

СОВРЕМЕННЫЕ ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕШЕНИЯ КОГНИТИВНЫХ ЗАДАЧ В УСЛОВИЯХ СТРЕССА

Геннадий Г. Яцык

аспирант

Южный федеральный университет

г. Ростов-на-Дону, Россия

E-mail: oxiefree@mail.ru

Елена В. Воробьева

доктор психологических наук, профессор

Южный федеральный университет

г. Ростов-на-Дону, Россия

E-mail: evorob@sfedu.ru

Термин стресс является одним из наиболее употребляемых понятий, используемых при описании особенностей человеческого поведения и функционирования психики человека в сложных ситуациях. В условиях современных технологий, возрастающей роли коммуникации между людьми и необходимости быстро принимать решения, изучение стресса становится всё более актуальным.

В российской науке, на сегодняшний день, имеются работы, посвященные изучению поведенческого уровня стресса и его теоретическому обоснованию. Однако, при желании понять и изучить нейро- и психофизиологические особенности обеспечения мышления в условиях стресса, отечественный исследователь сталкивается с практически полным отсутствием современных русскоязычных исследований, посвященных данной проблематике, в то время, как зарубежные исследователи активно работают в данном направлении уже более десяти лет.

В настоящем исследовании рассмотрены основные психофизиологические механизмы обеспечения мышления в условиях кратковременного стресса, которые были обнаружены и описаны в современных зарубежных исследованиях. Показано, что механизмы мышления и принятия решений человеком в состоянии покоя и состоянии стресса имеют совершенно разную природу и между собой не имеют практически ничего общего. Обобщены довольно обширные сведения, касающиеся паттернов электрофизиологического и вегетативного функционирования организма во время решения когнитивных задач, как в условиях покоя, так и в условиях стресса. Выявлены имеющиеся противоречия, касающиеся наиболее характерных маркеров когнитивной деятельности в условиях стресса. Рассмотрены основные методы и способы изучения особенностей мышления в условиях стресса. Полученные данные, в целом, согласуются с большинством российских исследований в области теории стресса, а также дополняют и расширяют имеющиеся представления о психофизиологических механизмах различных моделей стрессового поведения, описанных российскими учёными.

Ключевые слова: психофизиология стресса, решение когнитивных задач, индивидуально-типологические особенности, ЭЭГ, принятие решений, темперамент, стрессоустойчивость, кратковременный стресс, умственный стресс

Для цитирования: Яцык Г. Г., Воробьева Е. В. Современные психофизиологические исследования решения когнитивных задач в условиях стресса // Северо-Кавказский психологический вестник. – 2017. – № 15/2. – С. 39–49.

MODERN PSYCHOPHYSIOLOGICAL STUDIES OF SOLVING COGNITIVE TASKS IN THE STRESS STATE

Gennadii G. Iatsyk

Postgraduate student
Southern Federal University
Rostov-on-Don, Russia
E-mail: oxiefree@mail.ru

Elena V. Vorobyeva

Doctor of psychology, Professor
Southern Federal University
Rostov-on-Don, Russia
E-mail: evorob@sfnedu.ru

The term stress is one of the most common concepts used to describe the features of human behavior and the functioning of the human psyche in difficult situations. In the conditions of modern technologies and increasing role of communication between people, as well as the necessity of making quick decisions, the study of stress phenomenon is becoming more relevant.

Nowadays, there are a lot of studies in Russian science devoted to the analysis of the behavioral level of stress and its theoretical justification. However, if one wishes to understand and study the neuro- and psychophysiological features of the performance on cognitive tasks in terms of stress, the researcher encounters the almost complete absence of the modern Russian studies on this topic, while foreign researchers have been intensively working in this direction for more than ten years.

In the present study, the main psychophysiological mechanisms of providing thinking in the situation of short-term stress are examined, which were discovered and described in the modern foreign studies. It is shown that the mechanisms for solving cognitive tasks in the rest state and stress state differ. The information concerning the patterns of the electrophysiological and vegetative functioning of the organism during the performance of cognitive tasks, both in rest and stress conditions, is generalized. The existing contradictions concerning the specific markers of cognitive activity under stress are revealed. The main methods and ways of studying the features of thinking in the stress condition are considered. The obtained data, in general, are consistent with the majority of the Russian studies in the field of stress theory, and also supplement and expand the ideas about the psychophysiological mechanisms of thinking in the rest and stress condition.

Keywords: psychophysiology of stress, cognitive task solving, individual-typological features, EEG, decision-making, temperament, stress-resistance, acute stress, mental stress

For citation: Iatsyk G. G., Vorobyeva E. V. Modern psychophysiological studies of solving cognitive tasks in the stress state // Severo-Kavkazskii psikhologicheskii vestnik – North-Caucasian Psychological Bulletin, 2017, no. 15/2, pp. 39–49 (in Russian).

ВВЕДЕНИЕ

Термин «стресс» является одним из базовых понятий в современной психологии. Стресс – это неспецифическая системная приспособительная реакция организма на новизну, то есть на отклонение условий существования от привычных [1]. Организм человека на протяжении тысяч лет эволюции приспосабливался к разного рода стрессовым ситуациям, и по этой причине имеет сложно организованный аппарат функционирования в различных стрессовых условиях. В ходе эволюции все сильнее начинали проявляться внутривидовые индивидуально-типологические различия, обеспечивая тем самым достаточно большую палитру возможных стратегий поведения людей в стрессовых условиях, и, как следствие, возможность выживания отдельных особей в самых разнообразных стрессовых ситуациях [2].

