

EXPERIMENTAL PHYSIOLOGY. RESEARCH ARTICLE
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ФИЗИОЛОГИЯ. НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

DOI: 10.22363/2313-0245-2020-24-1-75-84
УДК 616.65-006:615.837.3

Влияние транскраниальной электростимуляции на результаты трактографии фронтальной коры студентов при психоэмоциональном стрессе

А.Х. Каде¹, С.К. Ахеджак-Нагузе², В.В. Дуров¹, Ю.В. Кашина¹, Е.Г. Таценко¹,
А.Г. Пенжоян¹, Р.В. Никитин¹, В.Г. Абушкевич¹

¹ Кубанский государственный медицинский университет, Краснодар, Российская Федерация

² Научно-исследовательский институт — Краевая клиническая больница № 1 имени профессора С.В. Очаповского, Краснодар, Российская Федерация

Аннотация. *Актуальность:* транскраниальная электростимуляция обладает противострессовым эффектом у человека. Один из возможных механизмов обусловлен изменениями в функциональном состоянии фронтальной области коры головного мозга. Цель работы: оценить динамику трактографии фронтальной области коры головного мозга человека при психоэмоциональном стрессе до и после транскраниальной электростимуляции (ТЭС). *Материалы и методы:* Наблюдения были выполнены на 26 условно здоровых юношах. У студентов оценивали уровень стрессоустойчивости по тесту Н.Н. Киршевой, Н.В. Рябчиковой и по вариабельности ритма сердца в зачетный период. Проводили МРТ головного мозга на высокопольном томографе (напряженность магнитного поля 3 Тл) фирмы General Electric (США) с последующей программной обработкой и трактографией. 16 испытуемым (основная группа) проводили сеансы транскраниальной электростимуляции (ТЭС-терапии). ТЭС-терапию выполняли при помощи аппарата «ТРАНСАИР-02» монополярными импульсами. Сеансы проводили в вечернее время с 18 до 22 часов через день. Курс состоял из 5 сеансов по 30 минут, сила тока — от 2,0 до 3,0 мА. После курса ТЭС-терапии повторяли МРТ головного мозга и трактографию. В группе сравнения (10 человек) ТЭС-терапию не проводили, но аналогично повторяли МРТ и трактографию. По трактограммам сравнивали площадь трактов во фронтальной области коры головного мозга в обеих группах, а также до и после ТЭС-терапии. Для статистического анализа результатов исследования использовали программу «STATISTICA 10». *Результаты:* На трактограммах фронтальной коры головного мозга, у студентов, испытывающих стресс, обусловленный учебной нагрузкой в зачетный период, площадь трактов на трактограмме составляла $7,9 \pm 0,4$ см². После 5 сеансов транскраниальной электростимуляции уровень стрессоустойчивости повышался. На трактограммах фронтальной коры головного мозга площадь трактов увеличивалась и составляла $13,4 \pm 0,5$ см². *Заключение:* После транскраниальной электростимуляции при снятии психоэмоционального стресса у студентов происходит восстановление площади трактов во фронтальной области коры мозга.

Ключевые слова: адаптация, стрессоустойчивость, трактография, транскраниальная электростимуляция

Вклад авторов. Все авторы — разработка, проведение исследования; сбор и обработка материалов; все авторы — анализ полученных данных, написание текста.

© Каде А.Х., Ахеджак-Нагузе С.К., Дуров В.В., Кашина Ю.В., Таценко Е.Г., Никитин Р.В., Пенжоян А.Г., Абушкевич В.Г. 2020

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Финансирование: Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Заявление о конфликте интересов. Авторы заявляют, что исследование проводилось при отсутствии какого-либо конфликта интересов.

Поступила 11.12.2019. Принята 30.01.2020.

Для цитирования: Каде А.Х., Ахеджак-Нагузе С.К., Дуров В.В., Кашина Ю.В., Таценко Е.Г., Никитин Р.В., Пенжоян А.Г., Абушкевич В.Г. Влияние транскраниальной электростимуляции на результаты трактографии фронтальной коры студентов при психоэмоциональном стрессе // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Медицина. 2020. Т. 24. No 1. С. 74—84. DOI: 10.22363/2313-0245-2020-24-1-75-84

The effect of transcranial electrostimulation on the frontal crust of students during a psychoemotional stress

A.H. Kade¹, C.K. Ahejak-Naguze², V.V. Durov¹, U.V. Kashina¹,
E.G. Tacenko¹, R.V. Nikitin¹, G.A. Penzhoyan¹, V.G. Abushkevich¹

¹ Kuban State Medical University Krasnodar, Russian Federation

² Research Institute — Ochapovsky Regional Clinical Hospital No. 1, Krasnodar, Russian Federation

