

ЗНАЧЕНИЕ ФОНОВОЙ ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММЫ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ КОГНИТИВНЫХ РАССТРОЙСТВ У КАРДИОХИРУРГИЧЕСКИХ ПАЦИЕНТОВ

И.В. Тарасова

Научно-исследовательский институт комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний,
650000, Российская Федерация, Кемерово, Сосновый б-р, 6

Обзор посвящен распространенной у кардиохирургических пациентов проблеме когнитивных расстройств, которые вносят свой негативный вклад в структуру послеоперационных осложнений и отдаленный прогноз сердечно-сосудистых заболеваний. Обращается внимание на то, что диагностические возможности изменений когнитивного статуса в кардиохирургии ограничены, подчеркивается необходимость поиска объективных и чувствительных критериев диагностики когнитивных расстройств у пациентов — кандидатов на прямую реваскуляризацию миокарда. Оценивается применимость современных методов картирования электрической активности мозга для изучения нейрофизиологического статуса пациентов с поражением коронарного русла, подвергающихся кардиохирургическим вмешательствам.

Ключевые слова:	коронарное шунтирование, когнитивные расстройства, электроэнцефалография, послеоперационная когнитивная дисфункция
Конфликт интересов:	авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов
Прозрачность финансовой деятельности:	автор не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах
Для цитирования:	Тарасова И.В. Значение фоновой электроэнцефалограммы для диагностики когнитивных расстройств у кардиохирургических пациентов. Сибирский медицинский журнал. 2019;34(1):18–23. https://doi.org/10.29001/2073-8552-2019-34-1-18-23

SIGNIFICANCE OF RESTING STATE ELECTROENCEPHALOGRAM FOR DIAGNOSIS OF COGNITIVE DISORDERS IN CARDIAC SURGERY PATIENTS

Irina V. Tarasova

Research Institute for Complex Issues of Cardiovascular Diseases,
6, Sosnoviy bul., Kemerovo, 650000, Russian Federation

This article reviews the issues of cognitive disorders common in cardiac surgery patients as they contribute to the structure of postoperative complications and the long-term prognosis of cardiovascular diseases. Attention is drawn to the fact that the diagnostic capabilities to assess the changes in cognitive status of cardiac surgery patients are limited; and the authors emphasize the need to search for objective and sensitive criteria for diagnosis of cognitive disorders in patients, candidates to direct myocardial revascularization. Relevance of the modern methods for brain electrical activity mapping to study neurophysiological status of patients with coronary artery disease undergoing cardiac surgery interventions is evaluated.

Keywords:	coronary artery bypass grafting, cognitive disorders, electroencephalography, postoperative cognitive dysfunction
Conflict of interest:	the author does not declare a conflict of interest
Financial disclosure:	no author has a financial or property interest in any material or method mentioned
For citation:	Tarasova I.V. Significance of Resting State Electroencephalogram for Diagnosis of Cognitive Disorders in Cardiac Surgery Patients. The Siberian Medical Journal. 2019;34(1):18–23. https://doi.org/10.29001/2073-8552-2019-34-1-18-23

Когнитивные расстройства у кардиохирургических пациентов остаются серьезной и не до конца изученной проблемой. Среди пациентов с тяжелым поражением коронарного русла — кандидатов на хирургическое лечение высок процент лиц, имеющих также атеросклеротические стенозы брахиоцефальных сосудов, с которыми могут быть ассоциированы хроническая ишемия головного мозга и нарушения мозговых функций [1, 2]. Существует вероятность того, что эти пациенты могут являться группой повышенного риска прогрессирования когнитивных расстройств в результате усугубления ишемических изменений в головном мозге под действием комплекса факторов, связанных с прямой реваскуляризацией миокарда. При этом когнитивные расстройства могут возникнуть не только в ближайшем, но и в отдаленном периоде после кардиохирургического вмешательства, затрудняя послеоперационное восстановление пациентов, способствуя снижению эффективности операции и инвалидизации пациентов [3, 4]. В связи с этим особое значение имеет поиск чувствительных и информативных критериев для ранней диагностики измененного когнитивного статуса у этой категории больных. Одним из перспективных направлений является оценка состояния головного мозга, основанная на регистрации его электрической активности. Исследования электрической активности коры головного мозга при его повреждении позволили установить широкое вовлечение нейронных осцилляторных систем в патологический процесс, а также то, что их нарушения являются наиболее ранним проявлением последующего ухудшения интеллектуальных функций [5–7]. Показатели электроэнцефалограммы (ЭЭГ) могут предоставлять информацию не только о нарушении электрической активности нейронов, но и о потенциальной обратимости их повреждения [8, 9]. При этом информативными могут быть и показатели электрической активности мозга в состоянии покоя. Ранее установлено, что даже при отсутствии определенной когнитивной нагрузки мозговые структуры задействуются в обработке информации из кратковременной памяти, процессах интернализованного внимания, а также при планировании решений [10–13].

Даже локальное ишемическое повреждение мозга может вызвать его глобальную дисфункцию, что отражается в нарушениях нейронной активности [14]. Продемонстрировано, что повреждение нейронных сетей в какой-то области мозга приводит к ухудшению функционирования более отдаленных регионов, а также вызывает компенсаторную перестройку активности связанных неповрежденных областей [15, 16]. Системность возникающих при острой ишемии нарушений деятельности нейронных сетей подтверждается также данными об ухудшении межполушарного взаимодействия при выполнении задач на внимание, восприятие и лингвистических задач у пациентов с инсультом [17–19].