Современные условия жизни имеют ряд особенностей, которые принципиально отличаются от тех условий, которые были привычны человеку на протяжении тысяч лет, а именно: быстрый темп жизни, высокий уровень технологического развития, возросшее значение межличностной коммуникации (в т.ч., с применением разнообразных современных технологий), большие физические и психологические нагрузки и т.д. Таким образом, человек все чаще подвергается воздействию разнообразных стрессирующих факторов разного порядка, причем в условиях стресса (дефицита времени, ресурсов и пр.) ему необходимо эффективно решать различного рода когнитивные задачи [3]. Не вызывает сомнения, что психофизиологические исследования особенностей решения когнитивных задач в условиях стресса достаточно востребованы в разных областях психологии, т.к. человек постоянно сталкивается с необходимостью размышлять и принимать решения в условиях стресса.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ОБЗОР

В нашей работе под когнитивными задачами понимаются арифметические задачи, тесты на вербальный и невербальный интеллект, тесты на кратковременную память, задачи на скорость и эффективность переключения внимания.

Результаты работ, выполненных в области психологии и психофизиологии стресса, являются весьма востребованными в различных

отраслях: психологии личности, лечении и профилактике ПТСР, психотерапии, психологии и психофизиологии труда и др. [4, 5]. В связи с возрастающим интересом исследователей к естественнонаучным аспектам обеспечения психической деятельности, изучение психо- и нейрофизиологических механизмов стресса, а также решения когнитивных задач в условиях стресса, привлекает всё большее внимание зарубежных ученых [6, 7, 8, 9, 10].

Цель данной работы – провести теоретический анализ результатов современных зарубежных психофизиологических исследований решения когнитивных задач в условиях стресса.

Основными структурами головного мозга, участвующими в решении когнитивных задач, являются лобные доли и префронтальная кора [11, 12, 13]. Известно, что стресс приводит к нарушению способностей к креативному мышлению, вычислительным операциям, эффективному принятию решений, а также нарушает функционирование рабочей памяти и выполнение других функций префронтальной коры головного мозга [11, 14]. Исследования с участием, как животных, так и людей, показали, что глюкокортикоиды (в частности, кортизол), секретируемые во время стресса [15], оказывают дезорганизующее действие на префронтальную кору [16], которая определяется как область мозга, наиболее чувствительная к ментальному стрессу. Однако, ряд современных исследований [12; 17] опровергают повышенную секрецию кортизола во время кратковременного стресса.

Когнитивная эффективность в условиях стресса значительно снижается, причиной тому являются различные физиологические процессы, которые активны в головном мозге в состоянии стресса. Как было показано [12, 16, 18, 19], в условиях покоя основные высшие психические функции (в том числе внимание, мышление и рабочая память) обеспечиваются активностью префронтальной коры и лобных долей головного мозга, имеющих разветвленные интернейрональные связи, как с другими отделами коры головного мозга, так и с подкорковыми структурами (гипоталамус, гиппокамп, миндалевидное тело, стриатум, базальные ганглии и др.), регулируя при этом оптимальный уровень общего энергопотенциала, требуемого для выполнения текущей деятельности.

Совсем иначе мозг начинает работать в условиях стресса. Как было показано в работах Л.А. Китаева-Смыка, ситуация воспринимается человеком как стрессовая в тех случаях, когда в памяти (фенотипической и генотипической) не имеется сведений об успешных моделях поведения в данной жизненной ситуации [2]. В этих условиях, миндалевидное тело подаёт сигнал о возросшей опасности, поднимая общий уровень психологической тревожности, и перенимает большую часть управленческих функций поведения на себя. Таким образом, в стрессовых условиях характерным является переход очагов активности из отделов коры головного мозга в подкорковые отделы, такие как гипоталамус, гиппокамп, стриатум, базальные ганглии и миндалина, которые обеспечивают примитивное, быстрое, рефлекторное, но не всегда в достаточной степени обдуманное поведение [16]. Ключевое значение в формировании паттернов стрессового поведения имеет выброс большого количества дофамина в область базальных ганглий в ситуациях успешного совладания со стрессовыми условиями [20], что способствует формированию привычек и типичных стереотипов поведения в тяжелых жизненных ситуациях, а также, вероятно, принимает участие в формировании условных рефлексов. Подобный эволюционный механизм, в некоторых случаях, способен действовать на психику и деструктивным образом, способствуя формированию алкогольной, наркотической, нервных тиков и т.д.) у взрослых индивидов, а при воздействии на детскую психику способствует формированию тревожно-мнительных черт характера [16].

Д. А. Жуков подробно описал два универсальных способа поведения в стрессовых ситуациях: активный («бей или беги») и пассивный (выжидательный). В своих работах автор доказывает, что, как правило, выбор типа реагирования зависит от индивидуально-типологических особенностей и обусловлен, прежде всего, генетически и физиологически [1].

В истории содержится много любопытных примеров, иллюстрирующих неоднозначность и сложность влияния кратковременного стресса на поведение человека. Amy F. T. Arnsten [16] описывает пример из истории Второй миро-

вой войны, когда наиболее опытные и знаменитые лётчики периода мирного времени чаще всего демонстрировали достаточно низкие результаты в стрессовых ситуациях на поле боя и разбивали свои самолёты. Д. А. Жуков [1] приводит сведения о провальном опыте выхода в открытый космос первой женщины космонавта В. В. Терешковой, после которого негласный запрет на полёты женщин в космос держался десятилетиями. В этой связи логичным представляется вывод Л. А. Китаева-Смыка о чрезвычайной сложности прогнозирования вероятного паттерна поведения человека в условиях кратковременного стресса [2].

