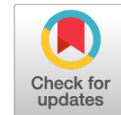


УДК 612.825.5

DOI: <https://doi.org/10.17816/MAJ90520>

## БИОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ МОЗГА И ПОВЕДЕНИЕ КРЫС В ОТДАЛЕННОМ ПЕРИОДЕ ПОСЛЕ ВИТАЛЬНОГО СТРЕССА

Т.В. Авалиани, Н.К. Апраксина, С.Г. Цикунов

Институт экспериментальной медицины, Санкт-Петербург, Россия

**Для цитирования:** Авалиани Т.В., Апраксина Н.К., Цикунов С.Г. Биоэлектрическая активность мозга и поведение крыс в отдаленном периоде после витального стресса // Медицинский академический журнал. 2022. Т. 22. № 1. С. 43–50. DOI: <https://doi.org/10.17816/MAJ90520>

Рукопись получена: 15.12.2021

Рукопись одобрена: 14.03.2022

Опубликована: 30.03.2022

**Обоснование.** Определение возможных биомаркеров, оценивающих выраженность посттравматических симптомов стресса, — актуальная задача для ранней диагностики посттравматических стрессовых расстройств. Проявления эмоциональных состояний как человека, так и животных находят отражение в измененном поведении и в нарушении соотношения основных ритмов и кросскорреляционных связей в электроэнцефалограмме головного мозга, что свидетельствует о развитии патологических процессов.

**Цель исследования** — анализ поведения и электрокортикограммы у крыс в отсроченный период (на 7-е сутки) после стресса, вызванного угрозой жизни, как показатель формирования посттравматического расстройства.

**Материалы и методы.** Исследование проводили на половозрелых самках крыс породы Wistar массой 180–200 г ( $n = 40$ ). Психическую травму моделировали обстоятельствами переживания ситуации гибели партнера от действия хищника и угрозы жизни при помещении крыс в террариум к тигровому питону. У крыс анализировали поведение в тесте «Открытое поле» и биоэлектрическую активность мозга в лобных и затылочных областях, слева и справа, до и после (на 7-е сутки) стрессорного воздействия.

**Результаты.** В отсроченный период после витального стресса у самок крыс в тесте «Открытое поле» наблюдались измененное эмоциональное поведение и снижение двигательной и исследовательской активности. В электрокортикограмме животных выявлено изменение соотношения основных ритмов, кросскорреляционных связей в правой полушарии и снижение межполушарной асимметрии по показателю индекса тета- и дельта-активности.

**Заключение.** На 7-е сутки после прекращения воздействия, связанного с угрозой жизни, у экспериментальных животных отмечены расстройства поведения и изменения электрокортикограммы больших полушарий мозга, что свидетельствует о длительно сохраняющихся последствиях однократной психогенной травмы.

**Ключевые слова:** витальный стресс; отсроченный период; электрокортикограмма; поведение животных; самки крыс.

## THE EFFECT OF VITAL STRESS ON THE BIOELECTRIC ACTIVITY OF THE BRAIN AND THE BEHAVIOR OF FEMALE RATS

Tatiana V. Avaliani, Nataliya K. Apraksina, Sergey G. Tsikunov

Institute of Experimental Medicine, Saint Petersburg, Russia

**For citation:** Avaliani TV, Apraksina NK, Tsikunov SG. The effect of vital stress on the bioelectric activity of the brain and the behavior of female rats. *Medical Academic Journal*. 2022;22(1):43–50. DOI: <https://doi.org/10.17816/MAJ90520>

Received: 15.12.2021

Accepted: 14.03.2022

Published: 30.03.2022

**BACKGROUND:** Identification of possible biomarkers that assess the severity of post-traumatic stress symptoms is an urgent task for the early diagnosis of post-traumatic stress disorders. The manifestation of emotional states, both human and animal, is reflected in altered behavior and in the violation of the ratio of basic rhythms and cross-correlation connections in the brain electroencephalogram, which indicates the development of pathological processes.

**AIM:** The aim of the study was to analyze the behavior and electrocorticoogram indicators of rats in the delayed period (on day 7) after life-threatening stress, as a way to predict the formation of post-traumatic stress disorder.

**MATERIALS AND METHODS:** The study was performed on mature female Wistar rats weighing 180–200 g ( $n = 40$ ). Mental trauma was modeled by the circumstances of experiencing the situation of the death of a partner from the action of a predator and the threat to their own life when placing rats in a terrarium with a tiger python. In rats, the behavior in the “Open Field” test and the bioelectric activity of the brain in the frontal and occipital regions on the left and right were analyzed before and on the 7<sup>th</sup> day after stress exposure.

**RESULTS:** It is shown that in the delayed period after vital stress in female rats, there is a decrease in motor and research activity and altered emotional behavior in the “Open Field” test. Reduction of interhemispheric asymmetry in

### Список сокращений

ПТСР — посттравматическое стрессовое расстройство; ЭКоГ — электрокортикограмма; ЭЭГ — электроэнцефалограмма.

the index of theta and delta activity and changes in cross-correlation connections in the right hemisphere, as well as changes in the ratio of the main rhythms and cross-correlation connections of the electroencephalography. The revealed changes in the delayed period indicate a pronounced aversive nature of the psychotraumatic effect.