Abstract. Relevance: transcranial electrical stimulation has an anti-stress effect in humans. One of the possible mechanisms is due to changes in the functional state of the frontal region of the cerebral cortex. The aim: to evaluate the dynamics of tractography of the frontal region of the human cerebral cortex during psychoemotional stress before and after transcranial electrical stimulation. Materials and methods: Observations were performed on 26 conditionally healthy young men. Students assessed the level of stress resistance by N.N. Kirsheva, N.V. Ryabchikova and heart rate variability in the test period. Brain MRI was performed on a high-field tomograph (magnetic field strength 3 T) from General Electric (USA), followed by software processing and tractography. 16 subjects (main group) underwent transcranial electrical stimulation (TES) therapy. TES therapy was performed using the TRANSAIR-02 apparatus with monopolar impulses. Sessions were held in the evening from 18 to 22 hours every other day. The course consisted of 5 sessions of 30 minutes, the current strength was from 2.0 to 3.0 mA. After a course of TES therapy, MRI of the brain and tractography were repeated. In the comparison group (10 people), TES therapy was not performed, but MRI and tractography were similarly repeated. The tractograms compared the area of the tracts in the frontal region of the cerebral cortex in both groups, as well as before and after TES therapy. For statistical analysis of the results of the study used the program: "STATISTICA 10". Results: On the tractograms of the frontal cortex of the brain, in students experiencing stress due to the training load in the crediting period, the tract area on the tractogram was $7.9 \pm 0.4 \text{ cm}^2$. After 5 sessions of transcranial electrical stimulation, the level of stress resistance increased. On the tractograms of the frontal cortex, the area of the tracts increased and amounted to $13.4 \pm 0.5 \text{ cm}^2$. The conclusion: After transcranial electrical stimulation, when psychoemotional stress is removed, students restore paths in the frontal region of the cerebral cortex.

Key words: adaptation, stress resistance, tractography, transcranial electrostimulation

Author Contributions. All authors — development and research; collection and processing of materials; all authors — analysis of the data received, writing the text

Financing. The study was conducted without sponsorship.

Conflict of Interest Statement. The authors declare no conflict of interest.

Received 11.12.2019. Accepted 30.01.2020

For citation: Kade, A.H. Ahejak-Naguze C.K., Durov V.V., Kashina U.V., Tacenko E.G., Nikitin R.V., Penzhoyan G.A., Abushkevich V.G. The effect of transcranial electrostimulation on the frontal crust of students during a psychoemotional stress. RUDN Journal of Medicine, 2020 Mar; 24 (1): 75—84. DOI: 10.22363/2313-0245-2020-24-1-75-84

Важным является состояние здоровья молодежи, в том числе студентов, ухудшение которого представляет серьезную социальную проблему [1]. Большинство студентов вузов испытывают хронический психоэмоциональный стресс [2]. Одним из существенных факторов его возникновения является избыток информации, неспособность ее усваивать, систематизировать, возникающий дефицит времени, изменение образа жизни, формирующаяся неуверенность. Поэтому проблема стрессоустойчивости у студентов является весьма актуальной [3].

В связи с этим имеет место необходимость повышения стрессоустойчивости, а, следовательно, возможность полноценного осуществления студентами учебного процесса. Одним из способов повышения стрессоустойчивости студентов является транскраниальная электростимуляция [4—8], поскольку активация опиоидэргических структур увеличивает продукцию β -эндорфина и в итоге стрессоустойчивость индивидуума [9].

Возможные механизмы повышения стрессоустойчивости до конца не изучены. Одним из инструментов их исследования может стать трактография мозга.

Общеизвестны эволюционно древние структуры (гипоталамус-гипофиз-кора, надпочечники, симпатoadреналовая система), реагирующие на стресс усилением продукции в кровь гормонов (АКТГ, глюкокортикоиды, катехоламины) [10—16].

Вместе с тем установлено, что в реакции на стресс участвует и фронтальная область коры [17—20].

Arnsten A.F.T., Goldman-Rakic P.S. [21] в экспериментах на обезьянах показали, что под влиянием стресса связи между нейронами фронтальной коры ослабляются, уменьшается количество функционирующих трактов фронтальной коры [22].

Напротив, базальные ядра, миндалина, гиппокамп усиливают влияние на поведение человека. В таких условиях количество активных дендритов в архаичной миндалине увеличивается, а количество активных дендритов нейронов фронтальной коры, наоборот, уменьшается. После прекращения действия стрессора функции дендритов фронтальной коры способны восстанавливаться. Прекращение стресса сопровождается увеличением количества

функционирующих трактов фронтальной коры [23—25].

Stagg et al. [26], Zheng et al. [27], проводя Ф-МРТ у человека, показали, что транскраниальная электростимуляция (tDCS) повышает активность фронтальной области коры. Известно, что при транскраниальной электростимуляции (ТЭС-терапия) усиливается продукция β -эндорфина. Однако это короткоживущее вещество. В связи с этим возникает вопрос о механизмах достаточно долгого сохранения, вызываемого ТЭС-терапией антистрессорного эффекта.

Изучение возможных механизмов повышения стрессоустойчивости студентов после ТЭС-терапии методом трактографии фронтальной коры может дать ответ на этот вопрос.

Цель работы: оценить динамику трактографии фронтальной области коры головного мозга человека при психоэмоциональном стрессе после ТЭС-терапии.

Материал и методы исследования

Наблюдения были выполнены на 26 условно здоровых студентах 3 курса федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кубанский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации и на базе рентгеновского отделения государственного бюджетного учреждения здравоохранения «Научно-исследовательский институт — Краевая клиническая больница № 1 имени профессора С.В. Очаповского» Министерства здравоохранения Краснодарского края в зачетный период (2 недели до сессии). Все испытуемые подписывали письменное информированное согласие на участие в проводимых наблюдениях. Исследование одобрено этическим комитетом Кубанского государственного медицинского университета.