В этой связи представляется интересным исследование C.W.E.M. Quaedflieg et al., в котором показано, что индивидуальные особенности альфа-ритма в состоянии покоя могут отражать вероятный тип реагирования в состоянии кратковременного стресса, а исследование межполушарной асимметрии выраженности индивидуального альфа-ритма является одной из актуальных задач [21].

Электрическая активность мозга во время выполнения мыслительных операций и в состоянии стресса сегодня довольно хорошо изучена. Стресс отражается на электроэнцефалограмме как десинхронизация альфа-ритма лобных долей мозга [22, 23], снижение выраженности альфа-ритма в префронтальной коре, повышение выраженности бета-ритма [23, 24], устойчивая активность правой венотролатеральной префронтальной коры (VLPFC) [11, 25, 26, 27], возрастающая межполушарная асимметрия лобных долей мозга [6, 7, 24], изменение общей активности мозга по направлению от более диффузной до точечной и сконцентрированной [21], а также снижение тета-осцилляций медиальных отделов префронтальной коры [12, 28]. Исследования, выполненные при помощи функциональной инфракрасной спектроскопии, показали умеренное увеличение активности правой венотролатеральной префронтальной коры (VLPFC) при умеренных интеллектуальных (активизирующих) нагрузках, в то время как в условиях стресса активность данного отдела коры значительно снижалась [11]. Продемонстрирована возможность использования гамма-ритмов префронтальной коры как маркера стресса [29].

В одном из исследований авторы делают предположение о том, что правополушарные области головного мозга в условиях стресса являются более активными в силу большого количества имеющихся там симпатических волокон, что косвенно подтверждается более тесным взаимодействием синоартериального узла и правополушарных отделов головного мозга при преобладании активности симпатической нервной системы [30]. Также повышенная активность правого полушария в условиях стресса может быть объяснена различной функциональной ролью полушарий в обеспечении эмоционального поведения, так как левое полушарие более специфично для обеспечения позитивных эмоций, а правое – отрицательных [27].

Несмотря на значительные физиологические изменения в работе мозга во время стресса, выделить определенные нейрофизиологические маркеры стресса представляется достаточно сложным. Большое количество исследований проведено в направлении создания оптимального и эффективного алгоритма оценки стрессового состояния при помощи запрограммированных нейронных сетей. Точность определения стрессового состояния при помощи подобных методов варьирует от 70 до 95 % [31, 32]. Исследования с использованием нейросетей также подтвердили сведения о высокой активности коры при умеренном стрессе и снижении активности в условиях значительного стресса [21].

Исследования особенностей работы мозга в условиях кратковременного стресса и при решении мыслительных задач зачастую пересекаются, так как необходимость выполнения интеллектуальных операций представляет собой разновидность умеренного стресса. Наиболее распространенными методами исследования влияния стрессовых состояний на гомеостаз мозга являются: Монреальская стрессорная задача изображения (Montreal Stress Imaging Task), социальный стресс тест Триера (the Trier Social Stress Test), цветовой тест Струпа, тест холодного давления (The Cold Pressor Test), ментальная арифметическая задача, экзаменационный стресс, социальное исключение и другие [18, 22, 27, 29, 33]. Такое разнообразие задач, вызывающих стресс, обусловлено

многогранностью стресса и сложностью его измерения в лабораторных условиях. Согласно ряду исследований, наиболее эффективным способом провоцирования стресса является социальный стресс тест Триера (TSST), суть которого заключается в необходимости выполнения испытуемыми сложных интеллектуальных операций, таких как, импровизированное выступление и решение арифметических задач перед небольшой аудиторией (2–3 человека и видеокамера), оценивающей качество выполнения задачи [34, 35].

Как было показано в ряде работ, даже в значительных стрессовых условиях психика может сохранять относительно привычный гомеостаз и эффективно справляться с интеллектуальными нагрузками [36, 37]. Интенсивность стрессовых реакции напрямую зависит от уверенности обследуемого в своих силах и возможностях. Согласно представлениям R. S. Lazarus, S. Folkman стресс возникает в условиях, когда появляется дисбаланс в оценке текущей ситуации как потенциально опасной и оценке собственных сил как недостаточных для совладания со стрессовой ситуацией. Chin-Teng Lin et al. [12] приводит сведения о том, что возникновение медиальных тета-волн в условиях умеренного стресса, как правило, наблюдается у людей, имеющих низкие баллы в тестах на личностную тревожность, а отсутствие подобных волн характерно для более тревожных людей. Также для людей с расстройствами тревожного спектра характерна выраженность гамма-ритма в задних отделах головного мозга [13].

Психологический стресс усиливает выделение нейроромона кортизола и усиливает проявления тревожности, что отрицательно сказывается на решении когнитивных задач и эффективном распределении внимания [29]. С использованием метода регистрации вызванных потенциалов получены данные об увеличении амплитуды N1 в условиях ожидания стресса, что может говорить о повышенной бдительности и восприимчивости к ожидаемому стрессу; а сниженная амплитуда P2 в стрессовых условиях, по словам авторов, возможно, свидетельствует о недостаточно эффективном распределении внимания в стрессовых ситуациях [38].