**CONCLUSIONS:** Life-threatening stress is caused by changes in electrophysiological and behavioral parameters in experimental animals not only at the time of exposure, but also in the long-term period.

**Keywords:** vital stress; delayed period; electrocorticogram; animal behavior; female rats.

## Обоснование

Проявления эмоциональных состояний как человека, так и животных находят отражение в изменении соотношения основных ритмов электроэнцефалограммы (ЭЭГ) и кросскорреляционных связей биоэлектрической активности мозга. Эти показатели позволяют в реальном времени изучать динамику протекания процессов взаимодействия между структурами головного мозга, нарушение которых в конечном счете и определяет возникновение того или иного расстройства — невротического, психического или эмоционального [1].

В модели психоэмоционального стресса наблюдается изменение спектра мощности и индекса ритмов биоэлектрической активности мозга [2]. Показано, что стресс любого генеза формируется за счет активации лимбико-ретикулярных структур мозга и проявляется изменением электрофизиологических и поведенческих показателей у экспериментальных животных [3]. В связи с этим возникает необходимость определения возможных биомаркеров, оценивающих выраженность посттравматических симптомов стресса. Это нужно для ранней диагностики посттравматических стрессовых расстройств (ПТСР), степени уязвимости и факторов устойчивости к их развитию [4]. Стрессорные воздействия вызывают возникновение условного рефлекса страха [5], что негативно отражается на поведении не только в момент воздействия, но и в отдаленный период. Таким образом, изменения показателей биоэлектрической активности коры больших полушарий и нарушение поведения могут свидетельствовать о развитии патологических процессов в центральной нервной системе, в частности ПТСР.

**Цель исследования** — анализ поведения и показателей электрокортикограммы (ЭКоГ) крыс в отсроченный период (на 7-е сутки) после витального стресса.

## Материалы и методы

Исследование проводили на половозрелых самках крыс породы Wistar массой 180–200 г ( $n = 40$ ).

Стереотаксические операции по установке корковых электродов осуществляли под золепидиловым наркозом (0,6 мл/кг) после предварительной премедикации рометаром. Серебряные

шаровидные электроды ( $d = 1$  мм) имплантировали в лобные и затылочные области черепа, справа и слева ( $AP = 3$  мм, вперед/назад от брегмы,  $SD = 2$  мм, латерально от сагиттального шва,  $H = 0,3$  мм — глубина погружения в кости черепа). Стереотаксические координаты определяли по атласу G. Paxinos, C. Watson [6]. Индифферентные электроды располагали на затылочной кости справа и слева от сагиттального шва. Все электроды коммутировались на микроразъеме, зафиксированном на черепе, с предварительно установленными титановыми крепежными скобами самотвердеющей пластмассой. Послеоперационный период составлял 7 сут. Непосредственно во время эксперимента устанавливали телеметрический регистратор биопотенциалов.

За неделю до вживления электродов крысам и на 7-е сутки после стресса в тесте «Открытое поле» в течение трех минут регистрировали длительность и количество актов, а также анализировали поведение: эмоциональное — акты «груминг», «вертикальная стойка»; двигательное — акты «локомоция», «сидит», «движение на месте», «фризинг»; исследовательское — акты «норка», «стойка с упором», «обнюхивание», и суммарное количество актов за трехминутный период. При анализе поведения использовали непараметрический тест Манна — Уитни с уровнем достоверности  $p \leq 0,05$ .

Психическую травму моделировали обстоятельствами переживания ситуации гибели партнера от действия хищника и угрозы собственной жизни при помещении крыс в террариум к тигровому питону [7]. Далее крысы находились в террариуме за прозрачной перегородкой в течение 30–40 мин. Во время нанесения психической травмы у крыс наблюдались выраженные реакции страха (фризинг, сбивание в кучи, вертикальные стойки, продолжительный и измененный груминг). Отдельные животные азитированно и бесконтрольно перемещались по террариуму.

В настоящем исследовании влияние гормонального фактора в патогенезе посттравматического стрессового расстройства не проводили, фазу эстрального цикла самок крыс не учитывали. Важным в данном эксперименте представлялся акцент на объективизацию чувства ужаса, страха при переживании ситуации угрозы

собственной жизни у крыс (момент захвата, удушения и заглатывания сородича хищником), фиксации переживаемого страха животным вне зависимости от нахождения в той или иной фазе эстрального цикла и на развертывание программы ПТСР в ранний отдаленный период.

Биоэлектрическую активность мозга в лобных и затылочных областях, слева и справа, регистрировали до и после (на 7-е сутки) стрессорного воздействия в течение 20 мин с использованием компьютерной программы «Синхро-С» (правообладатель «СинКор», Россия), которая позволяет оценить индекс ритмов и амплитуду колебаний в диапазоне альфа-, бета-, тета- и дельта-частот. Показателем ЭКоГ-активности служил индекс ритма в диапазоне альфа-, бета-, тета- и дельта-частот, представляющий долю ритма, отношение количества колебаний к их общему количеству за 20-минутный интервал с периодом анализа 2 мин.