У всех по методике Ю.Р. Шейх-Заде с соавторами [28, 29] оценивали уровень испытуемого стресса (низкий, средний, выраженный).

Стрессоустойчивость (низкий, ниже среднего, средний, выше среднего, высокий) определяли по методу Н.Н. Киршевой и Н.В. Рябчиковой [30].

Кроме того, уровни стрессоустойчивости (высокий, умеренный, низкий) оценивали по методу В.М. Михайлова и И.В. Бабунца (по вариабельности ритма сердца) [31, 32] на приборе «ВНС—Микро» с использованием программ «Поли-Спектр-Ритм» и «Кардиомонитор».

У студентов регистрировали ФМРТ и МРТ головного мозга и строили трактограммы на высокопольном томографе (напряженность магнитного поля 3 Тл) фирмы General Electric (США) со следующими параметрами: TR/TE-6000/88.8; матрица 128x128; толщина среза/зазор 5/1.5; поле обзора 24x24; продолжительность исследования-2.42; 22 среза.

При помощи программного обеспечения мультимодальной рабочей станции MultiVox производили измерение площадей участков трактов на трактограммах в см².

Всех испытуемых случайным образом делили на две группы.

В группу сравнения вошло 10 испытуемых. Им сеансы ТЭС-терапии не проводили.

В основную группу включено 16 испытуемых. Они проходили сеансы транскраниальной электростимуляции. ТЭС-терапию выполняли при помощи аппарата «ТРАНСАИР-02» монополярными импульсами. Сеансы проводили в вечернее время с 18 до 22 часов через день. Курс состоял из 5 сеансов по 30 минут, сила тока — от 2,0 до 3,0 мА.

Обработка полученных результатов проводилась при помощи программ: «STATISTICA 10» непараметрическим методом.

Результаты исследования и обсуждение

У всех 26 испытуемых в зачетный период (в начале первой и в конце второй недели) определяли стресс по методике Ю.Р. Шейх-Заде с соавторами [28, 29]. Он у 15 испытуемых составлял 1,51—2,00 условных единиц, что соответствовало среднему уровню стресса. У 11 человек выраженность испытываемого стресса была более 2,00 условных единиц и свидетельствовала о выраженном уровне стресса.

По методике вариабельности ритма сердца стрессоустойчивость оценивалась у 16 человек как умеренная, а у 10 — как низкая.

При тестировании студентов по методу Н.Н. Киршевой и Н.В. Рябчиковой [30] у 16 студентов количество баллов по шкале было 38—49, что позволяло оценить уровень стрессоустойчивости как средний и ниже среднего, а у 10 человек 50—53 — низкий.

На трактограммах фронтальной коры головного мозга, у студентов, испытывающих стресс, площадь трактов в основной группе составляла 7,70 см² (рисунок 1, таблица) и в группе сравнения 7,50 см² ($P_2 > 0,05$).

После 5 сеансов транскраниальной электростимуляции у 16 человек основной группы уровень испытываемого стресса по методике Ю.Р. Шейх-Заде с соавторами [28, 29] был в пределах 1,00—1,50 условных единиц, т.е. соответствовал норме.

В группе сравнения у 4 студентов уровень стресса по методике Ю.Р. Шейх-Заде с соавторами [28, 29] определялся в диапазоне 1,51—2,00 условных единиц, и оценивался как средний, а у 6 студентов уровень испытываемого стресса была более 2,00 условных единиц и соответствовал высокому уровню стресса.

Данные, полученные при тестировании по методу Н.Н. Киршевой и Н.В. Рябчиковой [30], после 5 сеансов транскраниальной электростимуляции показали что в основной в группе испытуемых у 8 человек количество баллов по шкале было 26—29, что позволяло оценить уровень стрессоустойчивости как высокий, а у 8 человек 30—33 — выше среднего.

В тоже время у 6 лиц группы сравнения уровень стрессоустойчивости по методу Н.Н. Киршевой и Н.В. Рябчиковой [30] оценивался в 46—49 баллов как ниже среднего и у 4 человек как 50—53 — низкий.

По методике вариабельности ритма сердца [31, 32] у студентов основной группы после 5 сеансов транскраниальной электростимуляции стрессоустойчивость у 8 человек оценивалась как высокая, у 8 — как умеренная.

В группе сравнения оценка стрессоустойчивости по вариабельности ритма сердца показала у 5 человек уровень — умеренный, а у 5 — низкий.

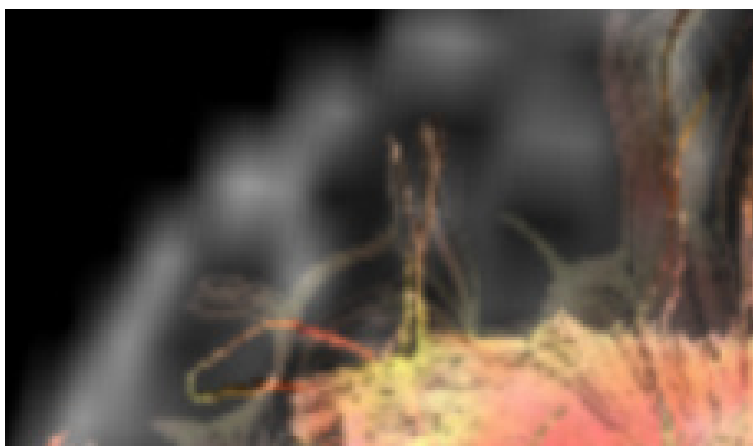


Рисунок 1 Трактограмма участка фронтальной коры головного мозга студента основной группы до 5 курсов транскраниальной электростимуляции (уровень стрессоустойчивости – умеренный)