Отмечается, что при проведении операций в условиях общей анестезии и искусственного кровообращения (ИК) ритмическая активность головного мозга подвержена влиянию температурного режима операции, глубины анестезии, нарушений в обмене веществ, в частности гипогликемии, и артериальной ауторегуляции [20]. Эпизоды остановки дыхания и сердечной деятельности сопровождаются диффузным увеличением медленной тета- и дельта-активности [21, 22]. Это же обнаруживается при субарахноидальном кровоизлиянии [23], внутримозговых гематомах [24], у пациентов с тяжелой черепно-мозговой травмой [25]. При нарушениях сознания, таких как оглушенность, сонор, вызванных острыми эпизодами гипоперфузии мозговой ткани, диффузное увеличение мощности тета- и дельта-активности сочетается с угнетением низко- и среднечастотного компонентов альфа-ритма [26]. Высказывается предположение, что замедление ЭЭГ можно рас-

сматривать как активацию подкорковых структур при одновременном подавлении коры и нарушения взаимодействия корково-подкорковых взаимодействий [25, 27]. Появление в фоновой ЭЭГ таких паттернов отражает глубину повреждения мозга и выраженность кортикальной дисфункции, одной из причин которой может быть острая или хроническая ишемия мозга.

Изменения других компонентов ритмической активности головного мозга, таких как альфа- и бета-волны, также могут отражать нарушения деятельности его структур при воздействии комплекса факторов, связанных с кардиохирургическим вмешательством. У пациентов, перенесших хирургическое вмешательство с применением ИК, и с развившимся послеоперационным делирием наблюдается уменьшение величины «альфа-блока», т. е. степени блокады альфа-ритма при открытии глаз, и тенденция к замедлению альфа-ритма до 8 Гц, что, возможно, обусловлено нарушениями функционирования таламуса, отвечающего за генерацию альфа-ритмической активности мозга [26, 28]. Увеличение мощности биопотенциалов низкочастотного поддиапазона бета-активности — бета-1 рассматривается в качестве признака дофаминергической недостаточности [29], обнаруживается в подостром периоде ишемического инсульта [7], а также у пациентов, перенесших кардиохирургическую операцию в условиях ИК [30]. Выдвинута гипотеза, согласно которой рост мощности дельта- и тета-активности является признаком функционального разобщения областей мозга, отвечая за корковую дисфункцию на системном уровне, тогда как уменьшение альфа-активности и рост мощности бета-ритмов могут быть отражением нарушения региональных нейронных взаимодействий [31].

Таким образом, параметры ЭЭГ покоя существенным образом изменяются при различных патологических состояниях головного мозга, в том числе при ухудшении кровоснабжения мозга и ассоциированных с этим когнитивных расстройствах. Можно предполагать, что увеличение спектральной мощности медленных (дельта- и тета-) ритмов вызвано подавлением активности коры подкорковыми структурами, что связано с нарушениями энергетического метаболизма нейронов коры. Понижение доминантной частоты альфа-активности, изменения реактивности данного вида ритмической активности предположительно обусловлены дефицитом холинергической нейротрансмиттерной системы и нарушениями проводящих систем мозга, тогда как нарушения бета-активности могут быть ассоциированы с локальными расстройствами нейронного метаболизма. Вместе с тем сегодня мало известно о перестройках электрической активности коры мозга, сопряженных с комплексом факторов, ассоциированных с операцией коронарного шунтирования (КШ) в условиях ИК, что требует дальнейшего изучения.

Немногочисленные проведенные исследования выявили ассоциации между послеоперационными изменениями ЭЭГ и когнитивным и/или неврологическим дефицитом [30, 32]. Е.З. Голуховой и соавт. показали, что у пациентов после кардиохирургических вмешательств в условиях ИК наблюдается генерализованное увеличение мощности бета-ритмов, наиболее выраженное в поддиапазоне бета-1 по сравнению с дооперационными показателями, что рассматривается авторами работы как однозначный патологический признак послеоперационной корковой дисфункции. Установлено, что латерализованное замедление биоэлектрической активности, очаговые и билатеральные эпипептиформные разряды наблюдаются у пациентов с постгипоксической энцефалопатией в раннем послеоперационном периоде КШ [33]. В работе О.А. Трубниковой и соавт. [34] оценивались изменения электрической активности коры в раннем послеоперационном периоде. Было установлено, что у пациентов с наличием синдрома послеоперационной

когнитивной дисфункции (ПОКД) ЭЭГ признаки корковой дисфункции более выражены по сравнению с пациентами без признаков ПОКД. В другом исследовании продемонстрировано, что ЭЭГ-коррелятами ранней ПОКД могут быть устойчивые изменения мощности биопотенциалов бета-ритмов [35].

С помощью метода вызванных потенциалов также были выявлены негативные изменения мозговой активности в раннем послеоперационном периоде кардиохирургических вмешательств. Показано его преимущество при выявлении субклинических признаков повреждения мозга по сравнению со стандартными психометрическими тестами [32, 36, 37]. В исследовании Ю.И. Бузиашвили и соавт. [36] изучались параметры когнитивного вызванного потенциала P300 до КШ в условиях ИК на 7–9-е сутки после него. Установлено, что наиболее значимым параметром P300 была латентность компонентов P3 и N2, увеличение которых положительно коррелировало со степенью развивающегося когнитивного дефицита. Т. Kuniyaga и соавт. [37] обнаружили, что ухудшение параметров пика P300 в послеоперационном периоде КШ сопровождалось снижением способности концентрироваться на целевом стимуле. В исследовании D. Reineke и соавт. [32] было обнаружено, что у пациентов, КШ которых проводилось с минимизацией экстракорпорального кровообращения, наблюдалось улучшение параметров вызванного потенциала P300 в раннем послеоперационном периоде по сравнению с пациентами, которым кардиохирургическое вмешательство проводилось с помощью традиционной процедуры ИК.

