

ВЛИЯНИЕ ГЕМОДИНАМИЧЕСКИ НЕЗНАЧИМЫХ СТЕНОЗОВ ВНУТРЕННИХ СОННЫХ АРТЕРИЙ НА РЕЗУЛЬТАТЫ КОГНИТИВНОГО ТРЕНИНГА И ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАФИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПАЦИЕНТОВ, ПЕРЕНЕСШИХ КОРОНАРНОЕ ШУНТИРОВАНИЕ

Куприянова Д.С., Тарасова И.В., Кухарева И.Н., Соснина А.С., Сырова И.Д., Трубникова О.А., Барбараш О.Л.

Научно-исследовательский институт комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний, Кемерово, Россия.

Резюме. Влияние атеросклеротического поражения каротидных артерий (КА) на успешность процедур, направленных на восстановление когнитивных функций у пациентов с сердечно-сосудистой патологией, изучено недостаточно. Целью работы является оценка эффектов когнитивной реабилитации после коронарного шунтирования (КШ) с помощью электроэнцефалографических (ЭЭГ) показателей у пациентов в зависимости от наличия гемодинамически незначимых стенозов внутренних сонных артерий (ВСА).

Материал и методы. В когортном проспективном исследовании приняли участие 85 пациентов (16 женщин, 69 мужчин), в возрасте от 45 до 75 лет, поступившие на плановое КШ. Всем пациентам проведено клинико-инструментальное, неврологическое, расширенное нейропсихологическое и ЭЭГ-исследование.

Результаты. После проведения многозадачного тренинга у пациентов со стенозами КА были выше показатели спектральной мощности биопотенциалов высокочастотных бета1 и бета 2 ритмов (13-30 Гц), тогда как спектральная мощность альфа1- ритма (8-10 Гц) у этой группы была ниже по сравнению с пациентами без стенозов. В случае успешной когнитивной реабилитации (при отсутствии послеоперационной когнитивной дисфункции (ПОКД)) на 11-12-е сутки после КШ по сравнению с группой с ПОКД пациенты без стенозов имели более высокие показатели суммарной мощности биопотенциалов альфа1- ритма и более низкие — бета-ритмов, чем пациенты со стенозами ВСА.

Заключение. Отсутствие стеноза в каротидном бассейне в случае успешного прохождения многозадачного тренинга способствовало оптимизации мозговой активности с увеличением мощности биопотенциалов альфа-ритма. Тогда как пациенты с наличием стенозов КА как в случае успеха многозадачного тренинга в раннем послеоперационном периоде КШ, так и при его отсутствии характеризовались увеличением бета-активности. Данное исследование может являться обоснованием для разработки персонализированных программ когнитивной реабилитации у пациентов с со стенозами ВСА.

Ключевые слова: стенозы сонных артерий; послеоперационная когнитивная дисфункция; многозадачный тренинг; коронарное шунтирование

Для цитирования: Куприянова Д.С., Тарасова И.В., Кухарева И.Н., Соснина А.С., Сырова И.Д., Трубникова О.А., Барбараш О.Л.

Влияние гемодинамически незначимых стенозов внутренних сонных артерий на результаты когнитивного тренинга и электроэнцефалографические показатели пациентов, перенесших коронарное шунтирование. *Российский неврологический журнал*. 2024;29(4):62–69. DOI 10.30629/2658-7947-2024-29-4-62-69

Для корреспонденции: Тарасова И.В., e-mail: iriz78@mail.ru

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Исследование выполнено при поддержке Федерального государственного министерства науки и образования Российской Федерации (Тема фундаментального исследования № 122012000364–5 от 20 января 2022 г.).

