УДК: 612.821.8 : 612.135

**Смоляков Ю.Н., Калашникова С.А., Федоренко Е.В.,
Нольфин Н.А., Михаханов М.М.**

ДИНАМИЧЕСКИЕ РЕАКЦИИ АКТИВНОСТИ КОРЫ ГОЛОВНОГО МОЗГА И МИКРОЦИРКУЛЯЦИИ НА СТИМУЛИРОВАННЫЙ СТРЕСС

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Читинская государственная медицинская академия Министерства здравоохранения Российской Федерации

Резюме.
Цель исследования. *Исследовать влияние условий искусственного стресса при помощи показателей ЭЭГ и микроциркуляции.*
Материалы и методы. *В исследовании приняло участие 30 студентов ЧГМА. Искусственный стресс создавался при помощи метода Струпа. Измерения активности головного мозга осуществлялись с помощью электроэнцефалограммы, а датчиком динамического рассеяния света - ламинарное течение крови. Запись электроэнцефалограмм проводилась на шести точках (F3, F4 - лобные; P3, P4 –теменные; T3, T4 - височные).*
Результаты. *В ходе проведенного исследования наблюдается повышение ЧСС в стадию ТЕСТ, что подтверждает высокую степень стрессовой нагрузки. Наблюдается повышение Т и В – ритмов во время теста, а после возвращение их к исходным величинам. В гемодинамике наблюдается перераспределение кровотока в сторону медленных скоростей сдвига (пристеночный ток крови), соответственно, уменьшается доля быстрых скоростей сдвига (кровоток в центре сосуда). После прекращения стрессовой нагрузки показатели гемодинамики снижаются, но не возвращаются к прежним значениям.*
Заключение. *Изменение показателей ЭЭГ, ЧСС, изменение скоростей сдвигов гемодинамических индексов демонстрируют первичную реакцию на стресс. Перераспределение микроциркуляторного кровотока может быть связано со спазмом сосудов и процессами пристеночной адгезии.*
Ключевые слова: *стресс, гемодинамика, электроэнцефалограмма, ЭЭГ, гемодинамический индекс.*

Smolyakov Y.N., Kalashnikova S.A., Fedorenko E.V., Nolfin N.A., Mikhakhanov M.M.

DYNAMIC REACTIONS OF CORTEX ACTIVITY AND MICROCIRCULATION ON STIMULATED STRESS

Chita State Medical Academy, Chita, Russia

Summary.
The aim of the research. *To investigate the influence of artificial stress conditions by using EEG and microcirculation indices.*
Materials and methods. *The study involved 30 students. Artificial stress was stimulated using the Stroop method. Cortex activity was measured using the electroencephalogram and laminar blood flow using the dynamic light scattering detector. The recording of electroencephalograms was carried out at six points (F3, F4 - frontal, P3, P4-spot, T3, T4 - temporal).*
Results. *During the study observed increase in heart rate in a step TEST, which confirms a high degree of stress load. There are increasing T and B - rhythms during the test, and then return them to the original values. Redistribution of blood flow toward slow shear rates (wall blood flow) is observed, respectively, the share of fast shear rates (blood flow in the center of the vessel) decreases. After the cessation of stress load hemodynamic parameters are reduced, but did not return to the previous values.*
Conclusion. *Changing the EEG parameters, the heart rate and hemodynamic indices velocity shifts demonstrate a primary response to stress. Redistribution of microcirculatory blood flow can be associated with vasospasm and the processes of adhesion on the vascular wall.*
Keywords: *stress, hemodynamics, electroencephalogram, EEG, hemodynamic index.*

Понятие стресса включает совокупность неспецифических изменений, происходящих внутри организма, в ответ на внешние и внутренние воздействия. Стрессорные факторы являются причиной адаптационных реакций в различных системах организма. Наиболее выра-

женными можно считать реакции нервной и, как следствие, сердечно-сосудистой систем. Комплексное измерение реакций этих систем становится важным и точным критерием оценки адаптационного статуса организма, основой для принятия ранних диагностических и прогностических решений.

Целью работы является исследование влияния условий искусственного стресса при помощи показателей ЭЭГ и микроциркуляции.