Принимая во внимание приведенные данные литературы, можно заключить, что цифровая ЭЭГ является практичным и чувствительным диагностическим методом, который позволяет отслеживать повреждение мозга после кардиохирургических операций в условиях ИК. Выявление субклинических признаков мозговой дисфункции с помощью данного метода может быть индикатором, способным определить преимущества и недостатки тех или иных способов хирургической реваскуляризации миокарда у определенных категорий пациентов.

Известно, что когнитивные нарушения у кардиохирургических пациентов чаще всего являются транзиторными, и когнитивные способности пациентов возвращаются к исходному уровню через 1–3 мес. после проведения операции [3, 4, 38]. Однако у определенных категорий пациентов, таких как пожилые лица в возрасте старше 65 лет с наличием когнитивных нарушений до проведения оперативного вмешательства, когнитивное снижение может сохраняться и в отдаленном послеоперационном периоде [39–41]. Высказано предположение, что сопутствующие ранней ПОКД изменения функционирования мозговых структур формируют основу для стойких ког-

нитивных нарушений [38, 42]. В исследовании, проведенном S.C. Knipr и соавт., обнаружено, что у 51% пациентов через 3 года после КШ выявляются новые очаги поражения головного мозга по данным диффузно-взвешенной магнитно-резонансной томографии [43].

Как показали результаты проведенных нами ранее исследований, ЭЭГ-признаки повреждения коры головного мозга в виде увеличения мощности биопотенциалов медленных ритмов могут сохраняться в течение года после КШ [44, 45]. Был продемонстрирован комплекс изменений ЭЭГ-активности, включающих частотный диапазон от 4 до 10 Гц, которые сопровождают проявления стойкого послеоперационного когнитивного дефицита. При этом хотелось бы отметить частичное сходство нарушений биоэлектрической активности, наблюдаемых у пациентов с наличием нейродегенеративных когнитивных расстройств и когнитивных расстройств смешанного генеза, и тех, у кого наблюдалось когнитивное снижение в отдаленном послеоперационном периоде [27, 46, 47]. Это может быть косвенным свидетельством того, что на формирование стойкой ПОКД оказывают влияние факторы, ассоциированные с прогрессированием атеросклероза мозговых артерий [48, 49].

Суммируя данные об ЭЭГ-коррелятах ранней и стойкой ПОКД, можно сделать вывод о том, что в изменениях деятельности мозговых структур непосредственно после проведения КШ в условиях ИК и в отдаленном послеоперационном периоде дифференцированно вовлекаются низко- и высокочастотные корковые осцилляторы. Изменения высокочастотной бета-активности связаны, по-видимому, с периоперационными повреждающими факторами, такими как системное воспаление, приводящее к выбросу цитокинов и отеку мозга, тогда как увеличение мощности биопотенциалов тета-ритма, преимущественно локализованное в задних отделах коры, может свидетельствовать о долговременных перестройках электрофизиологии мозга под влиянием хронической ишемии и нарушений нейронного метаболизма.

Таким образом, в проведенных исследованиях установлено, что когнитивное снижение у пациентов после кардиохирургических операций в условиях ИК, зарегистрированное по данным нейропсихологического тестирования, сопровождается патологическими изменениями мозговой активности, имеющими специфические частотно-пространственные характеристики, что позволяет использовать ЭЭГ-показатели в качестве объективных маркеров когнитивной дисфункции и может найти свое применение для объективного контроля эффективности периоперационной нейропротекции и послеоперационной реабилитации пациентов, перенесших кардиохирургические вмешательства с применением ИК.

Литература

1. Бокерия Л.А., Гудкова Р.Г. Сердечно-сосудистая хирургия — 2015 (болезни и врожденные аномалии системы кровообращения). М.: НЦССХ им. А.Н. Бакулева РАМН; 2016:212.
2. Барбараш О.Л., Трубникова О.А. Послеоперационные когнитивные нарушения при коронарном шунтировании. Кемерово: АИ «Кузбассвуиздат»; 2016:139.
3. Indja B., Seco M., Seamark R., Kaplan J., Bannon P.G., Grieve S.M., et. al. Neurocognitive and psychiatric issues post cardiac surgery. *Heart Lung Circ.* 2017;26(8):779–785. DOI: 10.1016/j.hlc.2016.12.010.
4. Kok W.F., Koerts J., Tucha O., Scheeren T.W., Absalom A.R. Neuronal damage biomarkers in the identification of patients at risk of long-term postoperative cognitive dysfunction after cardiac surgery. *Anaesthesia.* 2017;72(3):359–369. DOI: 10.1111/anae.13712.
5. Başar E. Brainoscillations in neuropsychiatric disease. *Dialogues Clin. Neurosci.* 2013;15(3):291–300.
6. Bonanni L., Perfetti B., Bifolchetti S., Taylor J.P., Franciotti R., Parnetti L., et. al. Quantitative electroencephalogram utility in predicting conversion of mild cognitive impairment to dementia with Lewy bodies. *Neurobiol. Aging.* 2015;36(1):434–445. DOI: 10.1016/j.neurobiolaging.2014.07.009.
7. Park W., Kwon G.H., Kim Y.H., Lee J.H., Kim L. EEG response varies with lesion location in patients with chronic stroke. *J. Neuroeng. Rehabil.* 2016;13:21. DOI: 10.1186/s12984-016-0120-2.
8. Chen Y., Xu W., Wang L., Yin X., Cao J., Deng F., et. al. Transcranial Doppler combined with quantitative EEG brain function monitoring and outcome prediction in patients with severe acute intracerebral hemorrhage. *Crit. Care.* 2018;22(1):36. DOI: 10.1186/s13054-018-1951-y.
9. Голухова Е.З., Полунина А.Г., Лефтерова Н.П., Морелли О.Д., Бегачев А.В. Электроэнцефалография как инструмент диагностики ишемических изменений головного мозга после аортокоронарного шунтирования. *Креативная кардиология.* 2012;1:107–122.
10. Montez T., Poil S.S., Jones B.F., Manshanden I., Verbunt J.P., van Dijk B.W., et. al. Altered temporal correlations in parietal alpha and prefrontal theta oscillation in early-stage Alzheimer disease.

- Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 2009;106(5):1614–1619. DOI: 10.1073/pnas.0811699106.
11. Van den Heuvel M.P., Hulshoff Pol H.E. Exploring the brain network: a review on resting-state fMRI functional connectivity. *Eur. Neuropsychopharmacol.* 2010;20(8):519–534. DOI: 10.1016/j.euro-neuro.2010.03.008.
 12. Schooler J.W., Smallwood J., Christoff K., Handy T.C., Reichle E.D., Sayette M.A. Meta-awareness, perceptual decoupling and the wandering mind. *Trends Cogn. Sci.* 2011;15(7):319–326. DOI: 10.1016/j.tics.2011.05.006.
 13. Knyazev G.G., Savostyanov A.N., Bocharov A.V., Slobodskaya H.R., Bairova N.B., Tamozhnikov S.S., et al. Effortful control and resting state networks: A longitudinal EEG study. *Neuroscience.* 2017;346:365–381. DOI: 10.1016/j.neuroscience.2017.01.031.
 14. Moyanova S.G., Mitreva R.G., Kortenska L.V., Nicoletti F., Ngomba R.T. Age-dependence of sensorimotor and cerebral electroencephalographic asymmetry in rats subjected to unilateral cerebrovascular stroke. *Exp. Transl. Stroke Med.* 2013;5(1):13. DOI: 10.1186/2040-7378-5-13.
 15. Cramer S.C., Sur M., Dobkin B.H., O'Brien C., Sanger T.D., Trojanowski J.Q., et al. Harnessing neuroplasticity for clinical applications. *Brain.* 2011;134(Pt 6):1591–1609. DOI: 10.1093/brain/awr039.
 16. Liu T.T., Behrmann M. Functional outcomes following lesions in visual cortex: Implications for plasticity of high-level vision. *Neuropsychologia.* 2017;105:197–214. DOI: 10.1016/j.neuropsychologia.2017.06.030.
 17. Rengachary J., He B.J., Shulman G.L., Corbetta M. A behavioral analysis of spatial neglect and its recovery after stroke. *Front Hum. Neurosci.* 2011;5:29. DOI: 10.3389/fnhum.2011.00029. eCollection 2011.
 18. Golestani A.M., Tymchuk S., Demchuk A., Goodyear B.G.; VISION-2 Study Group. Longitudinal evaluation of resting-state fMRI after acute stroke with hemiparesis. *Neurorehabil. Neural Repair.* 2013;27(2):153–163. DOI: 10.1177/1545968312457827.
 19. Brownsett S.L., Warren J.E., Geranmayeh F., Woodhead Z., Leech R., Wise R.J. Cognitive control and its impact on recovery from aphasic stroke. *Brain.* 2014;137(Pt 1):242–254. DOI: 10.1093/brain/awt289.
 20. Gehring H., Meyer zu Westrup L., Boye S., Opp A., Hofman U. Transcranial doppler, EEG and SEP monitoring. *Applied cardiopulmonary pathophysiology.* 2009;13(26-00):224–236.
 21. Howard R.S., Holmes P.A., Siddiqui A., Treacher D., Tsiropoulos I., Koutroumanidis M. Hypoxic-ischaemic brain injury: imaging and neurophysiology abnormalities related to outcome. *QJM.* 2012;105(6):551–561. DOI: 10.1093/qjmed/hcs016.
 22. Sutter R., Stevens R.D., Kaplan P.W. Continuous electroencephalographic monitoring in critically ill patients: indications, limitations, and strategies. *Crit. Care Med.* 2013;41(4):1124–1132. DOI: 10.1097/CCM.0b013e318275882f.
 23. Gollwitzer S., Groemer T., Rampp S., Hagge M., Olmes D., Huttner H.B., et al. Early prediction of delayed cerebral ischemia in subarachnoid hemorrhage based on quantitative EEG: A prospective study in adults. *Clin. Neurophysiol.* 2015;126(8):1514–1523. DOI: 10.1016/j.clinph.2014.10.215.
 24. Rosenthal E.S., Biswal S., Zafar S.F., O'Connor K.L., Bechek S., Shenoy A.V., et al. Continuous electroencephalography predicts delayed cerebral ischemia after subarachnoid hemorrhage: A prospective study of diagnostic accuracy. *Ann. Neurol.* 2018;83(5):958–969. DOI: 10.1002/ana.25232.
 25. Шарова Е.В., Зайцев О.С., Коробкова Е.В., Захарова Н.Е., Поросбекян Э.Л., Челябинка М.В. и др. Анализ поведенческих и электроэнцефалографических коррелятов внимания в динамике восстановления сознания после тяжелой черепно-мозговой травмы. *Неврология, нейропсихиатрия, психосоматика.* 2016;8(3):17–25. DOI: 10.14412/2074-2711-2016-3-17-25.
 26. Васяткина А.Г., Постнов В.Г., Левин Е.А. ЭЭГ-феноменология при гиперпродуктивных и гипопроодуктивных расстройствах сознания после кардиохирургических вмешательств. *Патология кровообращения и кардиохирургия.* 2010;36:56–57.
 27. Пономарева Н.В., Ключников С.А., Абрамычева Н.Ю., Малина Д.Д., Щеглова Н.С., Филиппова Ю.В. и др. Нейрофизиологические маркеры преклинической стадии болезни Гентингтона и их значение для диагностики и прогноза развития заболевания. *Нервные болезни.* 2016;2:2–9.