Информация об авторах

Куприянова Д.С., <https://orcid.org/0000-0002-9750-5536>, e-mail: kuprds@bk.ru

Тарасова И.В., <https://orcid.org/0000-0002-6391-0170>, e-mail: iriz78@mail.ru

Кухарева И.Н., <https://orcid.org/0000-0002-6813-7017>; e-mail: ira-kukhareva77@mail.ru

Соснина А.С., <https://orcid.org/0000-0001-8908-2070>; e-mail: mamontova_1984@mail.ru

Сырова И.Д., <https://orcid.org/0000-0003-4339-8680>; e-mail: ira_dan2011@mail.ru

Трубникова О.А., <https://orcid.org/0000-0001-8260-8033>; e-mail: olgalet17@mail.ru

Барбараш О.Л., <https://orcid.org/0000-0002-4642-3610>; e-mail: olb61@mail.ru

THE EFFECT OF NON-SIGNIFICANT INTERNAL CAROTID ARTERY STENOSES ON THE RESULTS OF COGNITIVE TRAINING AND ELECTROENCEPHALOGRAPHIC INDICATORS IN CARDIAC SURGERY PATIENTS

Kupriyanova D.S., Tarasova I.V., Kuhareva I.N., Sosnina A.S., Syrova I.D., Trubnikova O.A., Barbarash O.L.

Federal State Budgetary Scientific Institution Research Institute for Complex Issues of Cardiovascular Diseases, Kemerovo, Russia

Abstract. The effect of atherosclerotic lesions of the carotid arteries (CA) on the success of the cognitive function recovery procedures in cardiac patients has not been sufficiently studied. This study aims to evaluate the effects of cognitive rehabilitation depending on the presence of CA stenosis in patients after coronary artery bypass grafting (CABG) using neurophysiological indicators.

Material and methods. The cohort prospective study involved 85 patients (16 of them women), aged 45 to 75 years,

admitted for elective CABG. All patients underwent standard clinical and instrumental, neurological, extended neuropsychological and neurophysiological examination.

Results. After multi-task training, the patients with CA stenosis had higher levels of high-frequency beta power (13-30 Hz), while the spectral power of the alpha1 rhythm (8-10 Hz) in this group was lower compared to patients without stenosis. In the case of successful cognitive rehabilitation (absence of POCД) at 11–12 days after CABG, compared with the group with POCД, patients without stenoses had higher total power of alpha 1 power and lower — beta power than patients with stenoses CA.

Conclusion. The absence of CA stenosis in the patients with successful completion of multi-tasking training contributed to the optimization of brain activity with an increase of alpha power. Whereas the patients with CA stenosis were characterized by an increase in high-frequency brain activity, both in the case of successful multi-tasking training and in its absence, in the early postoperative period of CABG. This study may serve as a basis for the development of special cognitive rehabilitation programs for patients with atherosclerotic lesions of the carotid system.

Key words: coronary artery stenosis; postoperative cognitive dysfunction; multi-task training; coronary bypass surgery

For citation: Kupriyanova D.S., Tarasova I.V., Kuhareva I.N., Sosnina A.S., Syrova I.D., Trubnikova O.A., Barbarash O.L. The effect of non-significant internal carotid artery stenoses on the results of cognitive training and electroencephalographic indicators in cardiac surgery patients. *Russian Neurological Journal (Rossijskij Nevrologicheskij Zhurnal)*. 2024;29(4):62–69. (In Russian). DOI 10.30629/2658-7947-2024-29-4-62-69

For correspondence: Tarasova I.V., e-mail: iriz78@mail.ru

Conflict of interest. The authors declare there is no conflict of interest.

Funding. This study was supported by the Federal State Ministry of Science and Education of the Russian Federation (Fundamental research topic No. 122012000364-5, dated 20 January 2022).

Information about authors

Kupriyanova D.S., <https://orcid.org/0000-0002-9750-5536>, e-mail: kuprds@bk.ru

Tarasova I.V., <https://orcid.org/0000-0002-6391-0170>, e-mail: iriz78@mail.ru

Kuhareva I.N., <https://orcid.org/0000-0002-6813-7017>; e-mail: ira-kuhareva77@mail.ru

Sosnina A.S., <https://orcid.org/0000-0001-8908-2070>; e-mail: mamontova_1984@mail.ru

Syrova I.D., <https://orcid.org/0000-0003-4339-8680>; e-mail: ira_dan2011@mail.ru

Trubnikova O.A., <https://orcid.org/0000-0001-8260-8033>; e-mail: olgalet17@mail.ru

Barbarash O.L., <https://orcid.org/0000-0002-4642-3610>; e-mail: olb61@mail.ru

Received 27.01.2024

Accepted 18.03.2024

Сокращения: ВСА — внутренние сонные артерии; ИК — искусственное кровообращение; КА — каротидные артерии; КШ — коронарное шунтирование; ПОКД — послеоперационная когнитивная дисфункция; ЭЭГ — электроэнцефалограмма; BDI-II — Beck Depression Inventory II (шкала депрессии Бека); ECST — European Carotid Surgery Trial (Европейское Исследование Каротидной Эндартерэктомии); MoCA — The Montreal Cognitive Assessment (Монреальская шкала оценки когнитивных функций); NASCET — North American Symptomatic Carotid Endarterectomy Trial (Североамериканское Исследование Симптоматической Каротидной Эндартерэктомии); NYHA — New York Heart Association.