Figure 1 A tractogram of a section of the frontal cortex of a student of the main group with up to 5 courses of transcranial electrical stimulation (level of stress resistance is moderate)

В основной группе испытуемых, после 5 сеансов транскраниальной электростимуляции, на трактограммах фронтальной коры головного мозга площадь трактов увеличивалась ($P_1 < 0,01$) на 59,1%

(рисунок 2, таблица 1). В группе сравнения на трактограммах фронтальной коры головного мозга площадь трактов не изменялась ($P_3 > 0,05$).

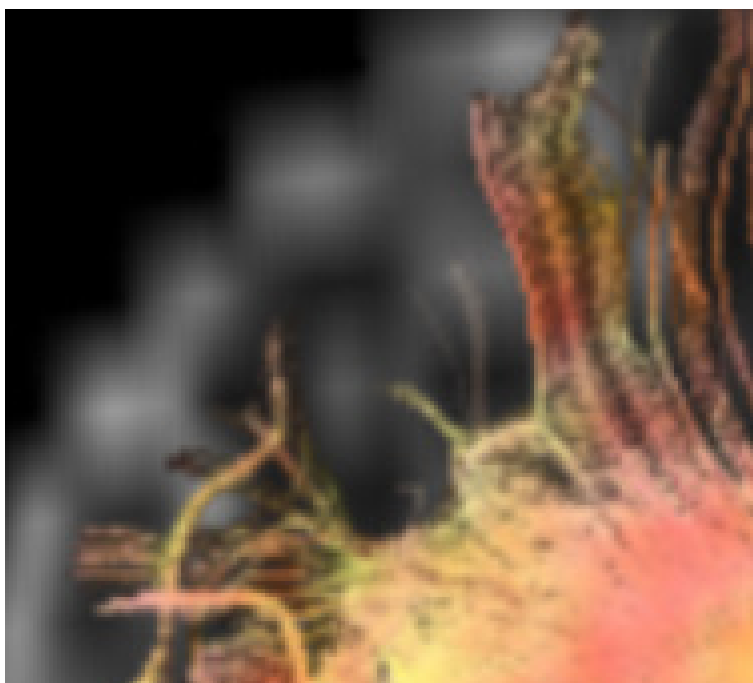


Рисунок 2 Трактограмма участка фронтальной коры того же студента основной группы после 5 курсов транскраниальной электростимуляции (уровень стрессоустойчивости – высокий)

Figure 2 A tractogram of the site of the frontal cortex of the same student in the main group after 5 courses of transcranial electrical stimulation (stress level is high)

Полученные результаты дополняют представления о возможных механизмах восстановления стрессоустойчивости после проведения транскраниальной электростимуляции.

Известно, что при хроническом стрессе происходит уменьшение площади трактов во фронтальной области коры, что приводит к активному переходу от использования эволюционно более молодых

(фронтальная область коры) структур к мозговым цепям более старых структур (миндалины, базальные ядра, гипоталамус). Исследования на грызунах показали, что хроническое воздействие стресса приводит к уменьшению количества активных дендритов и шипиков во фронтальной зоне коры мозга [24—26].

Динамика площади трактов в см² на трактограммах во фронтальной области коры студентов, испытывающих стресс

Таблица 1

The dynamics of the area of the tracts in cm² on the tractograms in the frontal region of the cortex students experiencing stress

Table 1

Параметры Parameters	Основная группа Main group		Группа сравнения Comparison group	
	Исходное до ТЭС Source to TES	После курса ТЭС After TES course	Исходное Source	Через 10 дней After 10 days
	1	2	3	4
n	16	16	10	10
Me	7,70	12,25	7,50	6,05
25%	6,00	10,95	6,20	4,40
75%	9,50	15,50	10,10	7,60
P		P ₁ <0,01	P ₂ >0,05	P ₃ >0,05

Потеря активности шипиков дендритов коррелирует с выраженностью нарушений рабочей памяти [33]. Хронический стресс приводит к увеличению количества дендритов в миндалине [34], тем самым усиливая дисбаланс активности миндалины по сравнению с префронтальной зоной коры. Молекулярная основа для столь противоположных архитектурных реакций на стресс неизвестна, и это является важной проблемой для дальнейших исследований [19].

Высокий уровень норадреналина и дофамина способствуют активации Ca²⁺-сАМР в шипиках возле сетевых синапсов, что, в свою очередь, открывает близлежащие K⁺ каналы. Это ослабляет эффективность близлежащей синаптической связи и способствует разобщению нейронов фронтальной зоны коры, уменьшая их влияние. Однако высокий уровень норадреналина и дофамина усиливает аффективные реакции миндалины, привычные реакции полосатого тела и первичную сенсорную корковую

функцию [34]. Было показано, что кортизол усиливает действие катехоламинов [36], создавая, таким образом, скоординированную реакцию на стресс.