 28. Plaschke K., Fichtenkamm P., Schramm C., Hauth S., Martin E., Verch M., et al. Early postoperative delirium after open-heart cardiac surgery is associated with decreased bispectral EEG and increased cortisol and interleukin-6. *Intensive Care Med.* 2010;36(12):2081–2089. DOI: 10.1007/s00134-010-2004-4.
 29. Челябинка М.В., Шарова Е.В., Зайцев О.С. Синдром дофаминергической недостаточности в картине тяжелой травмы мозга на фоне длительного угнетения сознания. *Неврология, нейропсихиатрия, психосоматика.* 2014;4:31–39. DOI: 10.14412/2074-2711-2014-4-31-39.
 30. Golukhova E.Z., Polunina A.G., Lefterova N.P., Begachev A.V. Electroencephalography as a tool for assessment of brain ischemic alterations after open heart operations. *Stroke Res. Treat.* 2011;2011:980873. DOI: 10.4061/2011/980873.
 31. Zappasodi F., Olejarczyk E., Marzetti L., Assenza G., Pizzella V., Tecchio F. Fractal dimension of EEG activity senses neuronal impairment in acute stroke. *PLoS One.* 2014;9(6):e100199. DOI: 10.1371/journal.pone.0100199. eCollection 2014.
 32. Reineke D., Winkler B., König T., Meszaros K., Sodeck G., Schönhoff F., et al. Minimized extracorporeal circulation does not impair cognitive brain function after coronary artery bypass grafting. *Interact. Cardiovasc. Thorac. Surg.* 2015;20(1):68–73. DOI: 10.1093/icvts/ivu341.
 33. Hanif S., Sinha S., Siddiqui K.A. Electroencephalography findings in patients with acute post coronary artery bypass graft encephalopathy. *Neurosciences (Riyadh).* 2014;19(4):331–333.
 34. Трубникова О.А., Тарасова И.В., Мамонтова А.С., Сырова И.Д., Малева О.В., Барбараш О.Л. Структура когнитивных нарушений и динамика биоэлектрической активности мозга у пациентов после прямой реваскуляризации миокарда. *Российский кардиологический журнал.* 2014;(8):57–62. DOI: 10.15829/1560-4071-2014-8-57-62.
 35. Тарасова И.В., Трубникова О.А., Барбараш О.Л., Барбараш Л.С. Диагностическое значение показателей электроэнцефалографии при ранней послеоперационной когнитивной дисфункции. *Креативная кардиология.* 2016;10(3):220–230.
 36. Бузиашвили Ю.И., Алексахина Ю.А., Амбатьелло С.Г., Мацкеплишвили С.Т. Использование когнитивных вызванных потенциалов P300 в диагностике нарушений высших психических функций после кардиохирургических операций в условиях искусственного кровообращения. *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова.* 2005;105(2):51–54.
 37. Kuniyara T., Tscholl D., Langer F., Heinz G., Sata F., Schäfers H.J. Cognitive brain function after hypothermic circulatory arrest assessed by cognitive P300 evoked potentials. *Eur. J. Cardiothorac. Surg.* 2007;32(3):507–513.
 38. Selnes O.A., Grega M.A., Bailey M.M., Pham L.D., Zeger S.L., Baumgartner W.A., et al. Do management strategies for coronary artery disease influence 6-year cognitive outcomes? *Ann. Thorac. Surg.* 2009;88(2):445–454. DOI: 10.1016/j.athoracsur.2009.04.061.
 39. Jensen B.O., Rasmussen L.S., Steinbrüchel D.A. Cognitive outcomes in elderly high-risk patients 1 year after off-pump versus on-pump coronary artery bypass grafting. A randomized trial. *Eur. J. Cardiothorac. Surg.* 2008;34(5):1016–1021. DOI: 10.1016/j.ejcts.2008.07.053.
 40. Silbert B., Evered L., Scott D.A., McMahon S., Choong P., Ames D., et al. Preexisting cognitive impairment is associated with postoperative cognitive dysfunction after hip joint replacement surgery. *Anesthesiology.* 2015;122(6):1224–1234. DOI: 10.1097/ALN.0000000000000671.
 41. Evered L.A., Silbert B.S., Scott D.A., Maruff P., Ames D. Prevalence of dementia 7.5 Years after coronary artery bypass graft surgery. *Anesthesiology.* 2016;125(1):62–71. DOI: 10.1097/ALN.0000000000001143.
 42. Gerriets T., Schwarz N., Bachmann G., Kaps M., Kloevekorn W.P., Sammer G., et al. Evaluation of methods to predict early long-term neurobehavioral outcome after coronary artery bypass grafting. *Am. J. Cardiol.* 2010;105(8):1095–1101. DOI: 10.1016/j.amjcard.2009.12.009.
 43. Knipp S.C., Matatko N., Wilhelm H., Schlamann M., Thielmann M., Lösch C., et al. Cognitive outcomes three years after coronary artery bypass surgery: relation to diffusion-weighted magnetic resonance imaging. *Ann. Thorac. Surg.* 2008;85(3):872–879. DOI: 10.1016/j.athoracsur.2007.10.083.
 44. Тарасова И.В., Трубникова О.А., Барбараш О.Л., Барбараш Л.С. Изменения биоэлектрической активности мозга, ассоциированные со стойкой послеоперационной когнитивной дисфункцией у пациентов, перенесших коронарное шунтирование. *Сибирский научный медицинский журнал.* 2017;37(3):32–38.