Введение. Стенозы внутренних сонных артерий (ВСА) являются значимым предиктором когнитивных расстройств у лиц пожилого возраста [1, 2]. Предполагается, что их тяжесть ассоциирована с нарушениями мозгового кровообращения в зависимости от степени выраженности стеноза [3, 4]. Известно, что при каротидном стенозе менее 40% выраженные изменения мозговой гемодинамики, как локальные, так и системные, отсутствуют, тогда как при стенозе более 50% развивается дефицит мозгового кровотока, преимущественно в зонах смежного кровообращения крупных мозговых артерий [4–7].

Однако у пожилых людей, вследствие нарушенной ауторегуляции мозгового кровообращения и повышенной жесткости мелких сосудов, даже в случае малых и умеренных стенозов ВСА может развиваться когнитивный дефицит [8–10]. Также установлено, что стенозы внутренних сонных артерий являются фактором риска ишемического повреждения мозга при выполнении изолированного коронарного шунтирования (КШ) в условиях искусственного кровообращения (ИК) и ассоциированы с послеоперационной когнитивной дисфункцией (ПОКД) [11–13]. ПОКД связана с ухудшением прогноза пациентов, увеличением продолжительности госпитализации, повышенной смертностью в течение года после операции, а также пациенты с ПОКД требуют более длительного ухода [14–16]. Высокая коморбидность пациентов и многофакторность патогенеза ПОКД значительно затрудняют поиск оптимального способа ее профилактики и восстановления когнитивных функций после кардиохирургических вмешательств [17–20]. В современных исследованиях подчеркивается важность использования в медицинской практике нефармакологических методов профилактики когнитивных расстройств и необходимость разработки специализированных тренингов, которые учитывают индивидуальные особенности и клинический статус пациентов [21, 22]. Особенно эффективными

могут быть многозадачные тренировки, предполагающие одновременное выполнение двигательных и когнитивных заданий [23, 24]. Специально подобранные компоненты такого многозадачного тренинга могут направлены на активацию фронтальных и париетальных отделов коры головного мозга, которые в наибольшей степени подвержены влиянию периоперационных факторов [25, 26]. Немаловажным аспектом в проведении когнитивной реабилитации является мониторинг состояния мозговых функций пациентов. Наряду с когнитивным тестированием возможно использование метода электроэнцефалографии (ЭЭГ), в режиме реального времени [27]. Ранее ЭЭГ успешно применялась в исследованиях как чувствительный индикатор ишемического повреждения головного мозга после кардиохирургических вмешательств с использованием искусственного кровообращения [28]. Ранее мы предположили, что существует взаимосвязь между реперфузионным синдромом, возникающим после операции с использованием искусственного кровообращения, и увеличением активности в диапазоне тета1-ритма, что может отражать нарушение корково-подкорковых взаимодействий [29]. Однако влияние атеросклеротического поражения каротидного бассейна на успешность процедур, направленных на восстановление когнитивных функций у пациентов после КШ и сопровождающие изменения активности головного мозга, малоизучено. *Целью работы* является оценка эффектов когнитивной реабилитации после КШ с помощью ЭЭГ-показателей у пациентов в зависимости от наличия стеноза ВСА.