Материалы и методы. В исследовании приняли участие 30 студентов ЧГМА разных факультетов. Исследование проводилось в три этапа: 1 этап, состояние покоя – ФОН (5 минут), 2 этап, тест Струпа – ТЕСТ (5 минут), 3 этап, состояние покоя – ПОСЛЕ (5 минут). Каждый этап сопровождался измерениями показателей гемодинамики и ЭЭГ.

Искусственный стресс создавался при помощи методики Струпа, которая основывается на том, что за восприятие контура и цвета букв отвечают разные участки коры головного мозга. [3, 4, 5, 7]

Измерения активности головного мозга осуществлялись аппаратом Энцефалан – ЭЭГР – 19/26, а датчиком динамического рассеяния света - ламинарное течение крови.

Запись электроэнцефалограмм проводили монополярно с использованием хлорсеребряных чашечковых электродов, локализация которых определялась в соответствии с международной системой «10–20» на шести стандартных отведениях (F3, F4 - лобные; P3, P4 – теменные; T3, T4 - височные). Данный выбор обусловлен тем, что эти участки коры наиболее сенсорно загружены. Программным анализатором подсчитывалось усреднённое соотношение спектральной мощности ритмов головного мозга А, В, Т (А – альфа-ритм спокойствия, Т – тета-ритм торможения, В – бета-ритм возбуждения). [1, 2, 6, 10]. В качестве референтных использовались разделенные ушные электроды.

Датчик динамического рассеяния света фиксирует фотоны, которые отражены от эритроцитов, движущихся в соседних слоях кровотока (скорость сдвига). Фиксация лазерных пятен (спеклов) формирует на коже спекловые пятна, которые попадают на светодиод и образуют спекловый сигнал. Сигнал записывается в виде трех гемодинамических индексов: HI (Hemodynamic Indexes), связанный с низким диапазоном частот (HI1), определяет медленный пристеночный ток крови. Высокочастотная область (HI3) характеризует в основном центральное течение кровотока. Индекс HI2 является потоком капиллярного течения.

Статистический анализ и визуализация выполнены с помощью языка R (http://cran.r-project.org) версии 3.4.0 [9]. Оценка статистической значимости парных различий всех показателей на этапах ФОН-ТЕСТ и ТЕСТ-ПОСЛЕ, проводилась по критерию Вилкоксона [11]. Введена корректировка Хоммеля на множественное сравнение [8]. Принятие решения о статистической значимости гипотез происходило на уровне $p<0,05$.

Результаты и обсуждения. Во время проведения теста мозг испытуемого сначала воспринимает контур буквы, а затем его цвет. При этом возникает конфликт восприятия, что и приводит к моделированию стрессовой ситуации. Для подтверждения состояния стресса приведен график (рис. 1) изменения показателей частоты сердечных сокращений, демонстрирующий, что в стадию ТЕСТ, у всех испытуемых наблюдается значительное повышение пульса, а затем полное его восстановление к исходным значениям. Изменения ЧСС испытуемых: ФОН=77,53±9,8; ТЕСТ=88,23±10,5; ПОСЛЕ=75,81±10,7.