Выделяют три разновидности стресса: эмоциональный, ментальный и физиологический

[39, 40]. Для измерения особенностей реагирования организма во время стресса чаще используют такие параметры, как измерение уровня кортизола и альфа-амилазы в слюне, частота сердечных сокращений (ЧСС), параметры артериального давления (АД), кожно-гальванической реакции (КГР), размер зрачков, параметры электроэнцефалограммы (ЭЭГ), а также метод субъективной оценки обследуемыми собственного уровня стресса [8, 9, 10, 22, 40, 18, 41]. Здесь большое теоретическое значение имеет разделение указанных параметров на две группы: ЧСС, АД, КГР и уровень альфа-амилазы – показывают реактивность автономной нервной системы (в частности, симпато-адреналово-надпочечниковой оси), в то время как измерение уровня кортизола показывает эндокринную активность гипоталамо-гипофизарной оси [35, 42, 43, 44]. Выделение этих двух систем стрессорного реагирования принципиально важно для понимания физиологических механизмов стресса. Было показано, что автономная нервная система чаще становится ведущей системой стрессорного реагирования в случаях, когда необходимо совершить определённое усилие для достижения результата (например, пробежать дистанцию за короткое время). Гипоталамо-гипофизарно-адреналовая ось чаще становится ведущей стрессорной системой в тех случаях, когда возникает дистресс и ощущение тревожности (Социальный Стресс Тест Триера) [45].

Любопытно, что стресс также может быть разделён на непосредственный и ассоциативный, когда человек оказывается в благоприятных на данный момент обстоятельствах, но в которых у него ранее возникала стрессовая ситуация. Исследователями было показано, что в условиях ассоциативного стресса у человека наблюдаются схожие физиологические паттерны стрессового реагирования, как и при непосредственном стрессе [6].

Подводя итог, следует сказать, что психофизиологический подход к изучению эффективности решения когнитивных задач в условиях стресса в зарубежных исследованиях достаточно широко представлен. Актуальность и востребованность результатов подобных исследований не вызывает сомнения. Как уже было сказано, отечественные и зарубежные

работы в данной области имеют свою специфику. К сожалению, отечественные исследователи, на данный момент, не ставят перед собой задачи подробной разработки проблемы нейрофизиологического обеспечения стрессорного реагирования организма человека, чаще ограничиваясь изучением поведенческого, социального, и реже – психофизиологического уровней. В отечественной психологии разрабатывались теоретические проблемы стресса, профилактика посттравматического стрессового расстройства, исследования в области психологической устойчивости к действию стрессовых факторов [1, 2, 5].

ВЫВОДЫ

Говоря о зарубежных исследованиях, можно сделать вывод, что вопросы нейрофизиологического обеспечения решения когнитивных задач в спокойных условиях и в условиях стресса достаточно хорошо разработаны и подробно описаны в литературе [12, 23, 27, 28]. Общепризнанными психофизиологическими маркерами когнитивной деятельности в условиях стресса являются: снижение выраженности альфа-ритма в префронтальной коре головного мозга; повышение выраженности бета-ритма; умеренная активность правой венстролатеральной префронтальной коры (VLPFC) в условиях умеренного стресса и снижение ее активности в условиях сильного стресса; возрастающая межполушарная асимметрия лобных долей мозга, выражающаяся также в более точечной (а не диффузной) концентрации очагов возбуждения коры; снижение тета-ритмов медиальных отделов префронтальной коры; увеличение частоты сердечных сокращений; повышенное выделение кортизола и альфа-амилазы.

Тем не менее, проявления стресса достаточно разнообразны, и выработать единую модель стрессовых реакций сегодня не представляется возможным. Следует отметить, что в некоторых работах делается попытка объяснить большое разнообразие стрессовых реакций индивидуально-типологическими особенностями испытуемых (черты тревожности, уверенности в себе, устойчивости к стрессу), однако исследований, прямо направленных на выявление влияния индивидуально-типологических особенностей на своеобразие стрессорного