Транскраниальная электростимуляция оказывает противострессорное воздействие за счет усиления синтеза и секреции β-эндорфина [37—39]. Известно, что β-эндорфин играет ключевую роль в коррекции стрессзависимых психофизиологических нарушений [39, 40]. Он оказывает модулирующее влияние на адренергические механизмы стресса, предупреждая их гиперактивацию и предотвращая развитие дистресса [39]. Исходя из полученных в нашем исследовании данных трактографии и литературных сведений, можно думать, что восстановление площади трактов во фронтальном участке коры способствует ослаблению уровня стресса.

Вывод

После 5 сеансов транскраниальной электростимуляции у студентов происходит снижение уровня психоэмоционального стресса, которое сочетается с восстановлением площади трактов во фронтальной области коры мозга.

Библиографический список

1. Бердиев Р.М., Кирюшин В.А., Моталова Т.В., Мирошникова Д.И. Состояние здоровья студентов-медиков и факторы, его определяющие // Российский медико-биологический вестник имени академика И.П. Павлова 2017; 25 (2): 303—316.
2. Турмасова А. А., Юдеева Т.В. Особенности адаптации студентов-первокурсников к обучению в вузе. Научно-методический электронный журнал «Концепт». 2016; (2): 461—465. URL: <http://e-koncept.ru/2016/46110.htm>.
3. Новгородцева И.В., Мусихина С.Е., Пьянкова В.О. Учебный стресс у студентов-медиков: причины и проявления // Медицинские новости. 2015; (8): 75—77.
4. Каде А.Х., Турова А.Ю., Губарева Е.А., Вчерашнюк С.П., Ковальчук О.Д. Влияние ТЭС-терапии на динамику клинических показателей у студентов со стресс-индуцированной артериальной гипертензией // Успехи современного естествознания. 2011; 5: 131.
5. Каде А.Х., Ковальчук О.Д., Турова А.Ю., Губарева Е.А. Возможность применения транскраниальной электростимуляции для купирования стресс-индуцированной артериальной гипертензии у студентов вузов // Фундаментальные исследования. 2013; 5(1): 79—81. URL: <https://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=31463> (дата обращения: 22.01.2018).
6. Каде А.Х., Ахеджак-Нагузе С.К. Изменение стрессоустойчивости у студентов при применении транскраниальной электростимуляции // Кубанский научный медицинский вестник. 2018; 2: 78—81.
7. Ахеджак-Нагузе С.К. Определение динамики стрессоустойчивости по методике «Прогноз» после транскраниальной электростимуляции // Материалы международной конференции «Новые информационные технологии в медицине, биологии, фармакологии и экологии IT + M&Ec 2018» 2018; 235—238.
8. Ахеджак-Нагузе С.К. Оценка стрессоустойчивости после применения транскраниальной электростимуляции // Материалы международной конференции «Новые информационные технологии в медицине, биологии, фармакологии и экологии IT + M&Ec 2018». 2018; 238—241.
9. Занин С.А., Каде А.Х., Кадомцев Д.В., Пасечникова Е.А., Голубев В.Г., Плотникова В.В., Шаров М.А., Азаркин Е.В., Кочарян В.Э. ТЭС-терапия. Современное состояние проблемы // Современные проблемы науки и образования. 2017; 1: 58—69.
10. Selye H.A. Syndrome Produced by Diverse Nocuous Agents. Nature. 1936; (138): 32.
11. Selye H. Stress and distress / H. Selye. Compr. Ther. 1975; (1): 9—13.
12. Selye H. Stress and the reduction of distress / H. Selye // The Journal of the South Carolina Medical Association. Nov., 1979. P. 562—566.
13. Селье Г. Очерки об адаптационном синдроме. М.: Иностранная литература, 1960. 254 с.
14. Селье Г. На уровне целого организма. М.: Наука, 1972.
15. Селье Г. Стресс без дистресса. М.: 1979, 124 с.
16. Липатова А.С., Каде А.Х., Трофименко А.И. ТЭС-терапия как метод предупреждения дезадаптации у самцов крыс с высокой стрессоустойчивостью // Журнал медико-биологических исследований. 2018; 6 (4): 407—416. DOI: 10.17238/issn2542—1298.2018.6.4.407.
17. Blakemore S.J., Robbins T.W. Decision-making in the adolescent brain. Nat. Neurosci. 2012; 15: 1184—1191.
18. Поляков П.П., Азумава А.А., Сотниченко А.С., Гусарук Л.Р., Липатова А.С., Трофименко А.И., Кувейда Е.В., Губарева Е.А., Каде А.Х. Экспрессия c-fos как маркер стресс-индуцированных нейроиммунно-эндокринных нарушений и возможности ее коррекции ТЭС-терапией // Аллергология и иммунология. 2017; 18 (4): 237—238.
19. Arnsten A.F.T. Stress signaling pathways that impair prefrontal cortex structure and function. Nat. Rev. Neurosci. 2009; 10: 410—422.
20. Arnsten Amy, Carolyn M. Mazure, and Rajita Sinha Neural circuits responsible for conscious self-control are highly vulnerable to even mild stress. When they shut down, primal impulses go unchecked and mental paralysis sets in. Sci Am. 2012 Apr; 306(4): 48—53.
21. Arnsten A.F.T., Goldman-Rakic P.S. Noise stress impairs prefrontal cortical cognitive function in monkeys: evidence for a hyperdopaminergic mechanism. Arch. Gen. Psychiatry. 1998; 55: 362—369.
22. Antal A, Ambrus GG, Chaieb L. Toward unraveling reading-related modulations of tDCS-induced neuroplasticity in the human visual cortex. Front Psychol. 2014; 5: 642. doi: 10.3389/fpsyg.2014.00642. eCollection 2014.
23. Radley JJ, Sisti HM, Hao J, Rocher AB, McCall T, Hof PR, McEwen BS, Morrison JH. Chronic behavioral stress induces apical dendritic reorganization in pyramidal neurons of the medial prefrontal cortex. Neuroscience. 2004; 125(1): 1—6.
24. Radley JJ, Rocher AB, Miller M, Janssen WG, Liston C,