Зарегистрированные данные ЭКоГ обрабатывали в специальной компьютерной программе, позволяющей выявлять характер взаимодействия корковых зон головного мозга по результатам кросскорреляционного анализа. Для каждой крысы строили профиль фазовых сдвигов ЭКоГ: рассчитывали долю опережающих, отстающих, синхронных связей и моментов отсутствия связей между парами затылочных и лобно-затылочных отведений. Вид связи оценивали по сдвигу максимума кросскорреляционной функции относительно нуля: влево — опережающая, вправо — отстающая, в нуле — синхронная. Если максимум кросскорреляционной функции был меньше 0,3, то фиксировали отсутствие связи. Множество кросскорреляционной функции вычисляли для последовательных отрезков ЭКоГ длительностью 2 с за весь 20-минутный сеанс (в среднем 300–380 отрезков). Сравнивали усредненные профили фазовых сдвигов ЭКоГ самок крыс до стресса и на 7-е сутки после психогенной травмы. Для выявления статистически значимых различий применяли пакет программ Statistica 10, оценку проводили однофакторным дисперсионным анализом для повторных

измерений (Repeated Measures ANOVA) с последующими апостериорными сравнениями при помощи *t*-критерия Стьюдента для зависимых выборок с поправкой на множественные сравнения.

Животных содержали в соответствии с правилами, принятыми Европейской конвенцией по защите позвоночных животных, используемых для экспериментальных целей (European Communities Council Directive of 24 November, 1986, 86/609/EEC). Исследование проводили в соответствии с принципами Базельской декларации, Приказом Минздрава РФ от 01.04.2016 № 199н «Об утверждении правил надлежащей лабораторной практики» и с разрешения этического комитета ФГБУ «Институт экспериментальной медицины» № 2/16 от 12.05.2016.

## Результаты

Показатели индекса ритмов биоэлектрической активности мозга самок крыс в диапазоне альфа-, бета-, тета- и дельта-частот представлены в табл. 1, 2. Нами не выявлено достоверных изменений биоэлектрической активности мозга по показателю индекса альфа- и бета-ритма в отсроченном периоде, на 7-е сутки после стресса (табл. 1). Значения тета-ритма на 7-е сутки увеличены в правой, а дельта-ритма — в левой затылочной области (табл. 2). Для животных до переживания психотравмирующего воздействия была свойственна асимметрия по показателю индекса ритма в диапазоне бета- и тета-частот в затылочных областях коры полушарий и дельта-активности — между правой и левой лобными отведениями (табл. 1, 2). К 7-м суткам после перенесенного психотравмирующего воздействия асимметрия ЭКоГ-показателей бета-активности между затылочными областями сохраняется (табл. 1) и наблюдается достоверное увеличение (по сравнению с контрольными значениями) индекса дельта-активности в обеих затылочных областях (табл. 2).

С помощью анализа кросскорреляционных связей биоэлектрической активности исследуемых зон по отношению к правой затылочной

Таблица 1 / Table 1

Показатели индекса ритма самок крыс в диапазоне альфа- и бета-активности на 7-е сутки после витального стресса

Indicators of the rhythm index of female rats in the range of alpha and beta activity on day 7 after vital stress

Период	Альфа-активность				Бета-активность			
	Фронтальная область		Затылочная область		Фронтальная область		Затылочная область	
	левая	правая	левая	правая	левая	правая	левая	правая
До стресса	38,1 ± 0,9	39,1 ± 0,6	41,2 ± 1,7	40,7 ± 1,9	34,3 ± 2,4	37,0 ± 2,1	31,5 ± 2,3	36,5 ± 2,7*
7-е сутки	39,3 ± 1,0	39,6 ± 1,2	40,3 ± 2,3	40,6 ± 2,3	36,1 ± 2,4	38,7 ± 1,7	31,7 ± 1,0	36,1 ± 2,1*

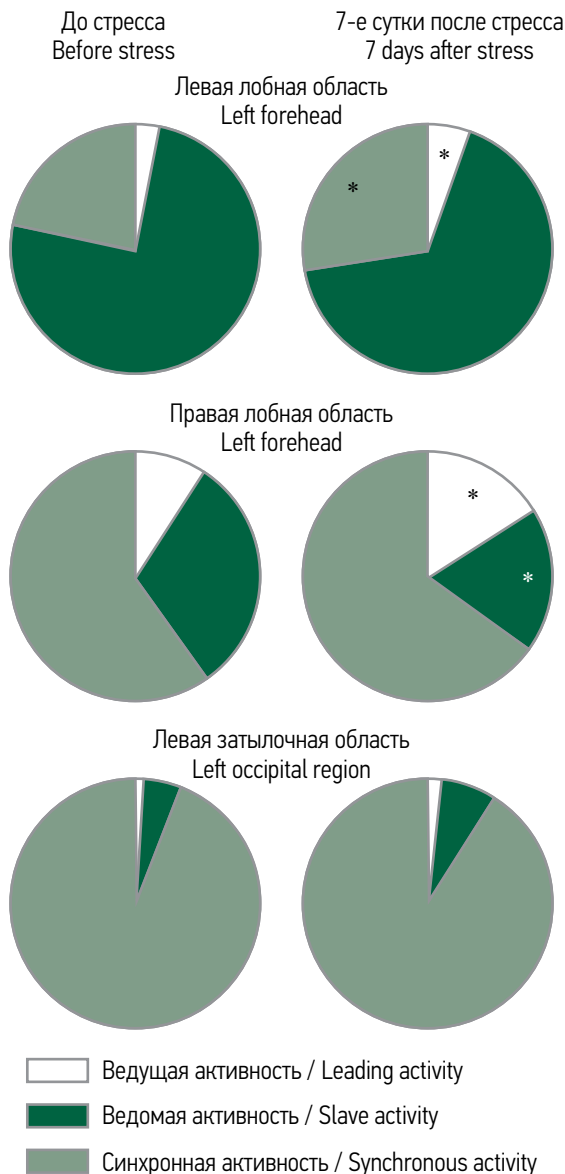
\* $p \leq 0,05$  — уровень различий между правой и левой затылочной областью.