реагирований найти не удалось. Характерной чертой большинства зарубежных исследований в рассмотренной нами теме является отсутствие устоявшихся постулатов и общей теоретической базы, позволявшей бы объединить результаты довольно большого количества разнообразных научных работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жуков Д. А. Стой, кто ведет? Биология поведения человека и других зверей: в 2 т. – М.: Альпина-нон-фикшн, 2015. – 427 с.
2. Китаев-Смык Л. А. Психология стресса. Психологическая антропология стресса. – М.: Академический Проект, 2009. – 943 с.
3. Боякова А. А. Эмоциональный интеллект и стрессоустойчивость // Развитие профессионализма. – 2016. – № 1. – С. 189.
4. Грищенко Е. В. Стрессоустойчивость как элемент интегративного свойства личности / Инновационные процессы в развитии общества. Материалы II международной конференции. – Саранск: ООО «ЮрЭксПрактик», 2014. – С. 349–352.
5. Калашникова М. М., Рысева Ю. В. Развитие стрессоустойчивости оперативных сотрудников полиции / Вопросы. Гипотезы. Ответы: наука XXI века. – 2014. – С. 335–354.
6. Brouwer A. M., Neerincx M. A., Kallen V. et al. EEG alpha asymmetry, heart rate variability and cortisol in response to Virtual Reality induced stress // Journal of Cyber Therapy and Rehabilitation. – 2011. – Vol. 4. – № 1. – P. 83–99.
7. Papousek I., Weiss E. M., Schulter G. et al. Prefrontal EEG alpha asymmetry changes while observing disaster happening to other people: cardiac correlates and prediction of emotional impact // Biological Psychology. – 2014. – Vol. 103. – P. 184–194. DOI: 10.1016/j.biopsycho.2014.09.001
8. Bali A., Jaggi A. S. Clinical experimental stress studies: methods and assessment. Reviews in the neurosciences. – 2014 – Vol. 26. – P. 555–579. – DOI: 10.1515/revneuro-2015-0004
9. Zschucke E., Renneberg B., Dimeo F. et al. The stress-buffering effect of acute exercise: evidence for HPA axis negative feedback // Psychoneuroendocrinology. – 2015. – Vol. 51. – P. 414–425. DOI: 10.1016/j.psyneuen.2014.10.019.
10. Aschbacher K. O'Donovan A. et al. Good stress, bad stress and oxidative stress: insights from anticipatory cortisol reactivity // Psychoneuroendocrinology. – 2013. – Vol. 38. – P. 1698–1708. DOI: 10.1016/j.psyneuen.2013.02.004
11. Al-Shargie F., Tang T.B., Kigughi M. Assessment of mental stress effects on prefrontal cortical activities using canonical correlation analysis: an fNIRS-EEG study // Biomedical Optics Express. – 2017. – Vol. 8. – № 5. – P. 2593–2598. DOI: 10.1364/BOE.8.002583
12. Lin C-T., King J-T., Gupta A. et al. The Influence of Acute Stress on Brain Dynamics during Task Switching Activities // IEEE Access. – 2017. – Vol. 6. – P. 3249–3255. DOI: 10.1109/ACCESS.2017.2787673
13. Oathes D.J., Ray W.J., Yamasaki A.S. et al. Worry, generalized anxiety disorder, and emotion: Evidence from the EEG gamma band // Biological Psychology. – 2008. – Vol. 79. – P. 165–170. DOI: 10.1016/j.biopsycho.2008.04.005
14. Arnsten A. F. Stress weakens prefrontal networks: molecular insults to higher cognition // Nature Neuroscience. – 2015. – Vol. 18. – № 10. – P. 1376–1385. DOI: 10.1038/nn.4087
15. Bigert C., Bluhm G., Theorell T. Saliva cortisol – a new approach in noise research to study stress effects // International Journal of Hygiene and Environmental Health. – 2005. – Vol. 208. – P. 227–230. DOI: 10.1016/j.ijheh.2005.01.014
16. Arnsten A. F. Stress signalling pathways that impair prefrontal cortex structure and function // Nature Reviews Neuroscience. – 2009. – Vol. 10. – № 6. – P. 410–422. DOI: 10.1038/nrn2648
17. Dedovic K., D'Aguiar C., Pruessner J.C. What stress does to your brain: a review of neuroimaging studies // The Canadian Journal of Psychiatry. – 2009. – Vol. 54. – P. 6–15. DOI: 10.1177/070674370905400104
18. Vorobeva E. V. EEG spectral power during the performance of mental tasks and individual profile asymmetry of twins // International Journal of Psychophysiology. – 2012. Vol. 85. – № 3. – P. 424. DOI: 10.1016/j.ijpsycho.2012.07.157
19. Vorobeva E. V. EEG spectral power and individual profile asymmetry of twins // International Journal of Psychology. – 2012. – Vol. 47. – № S1. – P. 146. DOI: 10.1080/00207594.2012.709089