- Hof PR, McEwen BS, Morrison JH. Repeated stress induces dendritic spine loss in the rat medial prefrontal cortex. *Cereb Cortex*. 2006 Mar;16(3):313—20.
25. Radley JJ, Morrison JH. Repeated stress and structural plasticity in the brain. *Ageing Res Rev*. 2005 May;4(2):271—87.
 26. Stagg CJ, Lin RL, Mezue M, Segerdahl A, Kong Y, Xie J, Tracey I. Widespread modulation of cerebral perfusion induced during and after transcranial direct current stimulation applied to the left dorsolateral prefrontal cortex. *J Neurosci*. 2013; 33:11425—11431.
 27. Zheng X, Alsop DC, Schlaug G. Effects of transcranial direct current stimulation (tDCS) on human regional cerebral blood flow. *Neuroimage* 2011; 58:26—33.
 28. Шейх-Заде Ю.Р., Шейх-Заде К.Ю. Способ определения уровня стресса. Патент № 2147831 РФ, приоритет от 23.01.97. Оpubл. 27.04. 2000 в БИ № 12).
 29. Шейх-Заде Ю.Р., Скибицкий В.В., Катханов А.М., Шейх-Заде К.Ю., Сухомлинов В.В., Кудряшов Е.А., Чередник И.Л., Жукова Е.В., Каблов Р.Н., Зулик Ю.А. Альтернативный подход к оценке вариабельности сердечного ритма // Вестник Аритмологии. 2001; (22): 49—55.
 30. Куршев Н.В., Рябчиков Н.В. Тест на определение стрессоустойчивости личности // Психология личности. М. 1995: 220 с.
 31. Михайлов В.М. Вариабельность ритма сердца (новый взгляд на старую парадигму) Нейрософт, 2017: 316 с.
 32. Бабунц И.В., Мириджанян Э.М., Машаех Ю.А. Азбука анализа вариабельности сердечного ритма / И.В. Бабунц, Э.М. Ставрополь, 2002: 112 с.
 33. Hains A.B., Vu M.A., Maciejewski P.K., van Dyck C.H., Gottron M., Arnsten A.F. Inhibition of protein kinase C signaling protects prefrontal cortex dendritic spines and cognition from the effects of chronic stress. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 2009;106:17957—17962.
 34. Vyas A., Mitra R., Shankaranarayana Rao B.S., Chattarji S. Chronic stress induces contrasting patterns of dendritic remodeling in hippocampal and amygdaloid neurons. *J. Neurosci*. 2002;22:6810—6818.
 35. Barsegyan A., Mackenzie S.M., Kurose B.D., McGaugh J.L., Roozendaal B. Glucocorticoids in the prefrontal cortex enhance memory consolidation and impair working memory by a common neural mechanism. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 2010;107:16655—16660.
 36. McKeivern J.M., Myers B., Herman J.P. The medial prefrontal cortex: coordinator of autonomic, neuroendocrine and behavioural responses to stress. *Journal of neuroendocrinology*. 2015. 27 (6): 446—456.
 37. Поляков П.П. Влияние ТЭС-терапии на характер стресс-индуцированной экспрессии c-fos нейронами паравентрикулярного ядра гипоталамуса // Уральский медицинский журнал. 2017; (5): 121—126.
 38. Каде А.Х., Поляков П.П., Липатова А.С., Сотниченко А.С., Куева Е.В., Губарева Е.А. Характер экспрессии G-FOS нейронами медиальной префронтальной коры в условиях комбинированного стресса и влияния ТЭС-терапии // Современные проблемы науки и образования. 2017; (5): URL: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=26877> (дата обращения: 22.01.2018).
 39. Липатова А.С., Поляков П.П., Каде А.Х., Трофименко А.И., Кравченко С.В. Влияние транскраниальной электростимуляции на выносливость крыс с разной устойчивостью к стрессу // Биомедицина. 2018; (1): 84—91.
 40. Merenlender-Wagner A., Dikshtein Y., Yadid G. The P-endorphin role in stress-related psychiatric disorders. *Current Drug Targets*. 2009. V. 10. P. 1096—1108.