Материал и методы. В когортном проспективном исследовании приняли участие 85 пациентов (16 женщин и 69 мужчин). *Критериями включения* явились возраст от 45 до 75 лет, плановое КШ в условиях ИК, праворукость для исключения влияния функциональной асимметрии на ЭЭГ-показатели. *Критерии исключения* из исследования были следующие: возраст пациентов старше 75 лет, тяжелые сопутствующие заболевания, жизнеугрожающие нарушения сердечного ритма проводимости, алкогольная и наркотическая зависимость, инсульты и черепно-мозговые травмы в анамнезе, наличие деменции по Монреальской шкале когнитивной оценки (MoCA) ≤ 18 (из 30), депрессия по шкале Бека (BDI-II) ≤ 16 (из 31) и отказ от участия в исследовании. В соответствии с критериями включения и исключения пациенты были включены в исследование после подписания добровольного информированного согласия. Дизайн исследования одобрен локальным этическим комитетом учреждения и соответствовал принципам Хельсинкского соглашения. Всем поступившим в стационар пациентам проведено стандартное клинико-инструментальное, неврологическое, расширенное нейропсихологическое и нейрофизиологическое обследование. Степень выраженности стеноза КА выявляли ультразвуковым дуплексным сканированием и рассчитывали по формулам, относящимся к классификации North American Symptomatic Carotid Endarterectomy Trial

(NASCET) и European Carotid Surgery Trial (ECST): отсутствие стенозов, малый стеноз сужение диаметра артерии менее 30%, умеренный при сужении артерии в пределах 30–49%, выраженный — 50–69%, критический — 70–99% и полная окклюзия [30]. Кардиохирургические вмешательства всем включенным в исследование пациентам были проведены в стандартных условиях анестезии и перфузии.

Для определения индивидуального нейропсихологического статуса пациентов применялся программный комплекс «Status PF» (свидетельство №2001610233, Роспатент). Оценка функций кратковременной памяти, селективного внимания, психомоторных и исполнительных функций проводилась за 3–5 дней до кардиохирургического вмешательства, на 2–3-и и на 11–12-е сутки после КШ. ПОКД диагностировалась на 2–3-и сутки послеоперационного периода КШ и на 11–12 суток после завершения когнитивного тренинга. Использовался критерий ПОКД «20–20%» [28]. При наличии ПОКД на 2–3-и сутки послеоперационного периода пациентам назначалась когнитивная реабилитация, условия проведения и содержание многозадачного тренинга подробно описаны здесь [24].

Из выборки пациентов, прошедших многозадачный тренинг, были сформированы две группы исследования: с наличием любых стенозов КА, включая малые и умеренные ($n = 41$) и отсутствием стенозов ($n = 44$). По основным клинико-анамнестическим показателям группы были сопоставимы (Табл. 1).

Регистрацию ЭЭГ проводили за 3–5 дней до КШ, и на 11–12-е сутки после операции с использованием системы Neuvo SynAmps2 (Compumedics, США). ЭЭГ регистрировали монополярно в 62 стандартных отведениях системы «10–10» в условиях свето- и шумоизолированного помещения, в положении пациента сидя в состоянии покоя с закрытыми глазами. Для количественной оценки ЭЭГ использовали спектральный анализ с преобразованием Фурье. Подробно нейрофизиологические методы описаны ранее [29].

Статистический анализ всех полученных данных производился с использованием приложения «Statistica 10.0» (StatSoft Inc., США), (SN: BXXR210F562022FA-A). Критерий Шапиро-Уилка применяли для проверки анализируемых показателей на нормальность распределения. В связи с ненормальным распределением для межгрупповых сравнений количественных клинико-анамнестических переменных использовали непараметрический критерий Манна-Уитни. Качественные показатели анализировали с помощью критерия χ^2 с поправкой Йетса. Показатели спектральной мощности ЭЭГ, суммированной в 6 частотных диапазонах: тета1 (4–6 Гц), тета2 (6–8 Гц), альфа1 (8–10 Гц), альфа2 (10–13 Гц), бета1 (13–20 Гц), бета2 (20–30 Гц), были нормализованы путем логарифмического преобразования, и далее анализировались с использованием дисперсионного анализа (ANOVA). Анализ полученных факторов и взаимодействий факторов проводили с помощью плановых сравнений.