20. *Wickens J. R., Horvitz J. C., Costa R. M. & Killcross S.* Dopaminergic mechanisms in actions and habits // *Journal of Neuroscience*. – 2007. – Vol. 27. – № 31. – P. 8181–8183. DOI: 10.1523/JNEUROSCI.1671–07.2007
21. *Quaedflieg C.W.E.M., Meyer T. et al.* The functional role of individual-alpha based frontal asymmetry in stress responding // *Biological psychology*. – 2015. – Vol. 104. – P. 75–81. DOI: 10.1016/j.biopsycho.2014.11.014.
22. *Jun G., Smithe K.G.* EEG based Stress Level Identification // *IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*. – 2016. – P. 3270–3274.
23. *Al-Shargie F.M. et al.* Mental stress quantification using EEG signals // *International Conference for Innovation in Biomedical Engineering and Life Sciences*. – 2015. – P. 15–19. DOI: 10.1007/978-981-10-0266-34
24. *Seo S-H., Lee J. T.* Stress and EEG // *Convergence and Hybrid Information Technologies*. – 2010. – P. 413–426. DOI: 10.5772/9651
25. *Thibodeau R., Jorgensen R. S., Kim S.* Depression, anxiety, and resting frontal EEG asymmetry: a metaanalytic review // *Abnormal Psychology*. – 2006. Vol. 115. – № 4. – P. 715–729. DOI: 10.1037/0021-843X.115.4.715
26. *Tops M., Peer van J. M., Wester A. E. et al.* State-dependent regulation of cortical activity by cortisol: an EEG study // *Neuroscience Letters*. – 2006. – Vol. 404. – № 1–2. – P. 39–43. DOI: 10.1016/j.neulet.2006.05.038
27. *Lewis R. S., Weekes N. Y., Wang T. H.* The effect of a naturalistic stressor on frontal EEG asymmetry, stress, and health // *Biological Psychology*. – 2006. – Vol. 75. – P. 239–247. DOI: 10.1016/j.biopsycho.2007.03.004
28. *Gartner M., Grimm S., Bajbouj M.* Frontal midline theta oscillations during mental arithmetic: effects of stress // *Frontiers in Behavioral Neuroscience*. – 2015. – Vol. 9. – P. 96. DOI: 10.3389/fnbeh.2015.00096
29. *Minguillon J., Lopez-Gordo M., Pelayo F.* Stress Assessment by Prefrontal Relative Gamma // *Frontiers in Computational Neuroscience*. – 2016. – Vol. 10. – P. 101 DOI: 10.3389/fncom.2016.00101
30. *Yu X., Zhang J., Xie D. et al.* Relationship between scalp potential and autonomic nervous activity during a mental arithmetic task // *Autonomic Neuroscience: Basic and Clinical*. – 2009. – Vol. 146. – P. 81–86. DOI: 10.1016/j.autneu.2008.12.005
31. *Hosseini S. A., Khalilzadeh M. A.* Emotional stress recognition system using EEG and psychophysiological signals: Using new labelling process of EEG signals in emotional stress state // *International Conference on Biomedical Engineering and Computer Science, ICBECS*. – 2010. DOI: 10.1109/ICBECS.2010.5462520
32. *Sharma N., Gedeon T.* Modeling stress recognition in typical virtual environments // *Proceedings of the 7th International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare*. – 2013. – P. 17–24. DOI: 10.4108/icst.pervasivehealth.2013.252011
33. *Wang H., Braun C., Enck P.* Stress social exclusion How the brain reacts to social stress (exclusion) – A scoping review // *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*. – 2017. – Vol. 80. – P. 80–88. DOI: 10.1016/j.ynstr.2016.11.001
34. *Melissa A. Birkett* The Trier Social Stress Test Protocol for Inducing Psychological Stress // *Journal of Visualized Experiments*. – 2011. – Vol. 56. DOI: 10.3791/3238
35. *Skoluda N., Strahler J., Schlotz W. et al.* Intra-individual psychological and physiological responses to acute laboratory stressors of different intensity // *Psychoneuroendocrinology* – 2015. – Vol. 51. – P. 227–236. DOI: 10.1016/j.psyneuen.2014.10.002
36. *Gaillard A. W.* Comparing the concepts of mental load and stress // *Ergonomics*. – 1993. – Vol. 36. – № 9. – P. 991–1005.
37. *Lazarus R. S., Folkman S.* *Stress, Appraisal, and Coping* // Springer Publishing Company. New York, 1984. – P. 445.
38. *Qi M., Gao H., Guan L. et al.* Subjective Stress, Salivary Cortisol, and Electrophysiological Responses to Psychological Stress // *Frontiers in Psychology*. – 2016. – Vol. 7. – P. 229. DOI: 10.3389/fpsyg.2016.00229
39. *Reisman S.* Measurement of Physiological Stress // *IEEE Bioengineering Conference. Proceedings of the IEEE 1997 23rd Northeast* – 1997. – P. 21–23. DOI: 10.1109/NEBC.1997.594939
40. *Sahrim L., Zunairah M., Mustafa M. et al.* Development of EEG-based stress index // 2012

International Conference on Biomedical Engineering (ICoBE). – 27–28 February 2012. – Penang. – P. 460–466. DOI: 10.1109/ICoBE.2012.6179059

41. Ермаков П. Н., Воробьева Е. В., Яцык Г. Г. Индивидуальные особенности стрессорного реагирования во время психофизиологического исследования с применением полиграфа // Российский психологический журнал. – 2016. – Т. 13. – № 2. – С. 156–168.
42. Foley P., Kirschbaum C. Human hypothalamus-pituitary-adrenal axis responses to acute psychosocial stress in laboratory settings // Neuroscience and Biobehavioral Reviews. – 2010. – Vol. 35. – № 1. – P. 91–96. DOI: 10.1016/j.neubiorev.2010.01.010
43. Chrousos G.P. Stress and disorders of the stress system // Nature Reviews Endocrinology. – 2009. – Vol. 5. – № 7. – P. 374–381. DOI: 10.1038/nrendo.2009.106
44. Strahler J., Rogleder N., Wolf J. Acute psychosocial stress induces differential short-term changes in catecholamine sensitivity of stimulated inflammatory cytokine production // Brain, Behavior, and Immunity. – 2014. – Vol. 43. – P. 139–148. DOI: 10.1016/j.bbi.2014.07.014
45. Lundberg U., Frankenhaeuser M. Pituitary-adrenal and sympathetic-adrenal correlates of distress and effort // Journal of Psychosomatic Research. – 1980. – Vol. 24. – № 3–4. – P. 125–130. DOI: 10.1016/0022-3999(80)90033-1