References

1. Berdiev R.M. Kiryushin V.A. Motalova T.V. Miroshnikov a D.I. Health status of medical students and its determining factors. *Russian Medical and Biological Bulletin named after academician I.P. Pavlova* 2017; 25 (2): 303—316.
2. Turmasova A. A., Yudeeva T.V. Features of the adaptation of first-year students to study at a university. *Scientific and methodological electronic journal "Concept"*. 2016; (2): 461—465. — URL: <http://e-koncept.ru/2016/46110.htm>.
3. Novgorodtseva I.V., Musikhina S.E., Ryankova V.O. Educational stress in medical students: causes and manifestations. *Medical news*. 2015; (8): 75—77.
4. Kade A. Kh., Turovaya A. Yu., Gubareva E.A., Vcherashnyuk S.P., Kovalchuk O.D. The effect of TES therapy on the dynamics of clinical indicators in students with stress-induced arterial hypertension. *The successes of modern science*. 2011; 5: 131.
5. Kade A. Kh., Kovalchuk OD, Turovaya A. Yu., Gubareva E.A. The possibility of using transcranial electrostimulation for the relief of stress-induced arterial hypertension in university students. *Fundamentalnye issledovaniya*. 2013; 5 (1): 79—81. URL: <https://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=31463> (access date: 01.22.2018).
6. Kade, A. Kh., Akhedzhak-Naguze, SK, Changes in stress resistance in students with the use of transcranial electrostimulation. *Kuban Scientific Medical Herald*. 2018; 2: 78—81.
7. Akhedzhak-Naguze S.K. Determination of stress tolerance dynamics according to the "Prediction" method after transcranial electrostimulation. *Materials of the international conference "New information technologies in medicine, biology, pharmacology and ecology IT + M & Ec`2018"* 2018; 235—238.
8. Akhedzhak-Naguze S.K. Evaluation of stress resistance

- after application of transcranial electrostimulation. *Materials of the international conference "New information technologies in medicine, biology, pharmacology and ecology IT + M & Ec 2018"*. 2018; 238—241.
9. Zanin S.A., Kade A. Kh., Kadomtsev D.V., Pasechnikova E.A., Golubev V.G., Plotnikova V.V., Sharov M.A., Azarkin E.V., Kocharyan V.E. TES-therapy. The current state of the problem. *Modern problems of science and education*. 2017; 1: 58—69.
 10. Selye H.A. Syndrome Produced by Diverse Nocuous Agents. *Nature*. 1936; (138): 32.
 11. Selye H. Stress and distress. *Compr. Ther.* 1975; (1): 9—13.
 12. Selye H. Stress and the reduction of distress. *The Journal of the South Carolina Medical Association*. 1979; Nov: 562—566.
 13. Selye G. *Essays on the adaptation syndrome*. M.: Foreign literature, 1960: 254 p.
 14. Selye G. *At the level of the whole organism*. M.: Science, 1972.
 15. Selye G. *Stress without distress*. M.: Progress, 1979: 124 p.
 16. Lipatova A.S., Kade A. Kh., Trofimenko A.I. TES therapy as a method of preventing maladaptation in male rats with high stress resistance. *Journal of Biomedical Research*. 2018; 6 (4): 407—416. DOI: 10.17238 / issn2542—1298.2018.6.4.407).
 17. Blakemore S.J., Robbins T.W. Decision-making in the adolescent brain. *Nat. Neurosci.* 2012; 15: 1184—1191.
 18. Polyakov P.P.A.A. Agumava, A.S. Sotnichenko, L.R. Gusaruk, A.S. Lipatova, A.I. Trofimenko, E.V. Kuevda, E.A. Gubareva, A. Kh. Kade Expression of c-fos as a marker of stress-induced neuroimmunoenocrine disorders and the possibility of its correction by TES therapy. *Allergology and immunology*. 2017; 18 (4): 237—238.
 19. Arnsten A.F.T. Stress signaling pathways that impair prefrontal cortex structure and function. *Nat. Rev. Neurosci.* 2009; 10: 410—422.
 20. Arnsten Amy, Carolyn M. Mazure, and Rajita Sinha Neural circuits responsible for conscious self-control are highly vulnerable to even mild stress. When they shut down, primal impulses go unchecked and mental paralysis sets in. *Sci Am*. 2012 Apr; 306(4): 48—53.
 21. Arnsten A.F.T., Goldman-Rakic P.S. Noise stress impairs prefrontal cortical cognitive function in monkeys: evidence for a hyperdopaminergic mechanism. *Arch. Gen. Psychiatry*. 1998; 55: 362—369.
 22. Antal A, Ambrus GG, Chaieb L. Toward unraveling reading-related modulations of tDCS-induced neuroplasticity in the human visual cortex. *Front Psychol*. 2014; 5: 642. doi: 10.3389/fpsyg.2014.00642. eCollection 2014.
 23. Radley JJ, Sisti HM, Hao J, Rocher AB, McCall T, Hof PR, McEwen BS, Morrison J.H. Chronic behavioral stress induces apical dendritic reorganization in pyramidal neurons of the medial prefrontal cortex. *Neuroscience*. 2004; 125(1): 1—6.
 24. Radley JJ, Rocher AB, Miller M, Janssen WG, Liston C, Hof PR, McEwen BS, Morrison JH. Repeated stress induces dendritic spine loss in the rat medial prefrontal cortex. *Cereb Cortex*. 2006 Mar; 16(3): 313—20.
 25. Radley JJ, Morrison JH. Repeated stress and structural plasticity in the brain. *Ageing Res Rev*. 2005 May; 4(2): 271—87.
 26. Stagg CJ, Lin RL, Mezue M, Segerdahl A, Kong Y, Xie J, Tracey I. Widespread modulation of cerebral perfusion induced during and after transcranial direct current stimulation applied to the left dorsolateral prefrontal cortex. *J Neurosci*. 2013; 33: 11425—11431.
 27. Zheng X, Alsop DC, Schlaug G. Effects of transcranial direct current stimulation (tDCS) on human regional cerebral blood flow. *Neuroimage* 2011; 58: 26—33.
 28. Sheikh-Zade Yu.R., Sheikh-Zade K. Yu. The way to determine the level of stress. Patent number 2147831 of the Russian Federation, priority from 01.23.97. (Publ. 27.04. 2000 in BI No. 12).
 29. Sheikh-Zade Yu.R., Skibitsky VV, Katkhanov AM, Sheikh-Zade K. Yu., Sukhomlinov VV, Kudryashov Ye.A., Cherednik I.L., Zhukova E.V., Kablov R.N., Zuzik Yu.A. An alternative approach to assessing heart rate variability. *Bulletin of Arrhythmology*. 2001 (22): 49—55.
 30. Kirshv, N.V., Ryabchikov, N.V. The test for determining the stress resistance of the individual *Personality Psychology*. M., 1995: 220 c.
 31. Mikhailov V.M. *Heart rate variability (a new look at the old paradigm)* Neurosoft, 2017: 316 p.
 32. Babunts, I.V., Mirizhanyan, E.M., Mashaeh, Yu.A. *ABC of heart rate variability analysis*. Stavropol, 2002. 112 p.
 33. Hains A.B., Vu M.A., Maciejewski P.K., van Dyck C.H., Gottron M., Arnsten A.F. Inhibition of protein kinase C signaling protects prefrontal cortex dendritic spines and cognition from the effects of chronic stress. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 2009; 106: 17957—17962.
 34. Vyas A., Mitra R., Shankaranarayana Rao B.S., Chattarji S. Chronic stress induces contrasting patterns of dendritic remodeling in hippocampal and amygdaloid neurons. *J Neurosci*. 2002; 22: 6810—6818.
 35. Barsegyan A., Mackenzie S.M., Kurose B.D., McLaugh J.L., Roozendaal B. Glucocorticoids in the prefrontal cortex enhance memory consolidation and impair working memory by a common neural mechanism. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 2010; 107: 16655—16660.
 36. McKlveen J.M., Myers B., Herman J.P. The medial prefrontal cortex: coordinator of autonomic,

