамках экспериментальных моделей. **Модифицированный эмоциональный тест Струпа**. Метод нацелен на регистрацию особенностей неосознаваемого восприятия эмоционально окрашенной информации. В качестве индикатора используется модуляция времени реакции при предъявлении на неосознаваемом уровне (20 мсек) эмоциональной информации (лиц с экспрессией гнева, страха, радости) относительно нейтральной. Стратегии неосознаваемого восприятия оцениваются по формуле: *Стратегия неосознаваемого восприятия = среднее значение времени реакции (мсек.) в ответ на эмоциональные стимулы минус среднее значение времени реакции (мсек.) в ответ на нейтральные стимулы:* $СВ=ВР_{эм}-ВР_{нейт}$. **Восприятие эмоциональных изображений**. На экране монитора предъявлялись изображение одной из трех категорий (нейтральные, позитивные и негативные) в течение 5 секунд. Испытуемые просматривали каждое изображения и затем оценивали их по девятибальным шкалам «знак» и «возбуждение». **Эмоциональная модуляция стартл-реакции.** Стартл-реакция регистрировалась в виде электромиограммы (ЭМГ) амплитуды сокращения круговой мышцы глаза в ответ на аверсивный звуковой раздражитель высокой интенсивности, который предъявлялся на фоне визуальной экспозиции испытуемому эмоциональных контекстуальных стимулов трех различных категорий: эмоционально нейтральные (n=12), эротические (позитивные, n=12), угрожающие

(негативные, n=12). Акустический зондовый стартл-сигнал представлял собой белый шум громкостью 110 дБ с мгновенными фронтами нарастания и падения. После завершения процедуры производилась субъективное шкалировние эмоционального впечатления от контекстных стимулов по двум 9 — бальным шкалам («приятно-неприятно», «спокоен-возбужден»), (Self-Assessment Manikin – SAM). Также анализировалось время просмотра изображений. **Оборонительный рефлекс сердца (ОРС).** ОРС вызывали с помощью предъявления 3-х (S1, S2 и S3) последовательных интенсивных звуковых стимулов (белый шум 115 дБ, длительность 1000 мс, мгновенное нарастание и падение фронтов) с фиксированным межстимульным интервалом 110 с. **Индукция положительной и отрицательной эмоциональной активации.** Испытуемым предлагалось при закрытых глазах вспомнить из своего недавнего прошлого и в течение 110 секунд воспроизвести в воображении ситуации межличностных взаимодействий, связанных с сильным переживанием эмоций гнева и радости. После воспроизведения каждой эмоциональной ситуации испытуемые давали субъективную оценку своему состоянию во время воспроизведения образов по следующим 9-бальным шкалам: 1) эффективность воспроизведения из памяти эмоционально значимого события (“Лёгкость извлечения следа памяти”); 2) отчетливость возникающих в воображении образов (“Отчётливость генерируемых образов); 3) интенсивность возникающих вызванных эмоций (“Интенсивность переживания”). **Регистрация ЭЭГ и нейровегетативных показателей.** ЭЭГ (62 канала, полоса пропускания 0,3–120,0 Гц, 6 дБ, ≥ 12 дБ/октаву, частота дискретизации 1000 Гц) регистрировали монополярно с помощью программы BrainProduct Acquisition 1.1 и многоканального усилителя QuickAmp (BrainProducts GmBh) и модифицированной 64-канальной шапочки со встроенными Ag/AgCl электродами (QuikCap, NeuroSoft, Inc.). Референтный электрод располагался на кончике носа, заземляющий — в центре лба. Поддерживалось сопротивление ≤ 5 kΩ. Для контроля глазодвигательных артефактов регистрировались вертикальная и горизонтальная электроокулограммы (ЭОГ). Под визуальным контролем и с помощью метода анализа независимых компонент (Independent Components Analysis, ICA) проводилась коррекция глазодвигательных, миографических и других артефактов. Спектры мощности и показатели вызванной синхронизации/десинхронизации ЭЭГ (ВД/ВС) рассчитывали в дельта (2-4 Гц), тета-1 (4-6 Гц), тета-2 (6-8 Гц), альфа-1 (8-10 Гц), альфа-2 (10-12 Гц), альфа-3 (12-14 Гц), бета-1 (14-20 Гц), бета-2 (20-30 Гц) и гамма (30-45 Гц) диапазонах. Значения спектральных плотностей и ВД/ВС, полученные для отдельных отведений, были усреднены в пределах 24-х топографических зон, сформировав три фактора – КАУДАЛЬНОСТЬ (лобные - F, лобно-центральные - FC, центральные - C, центрально-теменные - CP, теменные - P, теменно-затылочные - PO), ЛАТЕРАЛЬНОСТЬ (Медиальные, Латеральные), ПОЛУШАРИЕ (Левое, Правое). Для регистрации параметров **дыхания** использовали резистивный пояс, который накладывали на субтарокальную область, с выходом на резистивный мост Coulburn V72-25 регистрацией в системе ESI-128. Динамику показателей дыхания оценивали с помощью специализированного программного обеспечения на базе LibView (National Instruments, USA). Анализировались показатели частоты и среднего периода дыхания, длительности вдоха/выхода, длительности экспи-

раторной паузы, амплитуды вдоха/выдоха. **Регистрацию электромиографии** при сокращений круговой мышцы левого и правого глаза производили с помощью двух миниэлектродов Sensormedics. Электроды были наложены ниже глаз на расстоянии 10-15 мм друг от друга. Сопротивление электродных пар было меньше 20 KΩ. ЭМГ сигнал был усилен в 10000 раз и отфильтрован 13-1000 Гц используя усилитель Coulbourn isolated bioamplifier with bandpass filter model V75-04. Затем сигнал был интегрирован используя Coulbourn 4 channel integrator model V76-24 с временной константой 10 мсек. **Кожно-гальваническую реакцию** регистрировали в варианте кожной проводимости (skin conductance response-SCR) в соответствии с принятыми рекомендациями (Vernet-Maury, 1991; Vernet-Maury et al., 1996). Сигналы поступали в Coulbourn S71-22 (Coulbourn Instruments, США), на пациента подавалось напряжение 0.5 В, постоянная времени составляла 5 с. Регистрация, оцифровка и синхронизация во времени осуществлялась с помощью многоканального усилителя QuickAmp (BrainProducts, Германия). Для характеристики кожно-гальванической реакции (КГР) использовали количество и амплитуду (μS) спонтанных реакций в заданном интервале (критерий наличия реакции: амплитуда > 0.02 μS при скорости роста > 0.01 μS/с). Дополнительный анализ электродермальной активности проводился с помощью программы LEDALab по данным восстановленной активности судомоторного нерва. **Регистрация гемодинамических показателей с помощью технологии Finapres®.** Кардиоваскулярную реактивность оценивали при помощи системы “поударного” мониторирования FinometerTM (FMS, Нидерланды). В основе технологии неинвазивной регистрации артериального давления в пальцевой артерии, лежит метод постоянного объема (volume-clamp method of Penaz), предложенный Penaz в 1967 году (Finapres Medical System BV. 2003). Технология Finometer позволяет зарегистрировать следующие гемодинамические параметры: САД (мм.рт.ст.), ДАД (мм.рт.ст.), СрАД (мм.рт.ст.), ударный объем (УО (мл)), сердечный выброс (СВ (л/мин.)), общее периферическое сопротивление сосудов (ОПСС (мм.рт.ст.×с/мл)). Частота сердечных сокращений (ЧСС (уд/мин) являлась производной от R-R интервала. Для посекундной реконструкции и анализа гемодинамических показателей использовалось программное обеспечение Beatscope v. 1.1. **Вариабельность сердечного ритма.** В моделях ОРС и актуализации эмоций ВСР анализировали на основе данных ЭКГ записи с состоянии покоя с закрытыми глазами в течение 180 с. Вариабельность сердечного ритма оценивали с помощью специализированного программного обеспечения на базе LibView (National Instruments, USA). Анализировались показатели: частота моды, амплитуда моды, вариационный размах, SDNN, pNN50%, спектральные оценки - VLF (0-0.04 Гц), LF (0.04-0.15 Гц), HF (0.15-0.4 Гц), TotalPower, LF/HF, распределение Пуанкаре – длина распределения (L), ширина распределения (W), L/W. В модели осознанного восприятия эмоциональных изображений производилась запись ЭКГ в состоянии покоя в течение 5 минут с открытыми глазами. Определение R-пиков и экспорт R-R интервалов производились в программе Analyzer 2.0. Вариабельности R-R интервалов анализировалась в программе Kubios HRV 2.1 с расчетом следующих показателей: во временной области – TINN, HRV triangular index, SDNN, RMSSD, NN50, pNN50; в частотной области – абсолютные и нормализованные значения VLF (0-0.04