REFERENCES

1. Zhukov D. A. *Stoj, kto vedyot? Biologiya povedeniya cheloveka i drugih zverej* [Wait, who leads? biology of human behavior and other animals] v 2 t. Moscow: Alpina non fikshn, 2015. 427 p.
2. Kitaev-Smyk L. A. *Psihologiya stressa. Psihologicheskaya antropologiya stressa*. [Psychology of stress. Psychological anthropology of stress]. Moscow: Akademicheskij proekt [Academic project], 2009. 943 p.
3. Boyakova A. A. Emotional intelligence and stress-resistance. *Razvitie professionalizma – Development of professionalism*, 2016, Vol. 1, P. 189 (in Russian).
4. Grishchenko E. V. *Stressoustojchivost kak element integrativnogo svojstva lichnosti* [Stress-resistance as an element of the integrative trait of personality]. Materialy iz mezhdunarodnoj konferencii «innovacionnye process v razvitii obshchestva» [Proceedings of the II International Conference «Innovative Processes in the Development of Society»], 2014. P. 349–352.
5. Kalashnikova M. M., Ryseva Y. V. Development of stress-resistance of operational police officers. *Voprosy, gipotezy, otvety: nauka XXI veka – Questions. Hypotheses. Answers: the science of the XXI century*, 2014, pp. 335–354 (in Russian).
6. Brouwer A. M., Neerincx M. A., Kallen V. et al. EEG alpha asymmetry, heart rate variability and cortisol in response to Virtual Reality induced stress. *Journal of Cyber Therapy and Rehabilitation*, 2011, Vol. 4, no. 1, pp. 83–99.
7. Papousek I., Weiss E. M., Schuster G. et al. Prefrontal EEG alpha asymmetry changes while observing disaster happening to other people: cardiac correlates and prediction of emotional impact. *Biological Psychology*, 2014, Vol. 103, pp. 184–194. DOI: 10.1016/j.biopsycho.2014.09.001
8. Bali A., Jaggi A. S. Clinical experimental stress studies: methods and assessment. *Reviews in the neurosciences*, 2014, Vol. 26, pp. 555–579. DOI: 10.1515/revneuro-2015-0004
9. Zschucke E., Renneberg B., Dimeo F. et al. The stress-buffering effect of acute exercise: evidence for HPA axis negative feedback. *Psychoneuroendocrinology*, 2015, Vol. 51, pp. 414–425. DOI: 10.1016/j.psyneuen.2014.10.019.
10. Aschbacher K., O'Donovan A. et al. Good stress, bad stress and oxidative stress: insights from anticipatory cortisol reactivity. *Psychoneuroendocrinology*, 2013, Vol. 38, pp. 1698–1708. DOI: 10.1016/j.psyneuen.2013.02.004
11. Al-Shargie F., Tang T.B., Kigughi M. Assessment of mental stress effects on prefrontal cortical activities using canonical correlation analysis: an fNIRS-EEG study. *Biomedical Optics Express*, 2017, Vol. 8, no. 5, pp. 2593–2598. DOI: 10.1364/BOE.8.002583
12. Lin C-T., King J-T., Gupta A. et al. The Influence of Acute Stress on Brain Dynamics during Task Switching Activities. *IEEE Access*, 2017, Vol. 6, pp. 3249–3255. DOI: 10.1109/ACCESS.2017.2787673

13. Oathes D. J., Ray W. J., Yamasaki A. S. et al. Worry, generalized anxiety disorder, and emotion: Evidence from the EEG gamma band. *Biological Psychology*, 2008, Vol. 79, pp. 165–170. DOI: 10.1016/j.biopsycho.2008.04.005
14. Arnsten A. F. Stress weakens prefrontal networks: molecular insults to higher cognition. *Nature Neuroscience*, 2015, Vol. 18, no. 10, pp. 1376–1385. –DOI: 10.1038/nn.4087
15. Bigert C., Bluhm G., Theorell T. Saliva cortisol – a new approach in noise research to study stress effects. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 2005, Vol. 208, pp. 227–230. DOI: 10.1016/j.ijheh.2005.01.014
16. Arnsten A. F. Stress signaling pathways that impair prefrontal cortex structure and function. *Nature Reviews Neuroscience*, 2009, Vol. 10, no. 6, pp. 410–422. DOI: 10.1038/nrn2648
17. Dedovic K., D'Aguiar C., Pruessner J.C. What stress does to your brain: a review of neuroimaging studies. *The Canadian Journal of Psychiatry*, 2009, Vol. 54, pp. 6–15. DOI: 10.1177/070674370905400104
18. Vorobyeva E. V. EEG spectral power during the performance of mental tasks and individual profile asymmetry of twins. *International Journal of Psychophysiology*, 2012, Vol. 85, no. 3, P. 424. DOI: 10.1016/j.ijpsycho.2012.07.157
19. Vorobyeva E. V. EEG spectral power and individual profile asymmetry of twins. *International Journal of Psychology*, 2012, Vol. 47, no. S1, P. 146. DOI: 10.1080/00207594.2012.709089
20. Wickens J. R., Horvitz J. C., Costa R. M. & Killcross S. Dopaminergic mechanisms in actions and habits. *Journal of Neuroscience*, 2007, Vol. 27, no. 31, pp. 8181–8183. DOI: 10.1523/JNEUROSCI.1671–07.2007
21. Quaedflieg C. W. E. M., Meyer T. et al. The functional role of individual-alpha based frontal asymmetry in stress responding. *Biological psychology*, 2015, Vol. 104, pp. 75–81. DOI: 10.1016/j.biopsycho.2014.11.014.
22. Jun G., Smithe K. G. EEG based Stress Level Identification. *IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, 2016, pp. 3270–3274.
23. Al-Shargie F. M. et al. Mental stress quantification using EEG signals. *International Conference for Innovation in Biomedical Engineering and Life Sciences*, 2015, pp. 15–19. DOI: 10.1007/978-981-10-0266-34
24. Seo S-H., Lee J. T. Stress and EEG. *Convergence and Hybrid Information Technologies*, 2010, pp. 413–426. DOI: 10.5772/9651
25. Thibodeau R., Jorgensen R. S., Kim S. Depression, anxiety, and resting frontal EEG asymmetry: a metaanalytic review. *Abnormal Psychology*, 2006, Vol. 115, no. 4, pp. 715–729. DOI: 10.1037/0021-843X.115.4.715
26. Tops M., Peer van J. M., Wester A. E. et al. State-dependent regulation of cortical activity by cortisol: an EEG study. *Neuroscience Letters*, 2006, Vol. 404, no. 1–2, pp. 39–43. DOI: 10.1016/j.neulet.2006.05.038
27. Lewis R. S., Weekes N. Y., Wang T. H. The effect of a naturalistic stressor on frontal EEG asymmetry, stress, and health. *Biological Psychology*, 2006, Vol. 75, pp. 239–247. DOI: 10.1016/j.biopsycho.2007.03.004
28. Gartner M., Grimm S., Bajbouj M. Frontal midline theta oscillations during mental arithmetic: effects of stress. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 2015, Vol. 9, A. 96. DOI: 10.3389/fnbeh.2015.00096
29. Minguillon J., Lopez-Gordo M., Pelayo F. Stress Assessment by Prefrontal Relative Gamma. *Frontiers in Computational Neuroscience*, 2016, Vol. 10, A. 101. DOI: 10.3389/fncom.2016.00101
30. Yu X., Zhang J., Xie D. et al. Relationship between scalp potential and autonomic nervous activity during a mental arithmetic task. *Autonomic Neuroscience: Basic and Clinical*, 2009, Vol. 146, pp. 81–86. DOI: 10.1016/j.autneu.2008.12.005
31. Hosseini S. A., Khalilzadeh M. A. Emotional stress recognition system using EEG and psychophysiological signals: Using new labelling process of EEG signals in emotional stress state. *International Conference on Biomedical Engineering and Computer Science, ICBECS*, 2010. DOI: 10.1109/ICBECS.2010.5462520
32. Sharma N., Gedeon T. Modeling stress recognition in typical virtual environments. *Proceedings of the 7th International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare*, 2013, pp. 17–24. DOI: 10.4108/icst.pervasivehealth.2013.252011
33. Wang H., Braun C., Enck P. Stress social exclusion: How the brain reacts to social stress