Таблица 1

Клинико-anamnestические характеристики групп пациентов с наличием и отсутствием стенозов каротидных артерий, прошедших курс многозадачного тренинга

Клинико-anamnestическая характеристика	Группа со стенозами КА (n = 41)	Группа без стенозов КА (n = 44)	p-value
Возраст, годы, Me (Q25; Q75)	64 (61; 68)	63 (60; 69)	0,75
Пол (мужчины/женщины)	8/36	8/33	0,87
Курение, n (%)	20 (49)	17 (41)	0,34
MoCA, Me (Q25; Q75)	26 (24; 27)	27 (24;28)	0,53
BDI-II, scores, Me (Q25; Q75)	3 (2; 5)	3 (1; 4)	0,46
Образование, годы, Me (Q25; Q75)	11 (10; 14)	12 (11; 15)	0,18
Функциональный класс стенокардии, n (%)			0,41
I-II	32 (78)	37 (84)	
III	9 (22)	7 (16)	
Функциональный класс хронической сердечной недостаточности NYHA, n (%)			0,76
I-II	38 (93)	42 (95)	
III	3 (7)	2 (5)	
Инфаркт миокарда в анамнезе, n (%)	18 (44)	21 (47)	0,79
Артериальная гипертензия, n (%)	41 (100)	42 (95)	0,57
Фракция выброса левого желудочка, %, Me (Q25; Q75)	62 (55; 67)	65 (56; 68)	0,51
Сахарный диабет 2-го типа, n (%)	10 (24)	16 (36)	0,28
Время искусственного кровообращения, мин, Me (Q25; Q75)	78 (65; 96)	88 (66; 105)	0,25
Количество проведенных тренингов, Me (Q25; Q75)	5,4 (4,5; 5)	5,5 (4; 6)	0,82

Примечание: BDI-II — Beck Depression Inventory II (шкала депрессии Бека), MoCA — The Montreal Cognitive Assessment (Монреальская шкала оценки когнитивных функций), NYHA- New York Heart Association.

Table 1

Clinical and anamnetic characteristics of groups of patients with and without carotid artery stenosis who underwent a multitasking training course

Clinical and anamnetic characteristics	The group with CA stenosis (n = 41)	The group without CA stenosis (n = 44)	p-value
Age, years, Me (Q25; Q75)	64 (61; 68)	63 (60; 69)	0,75
Gender (men/woman)	8/36	8/33	0,87
Smoking, n (%)	20 (49)	17 (41)	0,34
MoCA, Me (Q25; Q75)	26 (24; 27)	27 (24;28)	0,53
BDI-II, scores, Me (Q25; Q75)	3 (2; 5)	3 (1; 4)	0,46
Education, years, Me (Q25; Q75)	11 (10; 14)	12 (11; 15)	0,18
Functional class of angina pectoris, n (%)			0,41
I-II	32 (78)	37 (84)	
III	9 (22)	7 (16)	
Functional class of chronic heart failure NYHA, n (%)			0,76
I-II	38 (93)	42 (95)	
III	3 (7)	2 (5)	
History of myocardial infarction, n (%)	18 (44)	21 (47)	0,79
Arterial hypertension, n (%)	41 (100)	42 (95)	0,57
Left ventricular ejection fraction, %, Me (Q25; Q75)	62 (55; 67)	65 (56; 68)	0,51
Type 2 diabetes mellitus, n (%)	10 (24)	16 (36)	0,28
Time of artificial blood circulation, min, Me (Q25; Q75)	78 (65; 96)	88 (66; 105)	0,25
Number of trainings conducted, Me (Q25; Q75)	5,4 (4,5; 5)	5,5 (4; 6)	0,82

Note: BDI-II — Beck Depression Inventory II (шкала депрессии Бека), MoCA — The Montreal Cognitive Assessment (Монреальская шкала оценки когнитивных функций), NYHA- New York Heart Association.

Результаты. Послеоперационный период КШ не сопровождался значимыми кардиоваскулярными событиями, такими как нарушения мозгового кровообращения, жизнеугрожающие нарушения ритма сердца, инфаркт, повторные вмешательства и летальные исходы. Частота развития ПОКД на 2–3-и сутки составила 100% в обеих группах исследования, а на 11–12-е сутки после КШ, после проведения тренинга, составила 68% в группе без стенозов и 71% в группе со стенозами КА.