Гц), LF (0.04-0.15 Гц), HF (0.15-0.4 Гц), LF/HF, TotalPower; нелинейные методы – распределение Пуанкаре (SD1, SD2), Approximate entropy, Sample entropy, Detrended fuctuation analysis (α1, α2), Shannon information entropy, корреляционная размерность (D2).

IAF определяли в состоянии покоя (закрытые глаза) в отведении Pz. Для определения IAF безартефактные фрагменты ЭЭГ разделялись на эпохи длиной 5 с (5120 отсчетов АЦП) и подвергались быстрым преобразованиям Фурье (FFT); шаг спектра, таким образом, составил 0,2 Гц. Полученные значения мощности усреднялись. В случае наличия двух и более спектральных пиков вычисляли центр тяжести спектра (spectral gravity) по формуле: $IAF=\Sigma(P_i \times F_i)/\Sigma(P_i)$, где Σ – сумма значений, P – мощность пика, F — частота пика. По значению медианы распределения выборки делили на две группы испытуемых: низкочастотных (НЧ) и высокочастотных (ВЧ).

Статистический анализ полученных данных. Миографические, вегетативные и ЭЭГ показатели анализировались с помощью многофакторных дисперсионных анализов (ANOVA) с повторными измерениями. Межгрупповые различия анализировались с включением фактора ГРУППА (НЧ, ВЧ), а внутригрупповые различия анализировались по показателям (ре-)активности в каждой экспериментальной модели. В случае необходимости проводились модифицированные ANOVA, коррекция значений уровней статистической достоверности с помощью поправок Гринхауза-Гейссера (G-G, проверка на сферичность модели) и сравнения средних с помощью критерия Стьюдента (двусторонний t-критерий для независимых или зависимых выборок). Post-hoc анализы проводили с помощью плановых сравнений и теста Tukey.

Анализ сопряжения показателей осцилляторной (мощность и ВС/ВД ЭЭГ в различных частотных диапазонах) и вегетативной активности и IAF проводили с помощью линейной корреляции (Pearson) с контролем выбросов. Значимыми считались различия при $p<0,05$.

Статистический анализ выполнен в среде лицензионного пакета Statistica v.10.0. для Windows

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В состояние физиологического покоя установлены достоверные сопряжения IAF с показателями активности дыхательной и сердечно-сосудистой систем. Обнаружено, что длительность экспираторной паузы положительно коррелирует с IAF ($r=0,388$, $p=0,003$), а частота дыхания - отрицательно ($r=-0,371$, $p=0,045$). Также IAF положительно коррелирует с вариабельностью сердечного ритма (по показателю стандартного отклонения NN интервалов, SDNN) при регистрации SDNN в условии закрытых глазах ($r=0,307$, $p=0,038$), и отрицательно при регистрации SDNN в условии открытых глаз ($r=-0,293$, $p=0,026$).

По психометрическим шкалам, а также по возрасту, BMI, уровню систолического и диастолического артериального давления в состоянии покоя в каждой экспериментальной модели значимых различий между группами не обнаружено.

Неосознаваемое восприятия эмоциогенных стимулов.

Установлена достоверно меньшая скорость моторной реакции при неосознаваемом восприятии эмоции гнева по сравнению с другими категориями стимулов (лица с

экспрессией радости и страха) ($F(2,58)=5,08$, $p=0,010$). Влияние неосознаваемого восприятия всех категорий лиц на время моторной реакции не зависела от IAF.

Осознаваемое восприятие эмоциональных изображений.

По данным субъективного восприятия знака эмоции вне зависимости от группы все испытуемые оценивают негативные изображения более отрицательно и позитивные более положительно относительно нейтральных. ВЧ, по сравнению с НЧ, (ГРУППА×ЭМОЦИЯ: $F(2,112)=4,812$, $p=0,025$) оценивают негативные изображения как более негативные ($ГРУППА_{НЕГ}$: $F(1,56)=4,342$, $p=0,042$) и, на уровне тенденций, нейтральные ($p=0,079$) и эмоционально положительные ($p=0,071$) как более позитивные. По показателю субъективного восприятия активационного содержания у всех испытуемых эмоционально положительные и отрицательные изображения вызывают большее возбуждение, чем нейтральные. При этом ВЧ оценивали все категории сигналов как более активирующие (ГРУППА: $F(1,56)=9,10$, $p=0,004$) с более высокими оценками возбуждением при восприятии положительных и отрицательных изображений (ГРУППА×ЭМОЦИЯ: $F(2,112)=3,35$, $p=0,044$). Установлена также положительная корреляционная связь IAF с амплитудой КГР в условиях восприятия нейтральных ($r_{Spearmen}=0,317$, $p=0,041$), положительных ($r_{Spearmen}=0,318$, $p=0,040$) и негативных ($r_{Spearmen}=0,337$, $p=0,029$) изображений.