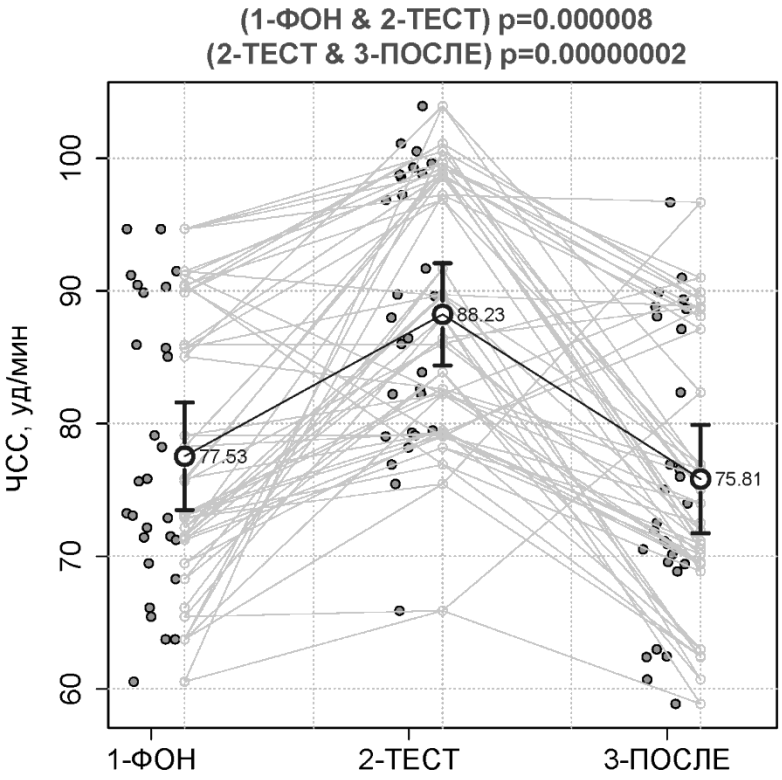

Рис. 1 Изменение показателей частоты сердечных сокращений.
Примечание. Значимость межгрупповых сравнений рассчитана по парному критерию Вилкоксона. Дополнительно введены линии соединения пар значений.

В табл. 1 указаны результаты средних показателей ЭЭГ, по которым видно одновременное повышение Т и В – ритмов во время теста, а после их падения на величину ниже начальной. При этом наблюдается перераспределение активности отделов головного мозга преимущественно в лобных долях (рис. 2).

Таблица 1

Показатели электроэнцефалограммы

Ритм	ФОН	ТЕСТ	ПОСЛЕ
Тета	5,87±2,44	8,75±4,76***	5,66±3,29###
Альфа	3,09±1,64	3,49±2,02	2,88±1,97
Бета	1,14±0,51	1,88±1,05***	1,10±071###

Примечание: Значимость различий по парному критерию Вилкоксона *** p<0,0001 – группа ФОН с группой ТЕСТ, ### p<0,0001 – группа ТЕСТ с группой ПОСЛЕ.