45. Тарасова И.В., Трубникова О.А., Барбараш О.Л., Барбараш Л.С. Изменения электроэнцефалограммы у пациентов с ранней и стойкой послеоперационной когнитивной дисфункцией при коронарном шунтировании с искусственным кровообращением. *Неврологический журнал*. 2017;22(3):136–141.
46. Moretti D.V. Theta and alpha EEG frequency interplay in subjects with mild cognitive impairment: evidence from EEG, MRI, and SPECT brain modifications. *Front Aging Neurosci*. 2015;7:31. DOI: 10.3389/fnagi.2015.00031. eCollection 2015.
47. Moretti D.V., Zanetti O., Binetti G., Frisoni G.B. Quantitative EEG markers in mild cognitive impairment: degenerative versus vascular brain impairment. *Int. J. Alzheimers Dis*. 2012;2012:917537. DOI: 10.1155/2012/917537.
48. Kozora E., Kongs S., Collins J.F., Hattler B., Baltz J., Hampton M., et al. Cognitive outcomes after on- versus off-pump coronary artery bypass surgery. *Ann. Thorac. Surg*. 2010;90(4):1134–1141. DOI: 10.1016/j.athoracsur.2010.05.076.
49. Fink H.A., Hemmy L.S., MacDonald R., Carlyle M.H., Olson C.M., Dysken M.W., et al. Intermediate- and long-term cognitive outcomes after cardiovascular procedures in older adults: a systematic review. *Ann. Intern. Med*. 2015;163(2):107–117. DOI: 10.7326/M142793.