Анализ данных реактивности ЭЭГ проводится в каждом частотном диапазоне с включением факторов ГРУППА 2 (НЧ, ВЧ), ВРЕМЯ 5 (0-0,25 сек., 0,25-0,5 сек., 0,5-1 сек., 1-3 сек., 3-5 сек.), ЭМОЦИЯ 3 (нейтральное изображение, позитивное, негативное) и топографических факторов. Восприятие нейтральных и эмоциогенных стимулов лицами с высокой IAF сопровождалось эффектами в целом большей вызванной синхронизаций ЭЭГ в дельта, тета-1 и тета-2 диапазонах в группе ВЧ по сравнению с НЧ. В **дельта** диапазоне на фоне увеличения мощности в первую секунду реакции и последующим ее падением, ВЧ имеют более высокую мощность, чем НЧ в периоды 0,5-1 сек. и 1-3 сек. (ГРУППА×ВРЕМЯ $F(4,208)=3,262$, $p=0,041$). В **тета-1** диапазоне большая синхронизация у ВЧ обнаружена в медиальных отделах центральной, центрально-теменной и затылочной коре (ГРУППА - $F(1,54)=7,881$, $p=0,007$; ГРУППА×КАУДАЛЬНОСТЬ - $F(5,270)=3,533$, $p=0,042$; ГРУППА×ЛАТЕРАЛЬНОСТЬ $F(1,54)=5,513$, $p=0,023$); в **тета-2** – в медиальных отделах центрально-теменной и затылочной коры (ГРУППА×КАУДАЛЬНОСТЬ×ЛАТЕРАЛЬНОСТЬ - $F(5,255)=4,926$, $p=0,005$). В **альфа-3** межгрупповые различия были связаны с различной временнóй динамикой вызванной синхронизации/десинхронизации и топографией – у ВЧ на протяжении первой секунды восприятия в лобной и лобно-центральной коре обнаруживались эффекты динамической синхронизации, которая в последующем сменялась десинхронизацией ЭЭГ. В то же время в группе НЧ динамическая реакция в виде начальной альфа-3 синхронизации отсутствовала (ГРУППА×ВРЕМЯ×КАУДАЛЬНОСТЬ - $F(20, 1020)=2,752$, $p=0,026$).

Таким образом, установлено, что по данным субъективной оценки стимулов, амплитуды КГР и вызванной синхронизации ЭЭГ низкочастотной активности (дельта, тета-1 и тета-2) в центральных и задних отделах коры и альфа-3 в лобных отделах ко-

ры на начальных этапах восприятия (до одной секунды) лица с высокой IAF, по сравнению с лицами с низкой IAF, воспринимают стимулы как более эмоциогенные вне зависимости эмоциональной категории.

Эмоциональная модуляция стартл-реакции.

Вне зависимости от IAF испытуемые оценивали эротические изображения как более положительные и негативные как более отрицательные по сравнению с нейтральными. По показателю субъективной оценки активационного содержания изображений обнаружено, что эротические и негативные изображения вызывают больший уровень возбуждения, чем нейтральные; также изображения эротического содержания оцениваются как более возбуждающие, чем негативные. Время просмотра изображений различных эмоциональных категорий не различается.

По данным ЭМГ реакции на стартл-сигнал обнаружено более выраженное ее подавление на фоне эротических изображений, чем на фоне негативных ($F(1,32)=12,78$, $p=0,001$). Латентность КГР на стартл-сигнал значимо также больше на фоне эротических изображений по сравнению с нейтральным ($F(2,70)=3,43$, $p=0,042$). Также обнаружено меньшее количества появлений КГР реакции на фоне эротических изображений при сравнении с нейтральнымм и негативнымм ($F(2,70)=14,35$, $p=0,000$). Межгрупповые различия, а также различия с вовлечение фактора ГРУППА не достигли уровня значимости.

Оборонительный рефлекс сердца.

В состоянии покоя и периоды ожидания раздражителей (предстимульные интервалы, ПСИ) диастолическое давление у НЧ выше, чем у ВЧ (ГРУППА: $F(1,38)=10,47$, $p=0,003$). Межгрупповые различия не проявляются в состоянии покоя, но выявлены в ожидании всех трех раздражителей (ГРУППА×УСЛОВИЕ: $F(3,114)=3,39$, $p=0,040$) (Рис. 1). В группе НЧ диастолическое давление слабо повышается от состояния покоя к ожиданиям неопределенной (ПСИ 1) и знакомой (ПСИ 2, 3) угрозы. В группе ВЧ динамика диастолического давления совершенно иная - в ожидании первого удара (ПСИ 1, раздражитель предъявляется впервые) давление снижается относительно фона, а затем, в периоды ожидания последующих ударов (ПСИ 2, 3), увеличивается до значений фона, не достигая, однако, показателей испытуемых в группе НЧ. Среднее артериальное давление вне зависимости от условий выше у НЧ, чем у ВЧ (ГРУППА: $F(1,38)=8,27$, $p=0,007$). По данным корреляционного анализа отрицательные связи IAF с величинами диастолического и среднего давления обнаружены в предстимульных интервалах 1-3 (Среднее АД: ПСИ1: $r=-0,388$, $p=0,007$; ПСИ2: $r=-0,316$, $p=0,031$; ПСИ3: $r=-0,326$, $p=0,025$; ДАД: ПСИ1: $r=-0,408$, $p=0,004$; ПСИ2: $r=-0,342$, $p=0,019$; ПСИ3: $r=-0,356$, $p=0,014$). (Рис. 1.)

Согласно динамике ЭЭГ, достоверные различия между группами возникают только в альфа-1 диапазоне в последнем интервале ожидания угрозы (ПСИ3). Анализ взаимодействий факторов ГРУППА×ПСИ1,3×КАУДАЛЬНОСТЬ×ЛАТЕРАЛЬНОСТЬ ($F(5,190)=5,56$, $p=0,003$) показал, что в третьем периоде ожидания низкочастотные индивиды по сравнению с высокочастотными обнаруживают более высокую мощность в медиальных отделах центрально-теменной, теменной и теменно-затылочной коры (ПСИ3: ГРУППА×КАУДАЛЬНОСТЬ×ЛАТЕРАЛЬНОСТЬ: $F(5,190)=4,86$,

p=0,003). Данный эффект подтверждается результатами корреляционного анализа - большая мощности низкочастотной альфа активности наблюдается у лиц с низкой IAF.

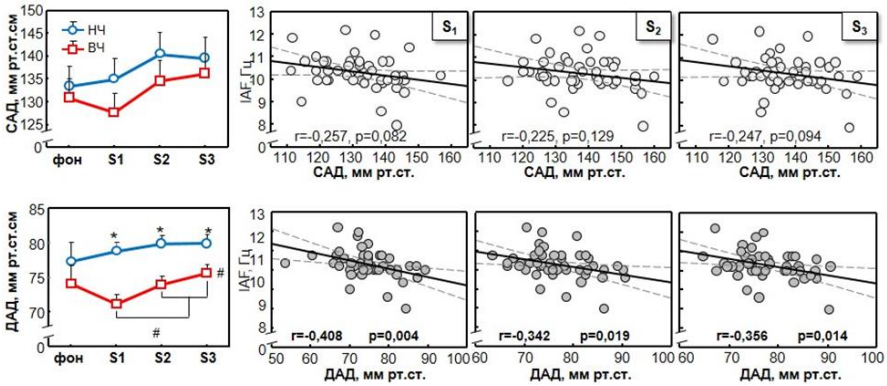

Рис. 1. Динамика САД и ДАД и графики линейной корреляции (Spearman) с IAF в периоды ожидания первого (s1) и повторных (s2, s3) предъявлений безусловного аверсивного раздражителя

Связи индивидуальной частоты альфа активности и показателями гемодинамической реактивности не выявлено.