- neuroendocrine and behavioural responses to stress. *Journal of neuroendocrinology*. 2015. 27 (6): 446—456.
37. Polyakov P.P. Effect of TES therapy on the nature of stress-induced expression of c-fos by neurons of the paraventricular nucleus of the hypothalamus. *Ural Medical Journal*. 2017; (5): 121—126.
38. Kade A. Kh., Polyakov P.P., Lipatova A.S., Sotnichenko A.S., Kuevda E.V., Gubareva E.A. The nature of G-FOS expression by neurons of the medial prefrontal cortex under combined stress and the influence of TES therapy. *Modern problems of science and education*. 2017; (5): URL: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=26877> (accessed: 01/22/2018).
39. Lipatova A.S., Polyakov P.P., Kade A. Kh., Trofimenko A.I., Kravchenko S.V. The effect of transcranial electrical stimulation on the endurance of rats with different resistance to stress. *Biomedicine*. 2018; (1): 84—91.
40. Merenlender-Wagner A., Dikshtein Y., Yadid G. The P-endorphin role in stress-related psychiatric disorders. *Current Drug Targets*. 2009. V. 10. P. 1108—1096.

Отвественная за переписку: Кашина Юлия Викторовна, кандидат медицинских наук, ассистент кафедры нормальной физиологии, Кубанский государственный медицинский университет, Краснодар, Российская Федерация.
E-mail.: yulia-kashina@yandex.ru

Kashina YuliaViktorovna ORCID0000—0002—3997—5601 SPIN-код: 3132—5516
Каде Азамат Халидович ORCID0000—0002—0694—9984 SPIN-код: 1415—7612
Ахеджак-Нагузе Саида Казбековна ORCID0000—0002—1573—9970 SPIN-код: 7242—1101
Дуров Виктор Владимирович ORCID0000—0002—3806—8604
Кашина Юлия Викторовна ORCID0000—0002—3997—5601 SPIN-код: 3132—5516
Таценко Елена Геннадьевна ORCID0000—0003—3760—3000
Пенжоян Артем Григорьевич SPIN-код: 7763—4912
Никитин Роман Викторович ORCID0000—0002—3431—4820
Абушкевич Валерий Гордеевич ORCID0000—0002—1483—0131 SPIN-код: 9030—5220

Corresponding Author: Kashina YuliaViktorovna, Assistant Professor, Kuban State Medical University, Krasnodar, Russian Federation.
E-mail.: yulia-kashina@yandex.ru

Kade Azamat Halidovich ORCID0000—0002—0694—9984 SPIN-код: 1415—7612
Ahejak-Naguze Caida Kazbekovna ORCID0000—0002—1573—9970 SPIN-код: 7242—1101
Durov Viktor Vladimirovich ORCID0000—0002—3806—8604
Kashina YuliaViktorovna ORCID0000—0002—3997—5601 SPIN-код: 3132—5516
Tachenko Elena.Genadevna ORCID0000—0003—3760—3000
Penzhoyan Artem Grigorevich SPIN-код: 7763—4912
Nikitin Roman Viktorovich ORCID0000—0002—3431—4820
Abushkevich Valeriy Gordeevich 0000—0002—1483—0131 SPIN-код: 9030—5220