References

1. Bokerija L.A., Gudkova R.G. Cardiovascular Surgery — 2015 (diseases and congenital malformations of the circulatory system). Moscow: NCSShim. A.N. Bakuleva RAMN; 2016:212 (In Russ.).
2. Barbarash O.L., Trubnikova O.A. Postoperative cognitive impairments in coronary artery bypass surgery. Kemerovo: AI «Kuzbass-vuzizdat»; 2016:139 (In Russ.).
3. Indja B., Seco M., Seamark R., Kaplan J., Bannon P.G., Grieve S.M., et al. Neurocognitive and psychiatric issues post cardiac surgery. *Heart Lung Circ*. 2017;26(8):779–785. DOI: 10.1016/j.hlc.2016.12.010.
4. Kok W.F., Koerts J., Tucha O., Scheeren T.W., Absalom A.R. Neuronal damage biomarkers in the identification of patients at risk of long-term postoperative cognitive dysfunction after cardiac surgery. *Anaesthesia*. 2017;72(3):359–369. DOI: 10.1111/anae.13712.
5. Başar E. Brain oscillations in neuropsychiatric disease. *Dialogues Clin. Neurosci*. 2013;15(3):291–300.
6. Bonanni L., Perfetti B., Bifolchetti S., Taylor J.P., Franciotti R., Parnetti L., et al. Quantitative electroencephalogram utility in predicting conversion of mild cognitive impairment to dementia with Lewy bodies. *Neurobiol. Aging*. 2015;36(1):434–445. DOI: 10.1016/j.neurobiolaging.2014.07.009.
7. Park W., Kwon G.H., Kim Y.H., Lee J.H., Kim L. EEG response varies with lesion location in patients with chronic stroke. *J. Neuroeng. Rehabil*. 2016;13:21. DOI: 10.1186/s12984-016-0120-2.
8. Chen Y., Xu W., Wang L., Yin X., Cao J., Deng F., et al. Transcranial Doppler combined with quantitative EEG brain function monitoring and outcome prediction in patients with severe acute intracerebral hemorrhage. *Crit. Care*. 2018;22(1):36. DOI: 10.1186/s13054-018-1951-y.
9. Goluhova E.Z., Polunina A.G., Lefterova N.P., Morelli O.D., Begachjov A.V. Electroencephalography as a tool for the diagnosis of ischemic changes in the brain after coronary artery bypass surgery. *Kreativnaja kardiologija*. 2012;1:107–122 (In Russ.).
10. Montez T., Poil S.S., Jones B.F., Manshanden I., Verbunt J.P., van Dijk B.W., et al. Altered temporal correlations in parietal alpha and prefrontal theta oscillation in early-stage Alzheimer disease. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 2009;106(5):1614–1619. DOI: 10.1073/pnas.0811699106.
11. Van den Heuvel M.P., Hulshoff Pol H.E. Exploring the brain network: a review on resting-state fMRI functional connectivity. *Eur. Neuropsychopharmacol*. 2010;20(8):519–534. DOI: 10.1016/j.euro-neuro.2010.03.008.
12. Schooler J.W., Smallwood J., Christoff K., Handy T.C., Reichle E.D., Sayette M.A. Meta-awareness, perceptual decoupling and the wandering mind. *Trends Cogn. Sci*. 2011;15(7):319–326. DOI: 10.1016/j.tics.2011.05.006.
13. Knyazev G.G., Savostyanov A.N., Bocharov A.V., Slobodskaya H.R., Bairova N.B., Tamozhnikov S.S., et al. Effortful control and resting state networks: A longitudinal EEG study. *Neuroscience*. 2017;346:365–381. DOI: 10.1016/j.neuroscience.2017.01.031.
14. Moyanova S.G., Mitreva R.G., Kortenska L.V., Nicoletti F., Ngomba R.T. Age-dependence of sensorimotor and cerebral electroencephalographic symmetry in rats subjected to unilateral cerebrovascular stroke. *Exp. Transl. Stroke Med*. 2013;5(1):13. DOI: 10.1186/2040-7378-5-13.
15. Cramer S.C., Sur M., Dobkin B.H., O'Brien C., Sanger T.D., Trojanowski J.Q., et al. Harnessing neuroplasticity for clinical applications. *Brain*. 2011;134(Pt 6):1591–1609. DOI: 10.1093/brain/awr039.
16. Liu T.T., Behrmann M. Functional outcomes following lesions in visual cortex: Implications for plasticity of high-level vision. *Neuropsychologia*. 2017;105:197–214. DOI: 10.1016/j.neuropsychologia.2017.06.030.
17. Rengachary J., He B.J., Shulman G.L., Corbetta M. A behavioral analysis of spatial neglect and its recovery after stroke. *Front Hum. Neurosci*. 2011;5:29. DOI: 10.3389/fnhum.2011.00029. eCollection 2011.
18. Golestani A.M., Tymchuk S., Demchuk A., Goodyear B.G.; VISION-2 Study Group. Longitudinal evaluation of resting-state fMRI after acute stroke with hemiparesis. *Neurorehabil. Neural Repair*. 2013;27(2):153–163. DOI: 10.1177/1545968312457827.
19. Brownsett S.L., Warren J.E., Geranmayeh F., Woodhead Z., Leech R., Wise R.J. Cognitive control and its impact on recovery from aphasic stroke. *Brain*. 2014;137(Pt 1):242–254. DOI: 10.1093/brain/awt289.
20. Gehring H., Meyer zu Westrup L., Boye S., Opp A., Hofman U. Transcranial doppler, EEG and SEP monitoring. *Applied cardiopulmonary pathophysiology*. 2009;13(26-00):224–236.
21. Howard R.S., Holmes P.A., Siddiqui A., Treacher D., Tsiropoulos I., Koutroumanidis M. Hypoxic-ischaemic brain injury: imaging and neurophysiology abnormalities related to outcome. *QJM*. 2012;105(6):551–561. DOI: 10.1093/qjmed/hcs016.
22. Sutter R., Stevens R.D., Kaplan P.W. Continuous electroencephalographic monitoring in critically ill patients: indications, limitations, and strategies. *Crit. Care Med*. 2013;41(4):1124–1132. DOI: 10.1097/CCM.0b013e318275882f.
23. Gollwitzer S., Groemer T., Rampp S., Hagge M., Olmes D., Huttner H.B., et al. Early prediction of delayed cerebral ischemia in subarachnoid hemorrhage based on quantitative EEG: A prospective study in adults. *Clin. Neurophysiol*. 2015;126(8):1514–1523. DOI: 10.1016/j.clinph.2014.10.215.
24. Rosenthal E.S., Biswal S., Zafar S.F., O'Connor K.L., Bechek S., Shenoy A.V., et al. Continuous electroencephalography predicts delayed cerebral ischemia after subarachnoid hemorrhage: A prospective study of diagnostic accuracy. *Ann. Neurol*. 2018;83(5):958–969. DOI: 10.1002/ana.25232.
25. Sharova E.V., Zaitsev O.S., Korobkova E.V., Zakharova N.E., Pogobekian E.L., Chelyapina M.V., et al. Analysis of behavioral and EEG correlates of attention in the dynamics of recovery of consciousness following severe brain injury. *Neurology, Neuropsychiatry, Psychosomatics*. 2016;8(3):17–25. DOI: 10.14412/2074-2711-2016-3-17-25 (In Russ.).
26. Vasjatkina A.G., Postnov V.G., Levin E.A. EEG phenomenology for hyperproductive and hypoproductive disorders of consciousness after cardiac surgery. *Patologija krovoobrashhenija i kardiokirurgija*. 2010;36:56–57 (In Russ.).
27. Ponomareva N.V., Kljushnikov S.A., Abramychcheva N.Ju., Malina D.D., Shheglova N.S., Filipova Ju.V., et al. Neurophysiological markers of the preclinical stage of Huntington's disease and their importance for the diagnosis and prognosis of the disease. *Nervnye bolezni*. 2016;2:2–9 (In Russ.).
28. Plaschke K., Fichtenkamm P., Schramm C., Hautz S., Martin E., Verch M., et al. Early postoperative delirium after open-heart cardiac surgery is associated with decreased bispectral EEG and increased cortisol and interleukin-6. *Intensive Care Med*. 2010;36(12):2081–2089. DOI: 10.1007/s00134-010-2004-4.
29. Chelyapina M.V., Sharova E.V., Zaitsev O.S. Dopaminergic deficiency syndrome in the picture of severe brain injury in the presence of protracted depression of consciousness. *Neurology, Neuropsychiatry, Psychosomatics*. 2014;6(4):31–39. DOI: 10.14412/2074-2711-2014-4-31-39 (In Russ.).
30. Goluhova E.Z., Polunina A.G., Lefterova N.P., Begachev A.V. Electroencephalography as a tool for assessment of brain ischemic alterations after open heart operations. *Stroke Res. Treat*. 2011;2011:980873. DOI: 10.4061/2011/980873.