Анализ реактивности ЭЭГ выявил, что в **альфа-3** диапазоне у ВЧ происходит увеличение мощности (ГРУППА: F(1,38)=4,13, p=0,049). Причем, если реакция на первое предъявление стимула не зависит от IAF и характеризуется ранней десинхронизацией и поздней синхронизацией альфа-3 мощности (ВРЕМЯ: F(3,114)=7,32, p=0,001), то реализация третьего ОРС сопровождается синхронизацией альфа-3 у ВЧ (ГРУППА: F(1,38)=4,74, p=0,036) вне зависимости от времени. Топографически синхронизация у ВЧ происходит в центрально-теменных отделах коры (ГРУППА×КАУДАЛЬНОСТЬ×ЛАТЕРАЛЬНОСТЬ: F(5,190)=3,68, p=0,015). Временные характеристики реакции выражаются в увеличении мощности альфа-3 активности у ВЧ в правом полушарии в период коротколатентных гемодинамических компонент реакции и в обоих полушариях в период длиннолатентных гемодинамических компонент (ГРУППА×ВРЕМЯ×ПОЛУШАРИЕ: F(3,114)=4,29, p=0,008) (Рис. 2).

По данным корреляционного анализа обнаружены положительные ассоциации IAF с мощностью ЭЭГ в альфа-3 диапазоне в лобной правой и медиальной коре в период коротколатентных гемодинамических компонент реакции и в лобной медиальной и левой центрально-височной коре в период длиннолатентных гемодинамических компонент.

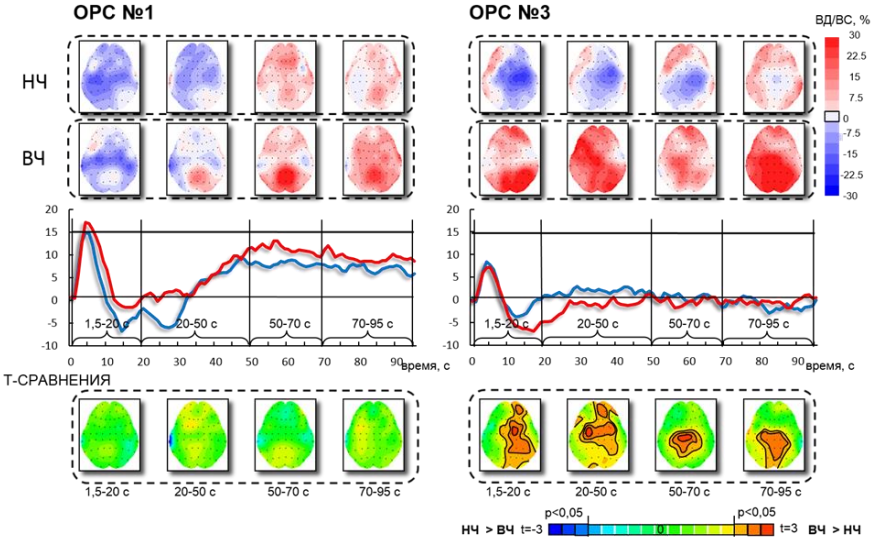

Рис. 2. Топографические карты динамики вызванной синхронизации/десинхронизации ЭЭГ в альфа-3 (12-14 Гц) диапазоне в группах низко- (НЧ) и высокочастотных (ВЧ) испытуемых, и карты статистических различий в реактивности (t-критерий Стьюдента) между группами, а также динамика реактивности систолического артериального давления в группах в процессе реакции на предъявление первого (ОРС №1) и третьего (ОРС №3) аверсивного стимула

Таким образом, установлено, что:

1. в процессе ожидания безусловных аверсивных раздражителей индивиды с низкой IAF обнаруживали достоверно большее ДАД, чем испытуемые с высокой IAF;
2. по данным динамики спектров мощности ЭЭГ периоды ожидания аверсивных стимулов у лиц с высокой IAF наблюдалось снижение, а у индивидов с низкой IAF – увеличение альфа-1 мощности в центрально-теменных, теменных и затылочных отделах медиальной коры;
3. по данным вызванной синхронизации ЭЭГ в альфа-3 полосе повторные предъявления стрессора вызывали у лиц с высокой IAF увеличение мощности.

Индукция положительной и отрицательной эмоциональной активации.

Анализ субъективной оценки легкости извлечения следов эмоциональной памяти показывает, что межгрупповые различия зависят от знака эмоции (ГРУППА×ЭМОЦИЯ: $F(1,39)=7,05$, $p=0,011$). Оказалось, что ВЧ достоверно легче воспроизводят радость по сравнению с гневом, а у НЧ эти различия не значимы. По показателю “отчетливость генерируемых образов”, все индивиды более отчетливо актуализировали радость по сравнении с гневом. Однако, согласно взаимодействию факторов ГРУППА×ЭМОЦИЯ ($F(1,39)=4,07$, $p=0,050$) и данным раздельных ANOVA, этот эффект значим только у ВЧ, а у НЧ различия между эмоциями недостоверны.

Анализ значений интенсивности переживания целевых эмоций показал, что в целом у всех индивидов интенсивность переживания радости больше, чем гнева. Однако, анализ взаимодействия факторов ГРУППА×ЭМОЦИЯ ($F(1,39)=7,62$, $p=0,009$) указывает на зависимость интенсивности переживания от IAF и знака эмоции: ВЧ переживают радость с большей интенсивностью, чем гнев, а в группе НЧ этот эффект выражен слабее. Связь высокой IAF с положительной эмоциональностью подтверждается значимыми корреляциями IAF с легкостью извлечения следа памяти на эмоцию радости ($r=0,368$, $p= 0,009$) и интенсивностью переживания этой эмоции ($r=0,285$, $p=0,049$).

По данным амплитуды КГР, симпатическая активация для обеих эмоций значимо выше у ВЧ (ГРУППА: $F(1,35)=4,61$, $p=0,039$). А раздельных ANOVA межгрупповые различия достоверны только для радости ($F(1,35)=9,91$, $p=0,003$). Результаты корреляционного анализа подтверждают направленность межгрупповых различий - IAF достоверно положительно коррелирует с амплитудой КГР при переживании радости ($r=0,400$, $p=0,008$, $n=43$). (Рис.3)

Динамика реактивности мощности ЭЭГ показывает, что факторы Группа и Эмоция связаны только с альфа-3 диапазоном, в котором, на фоне вызванной синхронизации у всех испытуемых для обеих эмоций, для эмоции радости ее прирост достоверно больше у ВЧ (ГРУППА×ЭМОЦИЯ: $F(1,39)=7,69$, $p=0,008$). Дополнительно это подтверждается эффектом фактора ГРУППА в раздельном ANOVA при фиксации фактора ЭМОЦИЯ ($F(1,39)=4,65$, $p=0,037$) (Рис. 4).