Таблица 2 / Table 2

Показатели индекса ритма самок крыс в диапазоне тета- и дельта- активности на 7-е сутки после витального стресса  
 Indicators of the rhythm index of female rats in the range of theta and delta activity on day 7 after vital stress

Период	Тета-активность				Дельта-активность			
	Фронтальная область		Затылочная область		Фронтальная область		Затылочная область	
	левая	правая	левая	правая	левая	правая	левая	правая
До стресса	24,5 ± 2,4	22,0 ± 2,1	25,9 ± 2,4 <sup>#</sup>	21,2 ± 1,1	2,8 ± 1,1 <sup>#</sup>	1,3 ± 0,2	1,2 ± 0,2	0,9 ± 0,1
7-е сутки	22,4 ± 2,4	20,1 ± 2,2	28,0 ± 2,4 <sup>#</sup>	23,7 ± 1,3	2,3 ± 1,7	1,3 ± 0,4	1,7 ± 0,2 <sup>*,#</sup>	1,4 ± 0,2 <sup>*</sup>

\* $p \leq 0,05$  — уровень различий по сравнению с показателями до стресса; <sup>#</sup> $p \leq 0,05$  — уровень различий между правым и левым полушарием.



**Рис. 1.** Профили связей электрокортикографии по отношению к правой затылочной области у крыс в модели витального стресса. \* $p \leq 0,05$  — достоверность отличий по сравнению с показателями до стресса

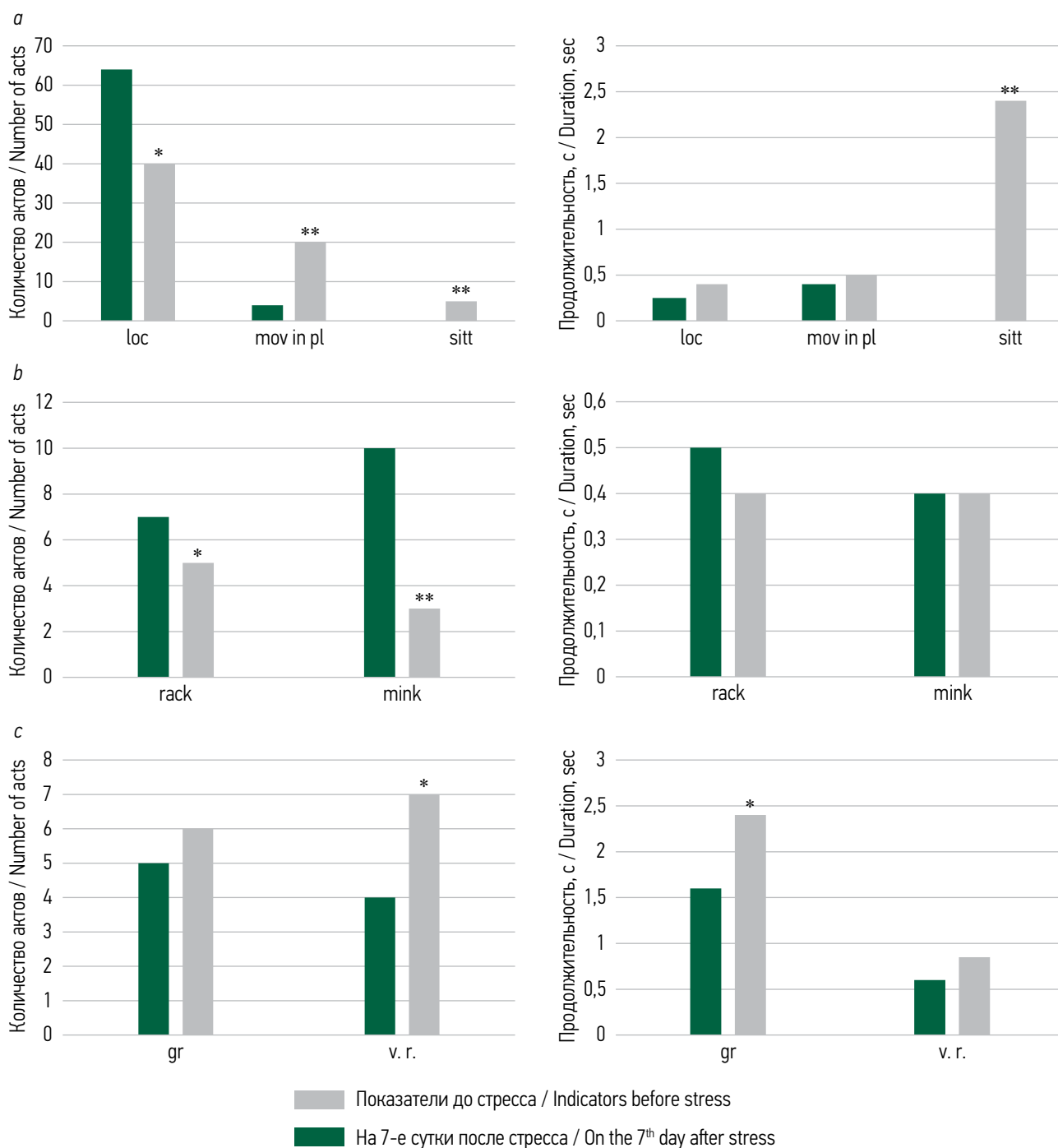
**Fig. 1.** Profiles of electrocortigraphy relationships in relation to the right occipital region in rats in a model of vital stress. \* $p \leq 0.05$  — significance of differences in comparison with indicators before stress