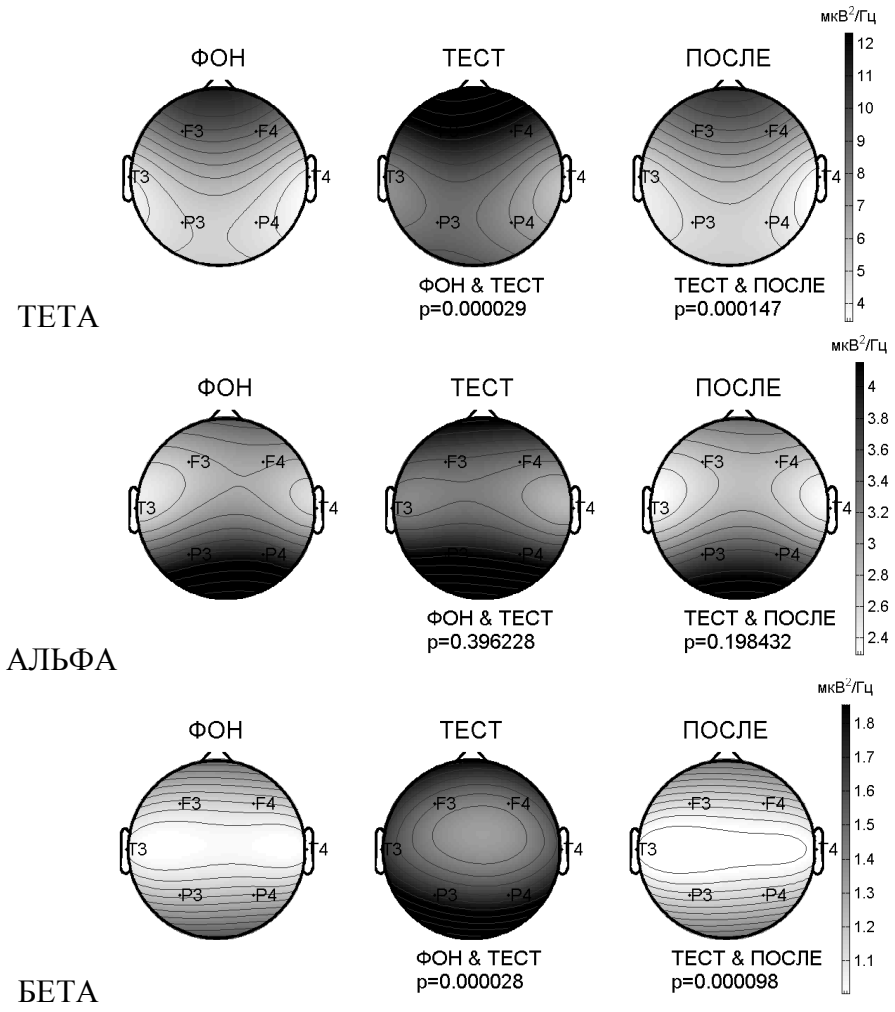

Рис. 2. Изменение корковой активности

Изменение скорости сдвигов ламинарного течения крови выражалось в отношении HI1/HI3 у каждого испытуемого. На графике (рис. 3) видно, что на этапе ТЕСТ происходит увеличение скорости пристеночного тока крови и снижение центрального, что подтверждается высокой достоверностью (p=0.001). На этапе ПОСЛЕ начинает происходить возвращение гемодинамических индексов к исходным величинам, но статистически этот процесс не подтверждается.

Таблица 2

Показатели микроциркуляторной гемодинамики

Показатель	ФОН	ТЕСТ	ПОСЛЕ
HI1	217±44	236±41*	227±40
HI2	456±167	466±149	453±155
HI3	292±135	266±112	279±133
HI1/HI3	0.85±0,28	0,99±0,29***	0,94±0,32

Примечание: значимость различий сравнения по парному критерию Вилкоксона * p<0,05, *** p<0,0001 – группа ФОН с группой ТЕСТ.

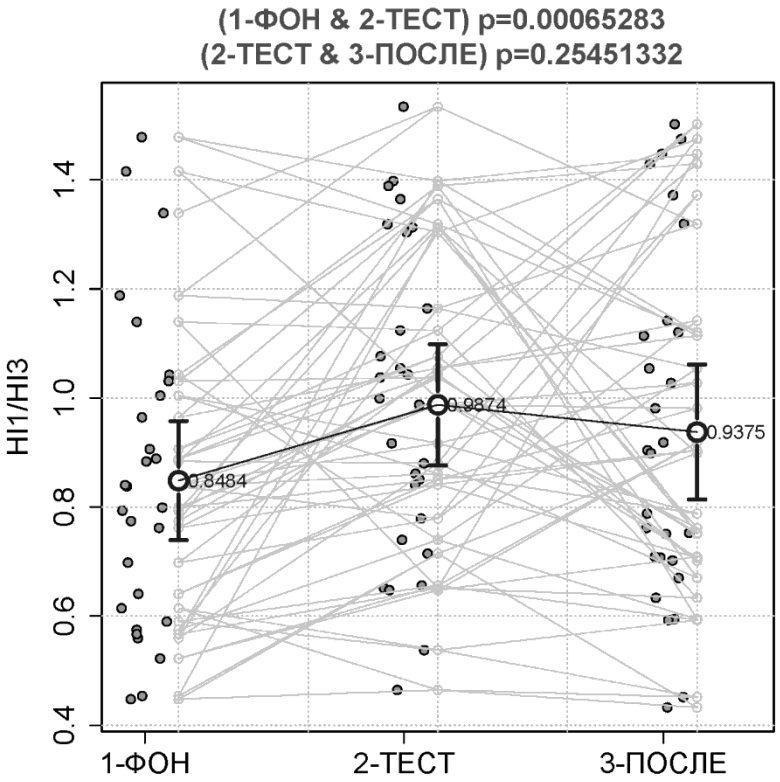

Рис. 3. Соотношение гемодинамических индексов HI1/HI3.
Примечание. Значимость межгрупповых сравнений рассчитана по парному критерию Вилкоксона. Дополнительно введены линии соединения пар значений.

Выводы. В результате проведенного исследования удалось сформулировать многофакторную картину изменения показателей микроциркуляции и активности головного мозга, специфичных для первичной реакции на стресс. Ввиду своей неинвазивности и компактности, используемые устройства, дополненные выработанными специфическими критериями оценки, могут быть использованы для длительного мониторинга стрессовых ситуаций и принятия ранних диагностических и прогностических решений в клинике и при самоконтроле пациента.