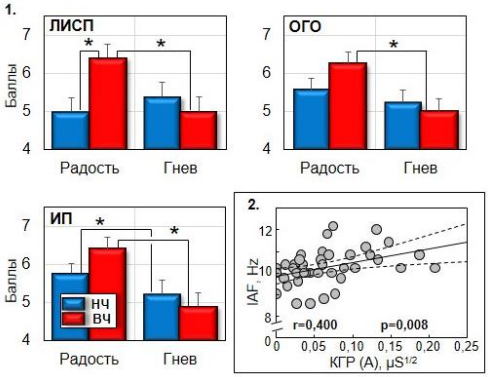

Рис. 3. Средние значения (M±SE) оценок эффективности актуализации в индивидуальном субъективном пространстве и переживания целевых эмоций “радость” и “гнев” по факторам легкость извлечения следа памяти (ЛИСП), отчетливость генерации образа (ОГО) и интенсивности переживания (ИП) в группах низко- (НЧ) и высокочастотных (ВЧ) испытуемых. 2. График линейной корреляции (Spearman) IAF с амплитудой КГР при переживании эмоции “радость”

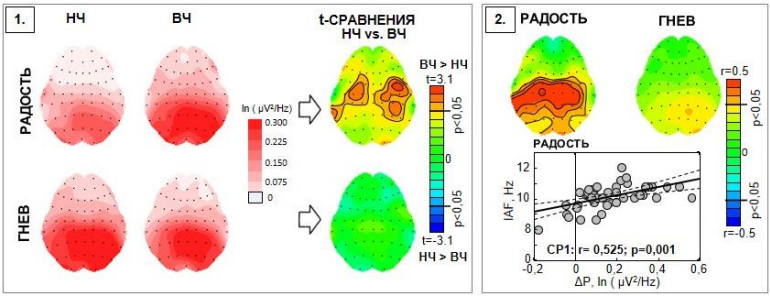

Рис. 4. Топографические карты реактивности альфа-3 (12-14 Гц) мощности ЭЭГ ($lnP_{эмоция} – lnP_{фон}$) при переживании положительной и отрицательной эмоций в группах низко- (НЧ) и высокочастотных (ВЧ) испытуемых и карты статистических различий в реактивности (t-критерий Стьюдента) между группами. 2. Топографические карты распределения коэффициентов линейной корреляции (Spearman) эмоциональной реактивности мощности ЭЭГ с IAF при переживании эмоций “радость” и “гнев” и график корреляции (реактивность мощности в левой центрально-теменной зоне в отведении CP1) для эмоции “радость”

Результаты корреляционного анализа также указывают на достоверную только для положительной эмоциональной активации прямую корреляцию IAF вызванной синхронизацией высокочастотной альфа, и топографически представлены в центрально-теменной коре билатерально.

Таким образом, установлено, что:

1. лица с высокой IAF имеют большую доступность следов памяти на недавние эмоционально положительные события, а также повышенную интенсивность их переживания (по данным субъективного шкалирования и амплитуды КГР);
2. По данным осцилляторной активности в альфа-3 диапазоне при переживании радости лица с высокой IAF по сравнению с индивидами с низкой IAF демонстрируют большую альфа-3 синхронизацию ЭЭГ в центрально-теменных отделах коры головного мозга билатерально.

ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведенного системного психофизиологического исследования были изучены вегетативные и центральные корреляты восприятия и переживания положительных и отрицательных эмоций у лиц с различной IAF.

В состоянии покоя установлены достоверные сопряжения IAF с показателями активности дыхательной и сердечно-сосудистой систем. По данным дыхания обнаружены положительные корреляции IAF с экспираторной паузой и отрицательная – с частотой, т.е., в целом, индивиды с высокой IAF характеризуются более редким дыханием. Можно полагать, что сниженная частота дыхания у лиц с высокой IAF отражает повышенную бдительность (“alertness”) и готовность к переработке информации, механизмы которых связывают с высокочастотной активностью альфа (10.25-13 Гц) (Aeschbach et al., 1999; Fumoto et al., 2004; Chan et al., 2011). Предполагая возможные

нервные механизмы сопряжения IAF и дыхания, нужно отметить, что адаптивная регуляция дыхательного цикла осуществляется не первичными инспираторными и экспираторными центрами ствола мозга (Feldman, Del Negro, 2006), а вышележащими структурами моста и среднего мозга (Rybak et al., 2004). Вероятно, именно на уровне этих структур IAF модулирует длительность экспираторной паузы (Guillery, Sherman, 2002).

SDNN - интегральный показатель вариабельности ритма сердца, отражает совокупные влияния на синусовый узел симпатического и парасимпатического отделов вегетативной нервной системы. Увеличение IAF происходит как при активация мускариновых ацетилхолиновых рецепторов (парасимпатических медиаторов) (L*ő*rincz et al. 2008), так и при поступление в организм никотина (курение, подкожные или внутривенные инъекции), сопровождающееся одновременным увеличением хронотропной активности сердца (Foulds et al., 1994), связанной с преобладанием симпатической активности. Противоречивые результаты связи IAF и активности вегетативной нервной системы по данным литературных источников находят отражение и в настоящем исследовании. Так, обнаружены противоположные по направленности связи SDNN и IAF – положительная в условии закрытых глаз и отрицательная в условии открытых глаз. Примечательно, что в обоих случаях связь значима, но меняет знак при открывании глаз. Более подробный анализ данных связей требует дальнейших исследований.

Приведенные данные свидетельствуют о вовлечении IAF в механизмы вегетативной регуляции. Однако, в связи с высоким полидетерминизмом собственно регуляторных механизмов вегетативной регуляции, более однозначные представления о центральных нисходящих модулирующих влияниях со стороны альфа осцилляторов могут быть получены после серии специальных исследований.

В модели неосознаваемого восприятия эмоциональных лиц обнаружено ускоренное восприятие и переработка стимулов угрозы с целью немедленной активации системы обороны и связанных с ней моторных, когнитивных и висцеральных программ реагирования. В соответствии с представлениями биологов-эволюционистов, в мозге млекопитающих существует две специализированные системы принятия решения: таламическая, предназначенная для мгновенной обработки сигнала и принятия бинарного решения угроза–безопасность без необходимости задержки в ожидании дополнительной информации, и корковая, специализирующаяся на принятии бинарного решения, но в работе которой присутствуют задержки в связи с получением дополнительной информации на каждой стадии обработки (LeDoux 2000, Trimmer et al. 2008). В зрительной системе — это быстрые (магноцеллюлярные) и медленные (парвоцеллюлярные) пути доставки информации в различные области мозга. По данным зрительных вызванных потенциалов, в отличие от преимущественно корковых путей, «короткий» подкорковый таламо-лимбический путь обеспечивает немедленную оценку потенциальной угрозы, вызванной неосознаваемым стимулом (Умрюхин, 2004; Williams et al. 2004; Liddell et al., 2005; Соколов, 2010). Можно полагать, что в нашей работе обнаружена повышенная активность сверхбыстрой «таламической» системы или магноцеллюлярного пути идентификации угрозы за счет предиспозиции к уско-

ренному «захвату» грубой, но быстрой, сенсорной информации, «экстрагируемой» из неосознаваемого стимула, то есть, зрительные неосознаваемые стимулы с эмоциональным содержанием активируют систему «таламической» сверхбыстрой детекции вне зависимости от такого параметра индивидуальных различий как IAF и не затрагивают систему более медленной корковой обработки сигналов. Вероятно, IAF в большей степени определяется именно кортикальными источниками активность с более детальной обработкой информации.