- (exclusion) – A scoping review. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 2017, Vol. 80, pp. 80–88. DOI: 10.1016/j.ynstr.2016.11.001
34. Melissa A. Birkett. The Trier Social Stress Test Protocol for Inducing Psychological Stress. *Journal of Visualized Experiments*, 2011, Vol. 56. DOI: 10.3791/3238
35. Skoluda N., Strahler J., Schlotz W. et al. Intra-individual psychological and physiological responses to acute laboratory stressors of different intensity. *Psychoneuroendocrinology*, 2015, Vol. 51, pp. 227–236. DOI: 10.1016/j.psyneuen.2014.10.002
36. Gaillard A. W. Comparing the concepts of mental load and stress. *Ergonomics*, 1993, Vol. 36, no. 9, pp. 991–1005.
37. Lazarus R. S., Folkman S. Stress, Appraisal, and Coping. Springer Publishing Company. New York – 1984. 445 p.
38. Qi M., Gao H., Guan L. et al. Subjective Stress, Salivary Cortisol, and Electrophysiological Responses to Psychological Stress. *Frontiers in Psychology*, 2016, Vol. 7, A. 229. DOI: 10.3389/fpsyg.2016.00229
39. Reisman S. Measurement of Physiological Stress. *IEEE Bioengineering Conference. Proceedings of the IEEE 1997 23rd Northeast*, 1997, pp. 21–23. DOI: 10.1109/NEBC.1997.594939
40. Sahrim L., Zunairah M., Mustafa M. et al. Development of EEG-based stress index. *2012 International Conference on Biomedical Engineering (ICoBE)*. – 27–28 February 2012, Penang, pp. 460–466. DOI: 10.1109/ICoBE.2012.6179059
41. Ermakov P. N., Vorobyeva E. V., Yacyk G. G. Individual characteristics of stress responding during psycho-physiological research using a polygraph]. *Rossijskij psihologicheskij zhurnal – Russian Psychological Journal*, 2016, Vol. 13, no. 2, pp. 156–168 (in Russian).
42. Foley P., Kirschbaum C. Human hypothalamus-pituitary-adrenal axis responses to acute psychosocial stress in laboratory settings. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 2010, Vol. 35, no. 1, pp. 91–96. DOI: 10.1016/j.neubiorev.2010.01.010
43. Chrousos G.P. Stress and disorders of the stress system. *Nature Reviews Endocrinology*, 2009, Vol. 5, no. 7, pp. 374–381. DOI: 10.1038/nrendo.2009.106
44. Strahler J., Rogleder N., Wolf J. Acute psychosocial stress induces differential short-term changes in catecholamine sensitivity of stimulated inflammatory cytokine production. *Brain, Behavior, and Immunity*, 2014, Vol. 43, pp. 139–148. DOI: 10.1016/j.bbi.2014.07.014
45. Lundberg U., Frankenhaeuser M. Pituitary-adrenal and sympathetic-adrenal correlates of distress and effort. *Journal of Psychosomatic Research*, 1980, Vol. 24, no. 3–4, pp. 125–130. DOI: 10.1016/0022-3999(80)90033-1