Для изучения влияния фактора стенозов КА на нейрофизиологические показатели и успешность когнитивной реабилитации были проанализированы показатели спектральной мощности ЭЭГ в частотной полосе от 4 до 30 Гц, зарегистрированные на 11–12-е сутки послеоперационного периода КШ, после проведения курса многозадачного тренинга. Дисперсионный анализ, проведенный с введением факторов ДИАПАЗОН (6 уровней: θ_1 , θ_2 , α_1 , α_2 , β_1 и β_2), ПОКД (2 уровня: есть/нет) и СТЕНОЗЫ КА

Результаты дисперсионного анализа (ANOVA) для групп пациентов с наличием и отсутствием стенозов каротидных артерий, прошедших курс многозадачного тренинга

Статистический эффект	Degr. Of Freedom	F	p	Поправка Гринхауза-Гейссера
ДИАПАЗОН	5,405	170,5	<0,0001	<0,0001
ДИАПАЗОН x СТЕНОЗЫ КА	5,405	3,46	0,004	0,01
ДИАПАЗОН x ПОКД	5,405	2,19	0,054	0,09
ДИАПАЗОН x ПОКД x СТЕНОЗЫ КА	5,405	2,89	0,01	0,03

Примечание: КА — каротидные артерии, ПОКД — послеоперационная когнитивная дисфункция.

Table 2

Results of analysis of variance (ANOVA) for groups of patients with and without of carotid arteries stenoses who have undergone multitasking

Statistical effect	Degr. Of Freedom	F	p	Greenhouse-Geisser correction
BAND	5,405	170,5	<0,0001	<0,0001
BAND x CA STENOSIS	5,405	3,46	0,004	0,01
BAND x POCD	5,405	2,19	0,054	0,09
BAND x POCD x CA STENOSIS	5,405	2,89	0,01	0,03

Note: CA — carotid arteries, POCD — postoperative cognitive dysfunction.

(2 уровня: есть/нет), показал влияние стенозов на показатели спектральной мощности ЭЭГ как в случае успеха тренинга, так и независимо от него (Табл. 2).

Как показали результаты плановых сравнений, взаимодействие факторов ДИАПАЗОН x СТЕНОЗЫ КА было обусловлено межгрупповыми различиями в альфа1 и бета-активности в ЭЭГ покоя с закрытыми глазами. У пациентов со стенозами КА были выше показатели мощности биопотенциалов высокочастотных ритмов (13–30 Гц) по сравнению

с пациентами без стенозов, тогда как спектральная мощность альфа1 ритма (8–10 Гц) у первой группы была ниже ($p = 0,016$).

Более значимым с точки зрения цели настоящего исследования является взаимодействие факторов ДИАПАЗОН x ПОКД x СТЕНОЗЫ КА. Плановые сравнения позволили установить, что в случае успешной когнитивной реабилитации (при отсутствии ПОКД) на 11–12-е сутки после КШ по сравнению с группой с ПОКД пациенты без стенозов