области на 7-е сутки после стресса выявлены следующие отличия от контрольных показателей. В левой лобной области увеличена доля «ведущей» и «синхронной» активности ЭКоГ и отмечено «отсутствие связи» (3 %); в правой лобной области наблюдалось увеличение «ведущей» и снижение «ведомой» ЭКоГ-активности по отношению к правой затылочной области. В левой затылочной области по отношению к правой затылочной области достоверные изменения отсутствовали (рис. 1).

Тестирование животных в открытом поле показало, что на 7-е сутки после витального стресса у крыс снижено количество актов активного двигательного поведения и увеличено количество актов пассивного поведения (движение на месте), длительность этих актов возросла, но достоверных различий не выявлено. После стресса была снижена и исследовательская активность. Увеличена длительность груминга и количество вертикальных стоек, что свидетельствует об эмоциональном напряжении (рис. 2). Количество актов «обнюхивание», которые характеризуют как исследовательское, так и эмоциональное поведение, было снижено в среднем на 13 %, а их длительность — на 40 % и более.

## Обсуждение

Психогенная травма у крыс, вызванная витальным стрессом, приводит к длительному изменению поведения, характерному для ПТСР человека [6]. Одно из типичных проявлений ПТСР — многократное повторное переживание травматических событий в форме навязчивых воспоминаний (флешбэков) [8]. На наш взгляд, изменения в ЭКоГ крыс в отсроченный период коррелируют с ЭЭГ показателями при оценке тяжести ПТСР у человека [9–11]. В нашем исследовании высокий уровень индекса ритма в диапазоне дельта-активности на 7-е сутки после стресса может свидетельствовать о выраженном аверсивном характере психотравмирующего воздействия. По литературным данным, усиление дельта-активности свидетельствует о со-



**Рис. 2.** Акты поведения крыс в тесте «Открытое поле» в норме и на 7-е сутки после витального стресса. Двигательное поведение (a): loc — локомоции, mov in pl — движение на месте, sitt — сидит; исследовательское поведение (b): rack — стойка с упором, mink — заглядывание в норку; эмоциональное поведение (c): gr — груминг, v. r. — вертикальная стойка. \* $p \leq 0,05$ , \*\* $p \leq 0,01$  — достоверность отличий по сравнению с показателями до стресса

**Fig. 2.** Behavioral acts of rats in the “Open field” test in normal conditions and on the 7<sup>th</sup> day after vital stress. Motor behavior (a): loc — locomotion, mov in pl — motion in place, sitt — sitting; exploratory behavior (b): rack — stand with emphasis, mink — looking into the mink; emotional behavior (c): gr — grooming, v. r. — vertical rack. \* $p \leq 0.05$ , \*\* $p \leq 0.01$  — reliability of differences compared to the indicators before stress

стоянии отчаяния, ангедонии, то есть об одном из проявлений ПТСР [12, 13]. Если преимущественные изменения ритмов ЭКоГ у самок крыс после витального стресса регистрировались в затылочных областях, то нарушение

кросскорреляционных связей по отношению к правой затылочной области изменены в лобных отделах.

Преобладание негативных эмоций при переживании ситуации угрозы жизни связывают

прежде всего с правым полушарием. В нашей работе наиболее выраженные изменения кросс-корреляционных связей обнаружены именно в правом полушарии. Снижение межполушарной асимметрии по показателю индекса тета- и дельта-активности после переживания ситуации угрозы жизни также может быть вызвано снижением стрессоустойчивости адаптивных возможностей организма к психотравмирующему воздействию.

Тета-ритм, связанный с поисковым поведением, усиливается при эмоциональном напряжении, часто наблюдается при психотических нарушениях, состояниях спутанности сознания, сотрясениях мозга. При этом поведение крыс на 7-е сутки после витального стресса изменилось: снизилось активное двигательное поведение и увеличилось количество актов, характеризующих пассивное поведение. Об эмоциональном напряжении свидетельствует также измененный груминг (рис. 2). Таким образом, как измененные электрофизиологические показатели, так и аномальное поведение наблюдались у крыс в ранней отдаленный период после стресса.

Межполушарная асимметрия может изменяться при стрессе [14], играя существенную роль в адаптационных процессах. Изменение асимметрии свидетельствует о снижении стрессоустойчивости [15]. Известно, что выраженность поведенческих и электрофизиологических нарушений у крыс, переживших витальный стресс, в частности изменение пространственной организации ЭКОГ, зависит от межполушарной асимметрии [16]. Преобладание негативных эмоций при переживании ситуации угрозы жизни связывают прежде всего с правым полушарием [17]. В данной работе было выявлено, что наиболее выраженные изменения кросс-корреляционных связей фиксируются именно в правом полушарии. Снижение межполушарной асимметрии по показателю индекса тета- и дельта-активности после переживания ситуации угрозы жизни могут быть связаны со снижением стрессоустойчивости адаптивных возможностей организма к психотравмирующему воздействию, что подтверждается данными по выявлению степени асимметрии в результате влияния сильных или длительных раздражителей [14, 18].