Литература:

1. Князев Г.Г., Савоятьянов А.Н., Левин Е.А., Слободской-Плюснин Я.Ю., Бочаров А.В. Электроэнцефалографические корреляты тревожности. Сибирский научный медицинский журнал. 2009. №1 С. 74-80.
2. Кунавин М.А., Соколова Л.В. Спектральные характеристики биоэлектрической активности мозга студентов при прослушивании аудиостимулов различного компонентно-структурного состава. Экология человека. 2014. №3 С. 34-42.
3. Сидоренко Г.И., Комиссарова С.М. Способ оценки фаз стресса у человека. Физиология человека. 2011. Т. 37. № 5. С. 73-76.
4. Сидоренко Г.И., Комиссарова С.М., Фролов А.В., Воробьёв А.П. Психоэмоциональное тестирование с помощью Струп-теста для оценки стрессовой реакции у человека. В кн.: Сб. докл. 9 научн.техн.конф. ”Диагностика и лечение нарушений регуляции сердечно-сосудистой системы”, 28 марта 2007. Москва, 2007. С. 215-217.
5. Сидоренко Г.И., Фролов А.В., Воробьёв А.П. Психоэмоциональные тесты и перспектива их применения в кардиологии. Кардиология. 2005. Т. 45. №6, С. 59.
6. Смоляков Ю.Н., Ладнич Н.А. Интегральный показатель оценки кратковременной памяти. Информатика и системы управления. 2008. № 2 (16). С. 176-177.

7. Сысоева Т.А. Теоретический анализ механизмов возникновения эмоционального эффекта Струпа. Психология. Журнал Высшей школы экономики. 2014. Т. 11. №1. С.49-65.
8. Hommel G. A stagewise rejective multiple test procedure based on a modified Bonferroni test. Biometrika. 1988. N **75** (2). P. 383–386.
9. R Core Team (2017). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL https://www.R-project.org/.
10. Vinogradova O.S. Expression, control and probable functional significance of the neuronal theta-rhythm. Progress in neurobiology. 1995. Vol. 45. P. 523–583.
11. Wilcoxon F. Individual comparisons by ranking methods. Biometrics. 1945. N 1. P. 80-83.

References:

1. Knyazev G.G., Savoyatyanov A.N., Levin E.A., Slobodskoy-Plyusnin Y.Y., Bocharov A.V. Electroencephalographic correlates of anxiety. Siberian Scientific Medical Journal. 2009. N 1. P. 74-80. (in Russian).
2. Kunavin M.A., Sokolova L.V. Spectral characteristics of the bioelectric activity of the brain of students when listening to audio stimuli of various component-structural composition. Human Ecology. 2014. N 3. P. 34-42. (in Russian).
3. Sidorenko G.I., Komissarova S.M. The Assessment of Stress Phase Objective Criteria in Humans. Human physiology. 2011. V. 37. N 5. P. 73-76. (in Russian).
4. Sidorenko G.I., Komissarova S.M., Frolov A.V., Vorobiev A.P. Psychoemotional testing with the help of the Strep-test for assessing the stress reaction in humans. In: Sat. Doc. 9 scientific and technical associates. "Diagnosis and treatment of cardiovascular disorders", March 28, 2007. Moscow. P. 215-217. (in Russian).
5. Sidorenko G.I., Frolov A.V., Vorobiev A.P. Psychoemotional tests and the prospect of their use in cardiology. Cardiology. 2005. V. 45. N 6, P. 59. (in Russian).
6. Smolyakov Y.N., Ladnich N.A. Integral index of short-term memory estimation // Informatics and control systems. 2008. N2 (16). P. 176-177. (in Russian).
7. Sysoeva T.A. Theoretical Analysis of the Mechanisms of the Emergence of the Stroop's Emotional Effect. Psychology. Journal of the Higher School of Economics. 2014. V. 11. N1. P.49-65.
8. Hommel G. A stagewise rejective multiple test procedure based on a modified Bonferroni test. Biometrika. 1988. N 75 (2). P. 383–386.
9. R Core Team (2017). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL https://www.R-project.org/.
10. Vinogradova O. S. Expression, control and probable functional significance of the neuronal theta-rhythm. Progress in neurobiology. 1995. Vol. 45. P. 523–583.
11. Wilcoxon F. Individual comparisons by ranking methods. Biometrics. 1945. N 1. P. 80-83.