В модели осознаваемого восприятия эмоциогенных зрительных стимулов установлено, что лица с высокой IAF, по сравнению лицами с низкой, имеют более выраженную активацию в индивидуальном субъективном пространстве при оценке активационного содержания стимулов и знака эмоции, а также более сильную симпатическую активацию по данным амплитуды КГР. По данным биоэлектрической активности головного мозга более высокая синхронизация ЭЭГ у лиц с высокой IAF по сравнению с лицами с низкой IAF в диапазонах дельта (2-4 Гц), тета (4-6 Гц и 6-8 Гц) в центральной и задней, а высокочастотной альфа (12-14 Гц) - в передней коре больших полушарий мозга. Это хорошо согласуется с нашими ранними исследованиями и данными других авторов об участии дельта, тета и высокочастотной альфа синхронизации ЭЭГ в механизмах мотивационного внимания и фиксации эмоциогенности стимула (Aftanas et al., 2002; Афтанас и др., 2004; Lang, Bradley, 2010) и свидетельствует о повышенной активности этих механизмов у лиц с высокой IAF. Дельта осцилляции играют существенную роль в процессе мотивационной активации и связаны с актуализацией филогенетически древних форм поведения, драйвов (Knyazev, 2012). В этой связи более выраженная синхронизация дельта активности у лиц с высокой IAF свидетельствует о более выраженной мотивационной активации в ответ на появление стимула, вне зависимости от его эмоциональной категории. Тета мощность в задней медиальной коре, более выраженная у индивидов с высокой IAF, участвует в детекции эмоциогенности стимула (Aftanas et al. 2001) и, вместе с дельта активностью, связаны с увеличением симпатической реактивности по показателю амплитуды КГР (Aftanas et al., 2005) вне зависимости от эмоциональной категории стимула. Наконец, альфа-3 активность характеризуется десинхронизацией в задних отделах коры вне зависимости от IAF и синхронизацией активности у лиц с высокой IAF в лобных отделах коры. Вероятно, восприятие сенсорных характеристик стимулов не ассоциируется с IAF, в то же время синхронизация в лобном отделе коры у высокочастотных индивидов свидетельствует об эмоциональной (Aftanas et al., 2004) и когнитивной (Fink et al., 2006) активации, связанной, вероятно, с механизмами оценки и когнитивной регуляции реакции на стимул (Лурия, 1962). Различную степень вовлечения тета- и высокочастотных альфа-осцилляторов ЭЭГ в процессы восприятия у лиц с высокой и низкой IAF можно также рассмотреть в контексте работы канонических функциональных нейрональных сетей мозга: “сети значимости”, “центральной исполнительной сети/сети когнитивного контроля” и “сети режима по умолчанию”. Эти сети, основанные на функциональной коннективности дистантно разделенных нейрональных ансамблей, обеспечивают реализацию сенсорных, когнитивных, эмоциональных и моторных функций. Лица с высокой IAF обнаруживают большую активность “сети

значимости”, отражающееся в усилением тета-синхронизации в центрально-задней коре. В то же время на стадиях декодирования стимула, первичной и расширенной оценки его значимости (в интервале 250-1000 мс от начала предъявления) увеличивается активность “сети режима по умолчанию”, которая, с помощью механизмов избирательного торможения, обеспечивает бóльшую избирательность перцептивного процесса (Cooper et al., 2003; Bazanova, Vernon, 2013). В данной связи важно отметить, что отсутствие вызванной синхронизации высокочастотной альфа у лиц с низким IAF отражает сниженную активность механизмов селекции поступающей информации.

В модели эмоциональной модуляции стартл-реакции исследованы особенности модуляции реакции у лиц с различной IAF контекстно-предъявляемыми мотивационно значимыми зрительными стимулами. В соответствии с выбранными категориями эмоциональных стимулов, эротические оцениваются положительно, а негативные - отрицательно относительно нейтральных. Кроме того, эротические вызывали наибольший уровень возбуждения, а нейтральные - наименьший. Более сильное мотивационное воздействие контекстуальных зрительных стимулов эротического содержания проявляется также в увеличении латентности и снижении вероятности проявления реакций КГР и соотносится с характером субъективных оценок уровня возбуждения. Негативные стимулы не оказывали влияния на модуляцию КГР, отражая, вероятно, их более низкое мотивационное воздействие. Магнитуда миографической реакции при предъявлении звукового сигнала подавляется на фоне стимулов эротического содержания и меньшее подавление магнитуды обнаружены на фоне негативных стимулов.

Уменьшение магнитуды реакции на аверсивные сигналы в настоящем исследовании может быть вызвано недостаточно высоким уровнем активации при их восприятии. Вероятно, более низкое мотивационное воздействие стимулов вызывает привлечение внимания и активное их исследование с активацией сенсорного входа для детального анализа источника угрозы, что вызывает торможение миографической реакции (Bradley, 2001). Также возможным фактором, влияющим на полученные результаты, является пол испытуемых. В исследовании приняли участие лица только мужского пола. По данным (Bradley, 2001) мужчины оценивают эротические стимулы как более возбуждающие, а негативные как менее возбуждающие по сравнению с оценками женщин, что может отражается в настоящем исследовании как в результатах субъективной оценки, так и показателям кожно-гальванической и миографической реакции. Обеспечение моторного ответа при аверсивной стимуляции осуществляется при активности латерального и центрального ядер миндалевидного комплекса (Nader et al., 2001). По современным представлениям активация миндалины происходит как на аверсивные сигналы, так и на эмоционально положительные (юмор, эротика) и отражает уровень эмоционального возбуждения (Costafreda et al., 2008). Знак же сигнала анализируется в орбитофронтальной, медиальной (Anderson et al., 2003) и дорсолатеральной префронтальной коре (Perlstein et al., 2002). В этом контексте торможение миографической реакции на оба типа стимулов, положительных и отрицательных, в настоящем исследовании может быть вызвано различными механизмами. В случае аверсивных сигналов *исследование* источника аверсии связано с активацией латераль-

ных префронтальных отделов коры (Banks et al., 2007; Dolcos et al., 2006). В случае эротических сигналов подавление реакции на стартл-сигнал происходит за счет конкурентной обработки эмоциональной информации положительного характера с активацией прилежащего ядра (nucleus accumbens) и ростральной части передней поясной извилины (rostral anterior cingulated cortex, rACC) оказывающих тормозное влияние на активность миндалины в случае эмоционального конфликта (Egner et al., 2008).