Кросс-корреляционный анализ и спектральные мощности энцефалографии как при черепно-мозговой травме [19], так и при стрессе позволяют установить патологические взаимоотношения между областями коры и сопоставить эти данные с изменением поведения — снижением двигательной и исследовательской активности и повышенной эмоциональностью крыс при тестировании в ранний отдаленный период.

Ранее было показано, что фаза эстрального цикла у самок играет существенную роль в проявлении изменений в поведении и липидном обмене крыс при стрессе [7]. В данной работе мы не анализировали фазу эстрального цикла у самок, тем не менее очевидно, что основные нарушения поведения у крыс до стресса и после перенесенной психогенной травмы совпали. В отличие от результатов, полученных ранее, в данной серии экспериментов у крыс было нарушено эмоциональное поведение: увеличены длительность груминга и количество вертикальных стоек (рис. 2, с).

Таким образом, данное исследование показало, что изменения биоэлектрической активности мозга и нарушение поведения в отсроченный период после стресса свидетельствуют о развитии патологических процессов и требуют в дальнейшем разработки способов предотвращения [20] и/или коррекции [16] данного состояния.

### Дополнительная информация

**Финансирование.** Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с подготовкой и публикацией настоящей статьи.

**Вклад авторов.** Все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией. Наибольший вклад распределен следующим образом: *С.Г. Цикунов, Т.В. Авалиани* — идея работы и планирование эксперимента; *Н.К. Апраксина, Т.В. Авалиани* — проведение экспериментов и обработка материала, написание статьи и подбор литературы; *С.Г. Цикунов* — редактирование рукописи.

### Additional information

**Funding.** The study had no external funding.

**Conflict of interest.** The authors have no conflicts of interest regarding the publication of this article.

**Author contributions.** All authors made a significant contribution to the study and the article preparation, as well as read and approved the final version before its publication. The largest contribution is distributed as follows: *S.G. Tsikunov, T.V. Avaliani* — idea of work and planning of the experiment; *N.K. Apraksina, T.V. Avaliani* — conducting experiments and processing the material, writing an article and selecting literature; *S.G. Tsikunov* — editing the manuscript.

## Список литературы

1. Лохов М.И., Фесенко Ю.А., Фесенко Е.В. Интеллект ребенка и профилактика его нарушений. СПб.: ЭЛБИ-СПб., 2008.
2. Nedelcovych M.T., Gould R.W., Zhan X. et al. A rodent model of traumatic stress induces lasting sleep and quantitative electroencephalographic disturbances // *ACS Chem. Neurosci.* 2015. Vol. 6, No. 3. P. 485–493. DOI: 10.1021/cn500342u
3. Судаков К.В., Умрюхин П.Е. Системные основы эмоционального стресса. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2010.
4. Yehuda R., Brand S., Golier J.A., Yang R.-K. Clinical correlates of DHEA associated with post-traumatic stress disorder // *Acta Psychiatr. Scand.* 2006. Vol. 114, No. 3. P. 187–193. DOI: 10.1111/j.1600-0447.2006.00801.x
5. Lommen M.J.J., Engelhard I.M., Sijbrandij M. et al. Pre-trauma individual differences in extinction learning predict posttraumatic stress // *Behav. Res. Ther.* 2013. Vol. 51, No. 2. P. 63–67. DOI: 10.1016/j.brat.2012.11.004
6. Paxinos G., Watson C. The rat brain in stereotaxic coordinates. 6<sup>th</sup> ed. Academic press, 2007.
7. Цикунов С.Г., Пшеничная А.Г., Ключева Н.Н. и др. Витальный стресс вызывает длительные расстройства поведения и обмена липидов у самок крыс // *Обзоры по клинической фармакологии и лекарственной терапии.* 2016. Т. 14, № 4. С. 32–41. DOI: 10.17816/RCF14432-41
8. Kirkpatrick H.A., Heller G.M. Post-traumatic stress disorder: Theory and treatment update // *Int. J. Psychiatry Med.* 2014. Vol. 47, No. 4. P. 337–346. DOI: 10.2190/PM.47.4.h
9. Набиев Р.Г., Кондратьева О.Г., Шибкова Д.З. Изменения функционального состояния центральной нервной системы при формировании посттравматического стрессового расстройства // *Современные проблемы науки и образования.* 2015. № 3. С. 595–602.
10. Шадрин И.В., Дедова К.Н., Пугачёв А.Н. Нейрофизиологические особенности работы головного мозга (по результатам анализа показателей ЭЭГ) и их влияние на психологические характеристики у пациентов с посттравматическим стрессовым расстройством // *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Образование, здравоохранение, физическая культура.* 2011. № 7(224). С. 84–86.
11. Lobo I., Portugal L.C., Figueira I. et al. EEG correlates of the severity of posttraumatic stress symptoms: a systematic review of the dimensional PTSD literature // *J. Affect Disord.* 2015. Vol. 1, No. 183. P. 210–220. DOI: 10.1016/j.jad.2015.05.015
12. Knyazev G.G. EEG delta oscillations as a correlate of basic homeostatic and motivational processes // *Neurosci. Biobehav. Rev.* 2012. Vol. 36, No. 1. P. 677–695. DOI: 10.1016/j.neubiorev.10.002
13. Schutter D., van Honk J. Decoupling of midfrontal delta–beta oscillations after testosterone administration // *Int. J. Psychophysiol.* 2004. Vol. 53, No. 1. P. 71–73. DOI: 10.1016/j.ijpsycho.2003.12.012
14. Aftanas L.I., Reva N.V., Varlamov A.A. et al. Analysis of evoked EEG synchronization and desynchronization in conditions of emotional activation in humans: temporal and topographic characteristics // *Neurosci. Behav. Physiol.* 2004. Vol. 34, No. 8. P. 859–867. DOI: 10.1023/b:neab.0000038139.39812.eb
15. Егоров А.Ю. Функциональная асимметрия мозга и важность развития клинического направления в эволюционной физиологии // *Тенденции развития физиологических наук. VI сессия, посвященная 150-летию со дня рождения И.П. Павлова, Санкт-Петербург, 25–26 ноября 1999.* СПб.: Наука, 2000. С. 159–160.
16. Чуян Е.Н., Горная О.И. Изменение коэффициента моторной асимметрии у крыс при адаптации к гипоксическому стрессу // *Физика живого.* 2009. Т. 17, № 1. С. 165–168.
17. Авалиани Т.В., Константинов К.В., Быкова А.В. и др. Коррекция функционального состояния самок крыс методом ЭЭГ-зависимого акустического воздействия в модели витального стресса // *Нейрокомпьютеры: разработка, применение.* 2014. № 7. С. 5–11.
18. Спиридонова М.Д. Особенности спектров мощности ЭЭГ при переживании чувства страха // *Молодой ученый.* 2013. № 8. С. 130–132.
19. Сысоев Ю.И., Пьянкова В.А., Крошкина К.А. и др. Кросскорреляционный и когерентный анализ электрокортикограмм крыс, перенесших черепно-мозговую травму // *Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова.* 2020. Т. 106, № 3. С. 315–328. DOI: 10.31857/S0869813920030085
20. Авалиани Т.В., Ключева Н.Н., Апраксина Н.К., Цикунов С.Г. Прекодиционирование тяжелой психической травмы методом звукового воздействия // *Обзоры по клинической фармакологии и лекарственной терапии.* 2018. Т. 16, № S1. С. 9–10.