31. Zappasodi F., Olejarczyk E., Marzetti L., Assenza G., Pizzella V., Tecchio F. Fractal dimension of EEG activity senses neuronal impairment in acute stroke. *PLoS One*. 2014;9(6):e100199. DOI: 10.1371/journal.pone.0100199. eCollection 2014.
32. Reineke D., Winkler B., König T., Meszaros K., Sodeck G., Schönhoff F., et. al. Minimized extracorporeal circulation does not impair cognitive brain function after coronary artery bypass grafting. *Interact. Cardiovasc. Thorac. Surg.* 2015;20(1):68–73. DOI: 10.1093/icvts/ivu341.
33. Hanif S., Sinha S., Siddiqui K.A. Electroencephalography findings in patients with acute post coronary artery bypass graft encephalopathy. *Neurosciences (Riyadh)*. 2014;19(4):331–333.
34. Trubnikova O.A., Tarasova I.V., Mamontova A.S., Syrova I.D., Mal'eva O.V., Barbarash O.L. Structure of cognitive disorders and dynamics of bioelectric activity of the brain in patients after direct myocardial revascularization. *Russian Journal of Cardiology*. 2014;8:57–62. DOI:10.15829/1560-4071-2014-8-57-62.
35. Tarasova I.V., Trubnikova O.A., Barbarash O.L., Barbarash L.S. Diagnostic value of electroencephalography indicators for early postoperative cognitive dysfunction. *Kreativnaja kardiologija*. 2016;10(3):220–230 (In Russ.).
36. Buziashvili Ju.I., Aleksahina Ju.A., Ambat'ello S.G., Mackeplishvili S.T. The use of cognitive evoked potentials P300 in the diagnosis of disorders of higher mental functions after cardiac surgery under cardiopulmonary bypass. *Zhurnal nevrologii i psikiatrii im. S.S. Korsakova*. 2005;105(2):51–54 (In Russ.).
37. Kunihara T., Tscholl D., Langer F., Heinz G., Sata F., Schäfers H.J. Cognitive brain function after hypothermic circulatory arrest assessed by cognitive P300 evoked potentials. *Eur. J. Cardiothorac. Surg.* 2007;32(3):507–513.
38. Selnes O.A., Grega M.A., Bailey M.M., Pham L.D., Zeger S.L., Baumgartner W.A., et. al. Do management strategies for coronary artery disease influence 6-year cognitive outcomes? *Ann.Thorac. Surg.* 2009;88(2):445–454. DOI: 10.1016/j.athoracsur.2009.04.061.
39. Jensen B.O., Rasmussen L.S., Steinbrüchel D.A. Cognitive outcomes in elderly high-risk patients 1 year after off-pump versus on-pump coronary artery bypass grafting. A randomized trial. *Eur. J. Cardiothorac. Surg.* 2008;34(5):1016–1021. DOI: 10.1016/j.ejcts.2008.07.053.
40. Silbert B., Evered L., Scott D.A., McMahon S., Choong P., Ames D., et. al. Preexisting cognitive impairment is associated with postoperative cognitive dysfunction after hip joint replacement surgery. *Anesthesiology*. 2015;122(6):1224–1234. DOI:10.1097/ALN.0000000000000671.
41. Evered L.A., Silbert B.S., Scott D.A., Maruff P., Ames D. Prevalence of dementia 7.5 Years after coronary artery bypass graft surgery. *Anesthesiology*. 2016;125(1):62–71. DOI: 10.1097/ALN.0000000000001143.
42. Gerriets T., Schwarz N., Bachmann G., Kaps M., Kloevekon W.P., Sammer G., et. al. Evaluation of methods to predict early long-term neurobehavioral outcome after coronary artery bypass grafting. *Am. J. Cardiol.* 2010;105(8):1095–1101. DOI: 10.1016/j.amjcard.2009.12.009.
43. Knipp S.C., Matatko N., Wilhelm H., Schlamann M., Thielmann M., Lösch C., et. al. Cognitive outcomes three years after coronary artery bypass surgery: relation to diffusion-weighted magnetic resonance imaging. *Ann. Thorac. Surg.* 2008;85(3):872–879. DOI: 10.1016/j.athoracsur.2007.10.083.
44. Tarasova I.V., Trubnikova O.A., Barbarash O.L., Barbarash L.S. Brain bioelectric activity changes associated with the long-term postoperative cognitive dysfunction in patients after coronary artery bypass grafting. *Sibirskij nauchnyj medicinskij zhurnal*. 2017;37(3):32–38 (In Russ.).
45. Tarasova I.V., Trubnikova O.A., Barbarash O.L., Barbarash L.S. The changes of electroencephalogram in patients with early and long-term postoperative cognitive dysfunction after coronary artery bypass surgery under cardiopulmonary bypass. *Nevrologicheskij zhurnal*. 2017;22(3):136–141 (In Russ.).
46. Moretti D.V. Theta and alpha EEG frequency interplay in subjects with mild cognitive impairment: evidence from EEG, MRI, and SPECT brain modifications. *Front Aging Neurosci.* 2015;7:31. DOI: 10.3389/fnagi.2015.00031. eCollection 2015.
47. Moretti D.V., Zanetti O., Binetti G., Frisoni G.B. Quantitative EEG markers in mild cognitive impairment: degenerative versus vascular brain impairment. *Int. J. Alzheimers Dis.* 2012;2012:917537. DOI: 10.1155/2012/917537.
48. Kozora E., Kongs S., Collins J.F., Hattler B., Baltz J., Hampton M., et. al. Cognitive outcomes after on- versus off-pump coronaryarterybypass surgery. *Ann.Thorac. Surg.* 2010;90(4):1134–1141. DOI: 10.1016/j.athoracsur.2010.05.076.
49. Fink H.A., Hemmy L.S., MacDonald R., Carlyle M.H., Olson C.M., Dysken M.W., et. al. Intermediate- and long-term cognitive outcomes aftercardiovascular procedures in older adults: asystematic review. *Ann. Intern. Med.* 2015;163(2):107–117. DOI: 10.7326/M142793.

Сведения об авторе

Тарасова Ирина Валерьевна, д-р мед. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории ультразвуковых и электрофизиологических методов исследований отдела диагностики сердечно-сосудистых заболеваний, Научно-исследовательский институт комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний.

E-mail: iriz78@mail.ru.

Information about the author

Irina V. Tarasova, Dr. Sci. (Med.), Leading Research Fellow, Laboratory of Ultrasonic and Electrophysiological Methods of Study, Department for Cardiovascular Diagnostics, Research Institute for Complex Issues of Cardiovascular Diseases.

E-mail: iriz78@mail.ru.

Поступила 20.11.2018, принята к печати 08.02.2019
Received November 20, 2018, accepted for publication February 08, 2019