Таким образом, в настоящем исследовании эмоциональная модуляция стартл-реакции проявляется в подавлении моторных и вегетативных реакций в большей степени выраженной в контексте предъявления эротических сигналов. Отсутствие связи ЭМСР и IAF вызвано, вероятно, тем, что в основе ЭМСР лежит актуализация механизма быстрой оценки эмоциональной значимости стимула с активацией структур лимбической и паралимбической систем, а модуляция активности структур, которые являются источниками генерации альфа ритма (таламокортикальная система) и связанных с расширенной когнитивной оценкой стимула, при этом не происходит.

В отличие от моделей неосознаваемого и осознаваемого восприятия, а также ЭМСР, модели ОРС и дискретных эмоций различного знака подразумевают актуализацию у испытуемых когнитивных механизмов расширенной оценки (“extended appraisal”) и переоценки (“reappraisal”) эмоции и контроля активации.

В состоянии физиологического покоя, предваряющего индукцию ОРС, по данным офисного АД и показателям мощности ЭЭГ в стандартных диапазонах различий между группами не обнаружено. Картина меняется существенным образом после объявления о предстоящих неизбегаемых аверсивных стимулах. В ожидании первого стимула – в условиях максимальной прагматической неопределенности, индивиды с низкой IAF увеличивают ДАД и СрАД по сравнению с фоном, удерживая его на повышенных значениях в течение всего исследования. Напротив, индивиды с высокой IAF вначале обнаруживают отчетливо выраженную ориентировочную реакцию в виде фазического снижения давления, которое, после первого стимула и в ожидании последующих, прогрессивно увеличивается, оставаясь достоверно ниже, чем у лиц с низкой IAF. По данным ЭЭГ в последнем предстимульном интервале у лиц с низкой IAF усиливающееся эмоциональное напряжение в результате непрекращающегося аверсивного воздействия приводит к достоверному увеличению мощности низкочастотной альфа в задней коре, отражая, по-видимому, явления сниженной бдительности и нарастающего охранительного торможения с целью защиты от аверсии (Павлов, 1973; Klimesch et al., 2007). Данный факт хорошо согласуется с гипотезой “эмоционального демпинга” (“emotional dampening”), согласно которой повышение АД и общего периферического сопротивления сосудов в условиях эмоционального стресса активирует центральные защитные механизмы, снижающие эмоциогенность воспринимаемого стрессора и болевую чувствительность (Pury et al., 2004, McCubbin et al., 2011). Тем самым, профиль кардиоваскулярной реактивности и динамика осцилляторной активности ЭЭГ в низкочастотном диапазоне альфа у лиц с низкой IAF отражают неадаптивную избегательную (или эмоциональную) стратегию совладания со стрессором, ассоциируемую с риском возникновения АГ и ИБС. В то же время лица с высокой IAF демонстрируют более адаптивную проактивную стратегию совладания с

угрозой (Судаков, 1981, 1998; Sgoifo et al., 2005).

В условиях реализации ОРС корреляции IAF с кардиоваскулярной реактивностью IAF не обнаружено. По данным реактивности ЭЭГ только в третьей реализации ОРС в альфа-3 полосе обнаружена ассоциация с IAF - высокочастотные индивиды показывают синхронизацию в альфа-3 диапазоне. Как уже отмечалось, синхронизация в лобном отделе коры свидетельствует об эмоциональной (Aftanas et al., 2004) и когнитивной (Fink et al., 2006) активации, связанной, вероятно, с механизмами оценки и когнитивной регуляции реакции на стимул. Длительная синхронизация в теменной коре связана с интернализацией внимания и активацией работы сети по умолчанию, вероятно, отражая активность механизмов саморегуляции эмоционального состояния.

Таким образом, в настоящем исследовании получены данные, свидетельствующие, что ожидание сильного аверсивного сигнала связано с формированием различных стратегий реагирования. Лица с высокой IAF являются более толерантными к сильным аверсивным стимулам и проявляют более гибкие стратегии регуляции реакции; а лица с низкой IAF обнаруживают менее благоприятный профиль эмоционального реагирования - в большей степени предрасположены к переживанию отрицательных эмоций, активацией защитных механизмов и более ригидный паттерн реакции.

В модели дискретных эмоций лица с высокой IAF обнаруживают сниженные пороги считывания следов памяти недавно пережитых сильных положительных эмоций, увеличенную яркость их актуализации в воображении и большую интенсивность переживания. По данным реактивности мощности высокочастотной альфа наблюдается достоверное ее увеличение для обеих эмоций у всех испытуемых, однако при переживании радости у лиц с низкой IAF прирост мощности достоверно ниже. Общий рост высокочастотной альфа в условиях эмоциональной активации связан с моделью вызванных эмоций, основывающейся на механизмах интернализации внимания (“rejection”) (Ray, Cole, 1985), актуализацией механизмов воображения, а также избирательного активного торможения нерелевантной к процессу переживания когнитивной активности (Cooper et al., 2003). Соответственно, слабый прирост высокочастотной альфа амплитуды при переживании радости свидетельствует о функциональной недостаточности или гипоактивации этих механизмов у лиц с низкой IAF. Данные субъективных индикаторов доступности следа памяти и его реактивации в режиме управляемого воображения, а также прямые, достоверные только для положительной эмоциональной активации, корреляции амплитуды КГР и высокочастотной альфа в центрально-теменной коре с IAF, позволяют рассматривать этот показатель в качестве нейрофизиологического эндофенотипа индивидуальной предиспозиции к преобладанию в индивидуальном эмоциональном пространстве позитивной аффективности в случае высокой IAF, и негативной аффективности - в случае низкой IAF.

В целом, резюмируя результаты выполненного системного исследования, можно заключить, что IAF, по-видимому, создает вполне определенный типологический контекст (“hardware”), модулирующий или определяющий структуру индивидуального эмоционального пространства и его реактивности в условиях положительной и отрицательной эмоциональной активации. У лиц с высокой IAF наблюдается бóльшая ак-

тивность положительной эмоциональной установки и доступность следов памяти на положительные переживания, преобладание нисходящего когнитивного контроля и формирование проактивных копинг-стратегией совладания с неизбегаемой угрозой. Напротив, для индивидов с низкой IAF характерными являются недостаточность механизмов положительной эмоциональной активации и неадаптивные избегательные копинг-стратегии совладания со стрессором. Результаты немногочисленных пока генетических исследованиях свидетельствуют о возможной генетической основе отнесения IAF в категорию психофизиологических эндофенотипических признаков таких предиспозиций. В частности, обнаружена высокая наследуемость IAF (Smit et al., 2006; Sprangers et al., 2010), а также ассоциация IAF и функционального полиморфизма Val158Met, кодирующего синтез катехол-О-метилтрансферазы (COMT) - энзима, участвующего в деградации дофамина в межсинаптической щели. Высокая активность энзима (Val/Val генотип) и, соответственно, низкий уровень дофамина ассоциируется с низкой IAF, и, напротив, низкой активностью энзима (Met/Met генотип) и высокий уровень дофамина связан с высокой IAF (Bodenmann et all. 2009). Учитывая влияние дофамина на переживание положительных эмоций и полученные в настоящем исследовании результаты можно говорить об IAF как эндофенотипическом признаке предрасположенности к положительной эмоциональной активации. Кроме того, полученные нами данные являются важным эмпирическим аргументом в пользу оригинальной гипотезы Э. Башара о глобально сопряженных осцилляторах, которые, управляя вместе с системой нейромедиаторных подстроек когнитивными и эмоциональными процессами, играют ключевую роль в механизмах интеграции в системе “мозг-тело-сознание” и формирования индивидуального психосоматического пространства человека (Başar, 2008, 2012).