## References

1. Lohov MI, Fesenko YuA, Fesenko EV. Intellect rebenka i profilaktika ego narusheniy. Saint Petersburg: ELBI-SPb.; 2008. (In Russ.)
2. Nedelcovych MT, Gould RW, Zhan X, et al. A rodent model of traumatic stress induces lasting sleep and quantitative electroencephalographic disturbances. *ACS Chem Neurosci.* 2015;6(3):485–493. DOI: 10.1021/cn500342u
3. Sudakov KV, Umryukhin PE. Sistemnye osnovy ehmocional'noy stressa. Moscow: GEOTAR-Media; 2010. (In Russ.)
4. Yehuda R, Brand S, Golier JA, Yang R-K. Clinical correlates of DHEA associated with post-traumatic stress disorder. *Acta Psychiatr Scand.* 2006;114(3):187–193. DOI: 10.1111/j.1600-0447.2006.00801.x
5. Lommen MJJ, Engelhard IM, Sijbrandij M, et al. Pre-trauma individual differences in extinction learning predict posttraumatic stress. *Behav Res Ther.* 2013;51(2):63–67. DOI: 10.1016/j.brat.2012.11.004
6. Paxinos G, Watson C. The rat brain in stereotaxic coordinates. 6<sup>th</sup> ed. Academic press; 2007.
7. Tsikunov SG, Pshenichnaya AG, Klyueva NN, et al. Vital stress causes long-lasting behavioral disorders and lipid metabolism deviations in female rats. *Reviews on Clinical Pharmacology and Drug Therapy.* 2016;14(4):32–41. (In Russ.) DOI: 10.17816/RCF14432-41
8. Kirkpatrick HA, Heller GM. Post-traumatic stress disorder: Theory and treatment update. *Int J Psychiatry Med.* 2014;47(4):337–346. DOI: 10.2190/PM.47.4.h
9. Nabiev RG, Kondrateva OG, Shibkova DZ. Changes in the functional state of the central nervous system in the formation of post-traumatic stress disorder. *Modern problems of science and education.* 2015;(3):595–602. (In Russ.)