ВЫВОДЫ

1. Индивидуальная частота альфа ритма ЭЭГ (IAF) в состоянии физиологического покоя коррелирует с величиной вариабельности сердечного ритма (SDNN), длительностью респираторной паузы и частотой дыхания.
2. В модели неосознаваемого восприятия нейтральных и эмоциональных (эмоции гнева, страха, радости) выражений лиц (модифицированный тест Струпа) на фоне общего эффекта достоверно большей скорости обнаружения эмоции гнева для всех категорий лиц эффективность восприятия не зависела от IAF.
3. В модели осознаваемого восприятия зрительных эмоциональных стимулов по данным субъективных оценок (факторы “знак эмоции” и “активация”) и амплитуды КГР индивиды с высокой IAF воспринимают предъявленные стимулы как более эмоциогенные, а по данным вызванной синхронизации ЭЭГ - обнаруживают большее увеличение мощности низкочастотной активности (дельта, тета-1 и тета-2) в центральных и задних отделах коры и в альфа-3 в лобных отделах коры на начальных этапах восприятия, вне зависимости эмоциональной категории стимула.
4. В условиях модуляции стартл-реакции зрительными контекстными мотивационно значимыми стимулами наблюдается умеренное ослабление магнитуды стартл-реакции на фоне контекстных стимулов угрозы и выраженное ее подавление на

фоне эротических стимулов. Модулирующие эффекты эмоциогенных стимулов на магнитуду стартл-реакции не зависели от индивидуальной частоты альфа-ритма.

5. Ожидание неизбегаемого аверсивного стимула в предстимульный интервал у лиц с низкой IAF, по сравнению с лицами с высокой IAF, сопровождается устойчиво более высоким диастолическим АД и более высокой альфа-1 мощностью ЭЭГ. Межиндивидуальная вариабельность и динамика коротко- и длинно-латентной кардиоваскулярной реактивности в исследуемой оборонительной реакции не зависела от IAF, однако, по данным ВД/ВС ЭЭГ в альфа-3 полосе повторные предъявления стрессора вызывали увеличение мощности у лиц с высокой IAF.
6. В модели вызванных эмоций (извлечение из памяти недавних эмоциональных событий – “recall generation”) установлена бóльшая эмоциональная реактивность на положительные эмоциональные стимулы у лиц с высокой IAF, проявляющаяся в большей доступности следов памяти на недавние эмоционально положительные события, а также в повышенной интенсивности их переживания (по данным субъективного шкалирования и амплитуды КГР). По данным осцилляторной активности в альфа-3 диапазоне при переживании радости лица с высокой IAF по сравнению с индивидами с низкой IAF демонстрируют большую вызванную синхронизацию альфа-3 активности ЭЭГ (ВС) в центрально-теменных отделах коры головного мозга билатерально.

Список сокращений

IAF – индивидуальная частота альфа ритма
АД – артериальное давление
ВД/ВС – вызванная десинхронизация и синхронизация
ДАД – диастолическое артериальное давление
ИМТ – индекс массы тела
КГР – кожно-гальваническая реакция
ОРС – оборонительный рефлекс сердца
САД – систолическое артериальное давление
СрАД – среднее артериальное давление
ЭЭГ – электроэнцефалография

СПИСОК ОСНОВНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ РАБОТЫ В РЕФЕРИРУЕМЫХ ЖУРНАЛАХ ИЗ СПИСКА ВАК

1. Коренек В.В., Афтанас Л.И., Павлов С.В., Брак И.В., Сидорова П.В., Гилинская О.М., Махнев В.П., **Тумялис А.В.** (2007). Особенности динамики активации сердечно-сосудистой системы в условиях положительной и отрицательной эмоциональной активации у человека в норме и при нарушении регуляции артериального давления. Бюлл. СО РАМН. — №3. — С. 53-63.
2. Сидорова П.В., Афтанас Л.И., Павлов С.В., Махнев В.П., **Тумялис А.В.** (2007). Активность мотивационных систем положительного и отрицательного подкрепления и регуляция артериального давления у человека. Бюлл. СО РАМН. — №3. — С. 81-87.

3. Брак И.В., Гилинская О.М., Афтанас Л.И., Труфакин В.А., Махнев В.П., Сидорова П.В., **Тумялис А.В.** (2007). Индивидуальная динамика сердечно-сосудистой реактивности в процессе реализации защитного кардиорефлекса в норме и при эсенциальной гипертонии. Бюлл. СО РАМН. — №3. — С. 88-97.
4. Павлов С.В., Мирошникова П.В., Рева Н.В., Коренек В.В., Брак И.В., Латышева Т.В., **Тумялис А.В.**, Локтев К.В., Гилинская О.М., Афтанас Л.И. Психофизиологический анализ индивидов с различными стратегиями неосознаваемого восприятия социальных сигналов угрозы. Бюлл. СО РАМН.- 2009. — №5. — С. 72-78.
5. **Тумялис А.В.**, Коренек В.В., Брак И.В., Махнев В.П., Рева Н.В., Афтанас Л.И. (2010). Индивидуальная частота альфа-активности и переживание положительных и отрицательных эмоций. Бюлл. СО РАМН.-Т. 30.- №4.-С.132-142.
6. **Тумялис А.В.**, Афтанас Л.И. Вклад нейрофизиологического эндофенотипа — индивидуальной частоты альфа осцилляций ЭЭГ — в механизмы эмоциональной реактивности. // Бюлл. Эксп. Биол. Медицины. 2013. — № 12. — С.665-671
7. Афтанас Л.И., **Тумялис А. В.** Индивидуальная частота альфа осцилляций ЭЭГ как нейрофизиологический эндофенотип эмоциональных предиспозиций. // Вестник РАМН, 2013. — № 12. – С. 69–79
8. Павлов С. В., Рева Н. В., Локтев К. В., Коренек В. В., **Тумялис А. В.**, Брак И. В., Афтанас Л. И. Динамика сердечно-сосудистой активности в процессе регуляции положительных и отрицательных эмоций // Бюлл. СО РАМН, 2014. – Т. 33. - №6.

ТЕЗИСЫ

1. **Тумялис А.В.**, Брак И.В., Рева Н.В. Частотно-временной анализ биоэлектрической активности мозга при реализации защитного кардиорефлекса у человека // VI Сибирский физиологический съезд, Барнаул: Принтэкспресс, 2008, Т1, С.184.
2. **Tumyalis A.V**., Reva N.V., Brak I.V., Pavlov S.V., Aftanas. L.I. Time-course of EEG oscillatory activity during cardiac defense response in man // International Journal of Psychophysiology. – 2008. – Vol. 69. – № 3. – P. 266