10. Shadrina IV, Dedova KN, Pugachev AN. Neurophysiological of feature of work of a brain (by results of the analysis of indicators electroencephalography) and their influence on psychological characteristics at patients with posttraumatic stressful frustration. *Bulletin of The South Ural State University. Series: Education, health care, physical education*. 2011;(7(224)):84–86. (In Russ.)
11. Lobo I, Portugal LC, Figueira I, et al. EEG correlates of the severity of posttraumatic stress symptoms: a systematic review of the dimensional PTSD literature. *J Affect Disord*. 2015;1(183):210–220. DOI: 10.1016/j.jad.2015.05.015
12. Knyazev GG. EEG delta oscillations as a correlate of basic homeostatic and motivational processes. *Neurosci Biobehav Rev*. 2012;36(1):677–695. DOI: 10.1016/j.neubiorev.10.002
13. Schutter D, van Honk J. Decoupling of midfrontal delta–beta oscillations after testosterone administration. *Int J Psychophysiol*. 2004;53(1):71–73. DOI: 10.1016/j.ijpsycho.2003.12.012
14. Aftanas LI, Reva NV, Varlamov AA, et al. Analysis of evoked EEG synchronization and desynchronization in conditions of emotional activation in humans: temporal and topographic characteristics. *Neurosci Behav Physiol*. 2004;34(8):859–867. DOI: 10.1023/b:neab.0000038139.39812.eb
15. Egorov AYu. Functional asymmetry of the brain and the importance of developing a clinical direction in evolutionary physiology. Proceedings of Tendencies of development of physiological sciences: VI sessiya posvyashchennaya 150-letiyu so dnya rozhdeniya I.P. Pavlova; 1999 Nov 25–26; Saint Petersburg. Saint Petersburg: Nauka; 2000. P. 159–160. (In Russ.)
16. Chuyan EN, Gornaya OI. Changes in the coefficient of motor asymmetry in rats during adaptation to hypoxic stress. *Fizika zhivogo*. 2009;17(1):165–168. (In Russ.)
17. Avaliani TV, Konstantinov KV, Bykova AV, et al. Correction of the functional state of female rats by the method of EEG-dependent acoustic exposure in the model of vital stress. *Neurocomputers*. 2014;(7):5–11. (In Russ.)
18. Spiridonova MD. Osobennosti spektrov moshchnosti EEG pri perezhivanii chuvstva strakha. *Molodoy uchenyj*. 2013;(8):130–132. (In Russ.)
19. Sysoev Yul, Pyankova VA, Kroshkina KA, et al. Crosscorrelation and coherent analysis of ECG in rats with traumatic brain injury. *Russian Journal of Physiology*. 2020;106(3):315–328. (In Russ.) DOI: 10.31857/S0869813920030085
20. Avaliani TV, Klyueva NN, Apraksina NK, Tsikunov SG. Preconditioning of severe mental trauma by the method of sound exposure. *Reviews on Clinical Pharmacology and Drug Therapy*. 2018;16(S1):9–10. (In Russ.)

### Информация об авторах / Information about the authors

*Татьяна Варламовна Авалиани* — канд. биол. наук, старший научный сотрудник лаборатории психофизиологии эмоций Физиологического отдела им. И.П. Павлова. ФБГНУ «Институт экспериментальной медицины», Санкт-Петербург, Россия. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0342-3810>; eLibrary SPIN: 3743-1169; e-mail: [tanaavaleeani@mail.ru](mailto:tanaavaleeani@mail.ru)

*Наталья Константиновна Апраксина* — канд. биол. наук, старший научный сотрудник лаборатории психофизиологии эмоций Физиологического отдела им. И.П. Павлова. ФБГНУ «Институт экспериментальной медицины», Санкт-Петербург, Россия. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5285-6589>; eLibrary SPIN: 2450-9282; e-mail: [natalapraksina@mail.ru](mailto:natalapraksina@mail.ru)

*Сергей Георгиевич Цикунов* — д-р мед. наук, профессор, руководитель лаборатории психофизиологии эмоций Физиологического отдела им. И.П. Павлова. ФБГНУ «Институт экспериментальной медицины», Санкт-Петербург, Россия. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7097-1940>; ResearcherID: E-6273-2014; Scopus Author ID: 6506948997; eLibrary SPIN: 7771-1940; e-mail: [secikunov@yandex.ru](mailto:secikunov@yandex.ru)

*Tatiana V. Avaliani* — Cand. Sci. (Biol.), Senior Researcher of Physiological Department named I.P. Pavlov. Institute of the Experimental Medicine, Saint Petersburg, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0342-3810>; eLibrary SPIN: 3743-1169; e-mail: [tanaavaleeani@mail.ru](mailto:tanaavaleeani@mail.ru)

*Nataliya K. Apraksina* — Cand. Sci. (Biol.), Senior Researcher of Physiological Department named I.P. Pavlov. Institute of the Experimental Medicine, Saint Petersburg, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5285-6589>; eLibrary SPIN: 2450-9282; e-mail: [natalapraksina@mail.ru](mailto:natalapraksina@mail.ru)

*Sergey G. Tsikunov* — MD, Dr. Sci. (Med.), Head of the Laboratory of the Psychophysiology of Emotions of Physiological Department named I.P. Pavlov. Institute of the Experimental Medicine, Saint Petersburg, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7097-1940>; ResearcherID: E-6273-2014; Scopus Author ID: 6506948997; eLibrary SPIN: 7771-1940; e-mail: [secikunov@yandex.ru](mailto:secikunov@yandex.ru)

### ✉ Контактное лицо / Corresponding author

*Татьяна Варламовна Авалиани / Tatiana V. Avaliani*  
 Адрес: Россия, 197022, Санкт-Петербург, ул. Академика Павлова, д. 12  
 Address: 12 Academician Pavlov St., Saint Petersburg, 197022, Russia  
 E-mail: [tanaavaleeani@mail.ru](mailto:tanaavaleeani@mail.ru)