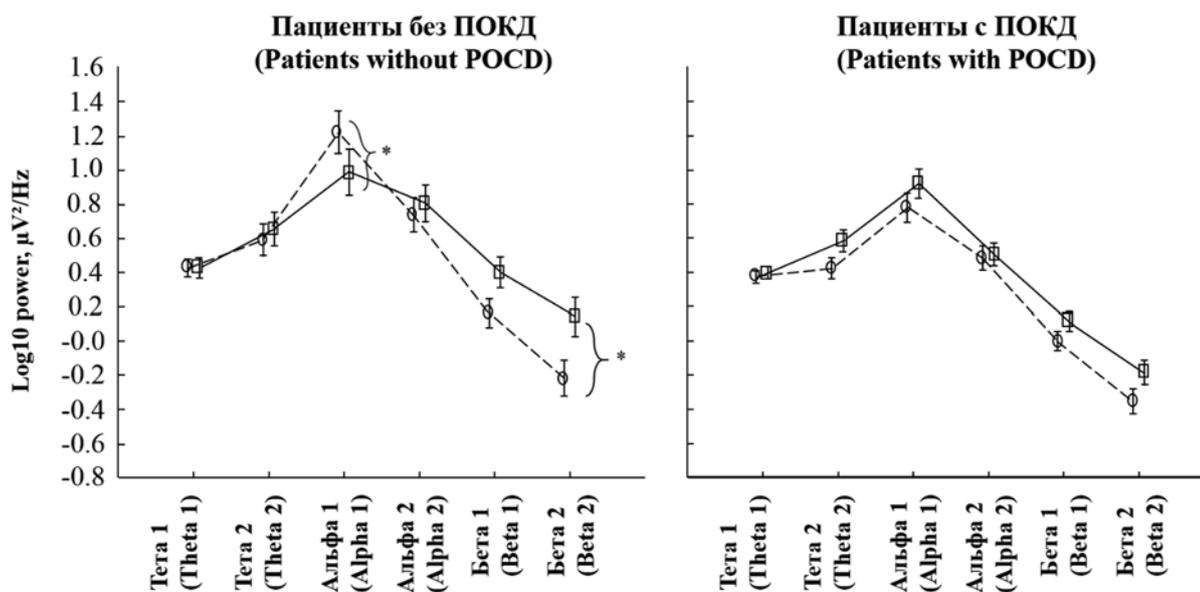


Рис. 1. Показатели мощности биопотенциалов альфа- и бета-ритмов у пациентов со стенозами каротидных артерий и без стенозов в зависимости от наличия послеоперационной когнитивной дисфункции.

Примечание: ПОКД — послеоперационная когнитивная дисфункция; сплошная линия — группа пациентов со стенозами, прерывистая линия — группа пациентов без стенозов. * — межгрупповые различия показателей ритмической активности у пациентов со стенозами и без со статистической значимостью $p < 0.05$.

Fig. 1. The alpha and beta rhythms power indicators in patients with and without carotid stenosis, depending on the presence of postoperative cognitive dysfunction.

Note: POCD — postoperative cognitive dysfunction; a solid line — a group of patients with stenosis, dashed line — a group of patients without stenosis. * — between-group differences in indicators of rhythmic activity in patients with and without stenosis with a statistical significance of $p < 0.05$.

имели более высокие показатели суммарной мощности биопотенциалов альфа 1 ритма и более низкие — бета-ритмов, чем пациенты со стенозами КА ($p = 0,011$), см. рис.1.

Обсуждение. В настоящей работе установлено негативное влияние стеноза КА на показатели мозговой активности при успешном и неуспешном прохождении многозадачного тренинга, что может требовать особого внимания при выборе для таких пациентов программ когнитивной реабилитации. Недавние исследования продемонстрировали тесную взаимосвязь нарушений мозгового кровотока вследствие стенозов в каротидном бассейне и когнитивных нарушений. Высказано предположение, что нарушение мозгового кровотока может быть независимым, но потенциально обратимым фактором, определяющим когнитивный дефицит у пациентов с стенозом КА [31, 32]. Нами обнаружено, что в послеоперационном периоде КШ пациенты со стенозом КА, даже после проведения успешного многозадачного тренинга, отличались более высокими показателями высокочастотной активности мозга, что рассматривается как один из нейрофизиологических показателей послеоперационного когнитивного дефицита [33]. Однако остается неясным, можно ли рассматривать это как отражение гиперактивации коры компенсаторного характера у пациентов, перенесших кардиохирургическое вмешательство [28]. Ранее высокочастотная электрическая активность головного мозга в процессе выполнения различных когнитивных и моторных задач связывалась преимущественно с процессами внимания и сенсомоторной интеграции [34–36]. Предполагается также, что мозговая активность на частоте бета-ритмов служит механизмом регуляции в процессах обработки визуальной информации [35]. Вместе с тем, увеличение фоновой высокочастотной ЭЭГ активности отмечается в подостром периоде ишемического инсульта [37], а также у пациентов после операций с использованием ИК [28].

Также в исследовании Rollnik JD [27] анализ нейрофизиологических показателей у пациентов в восстановительном периоде ишемического инсульта показал, что более высокий уровень альфа-активности ассоциирован с благоприятными клиническими исходами, в отличие от высокого уровня дельта и тета-активности, при этом полученные различия не зависели от возраста пациентов.

В работе Gangemi A. и соавт. после проведения курса многозадачного тренинга у пациентов в хронической фазе инсульта показано значимое увеличение активности как альфа-, так и бета-диапазонов. Авторы считают, что тренирующее воздействие оказало положительное влияние на осцилляторную активность мозга, в частности, увеличение альфа-мощности связано с улучшением концентрации внимания и распределения когнитивных ресурсов, тогда как повышение бета-мощности может отражать улучшение когнитивного контроля и моторного планирования [37]. Можно предполагать, что многозадачный когнитивный тренинг воздействует

на различные когнитивные домены и способствует реорганизации широко распределённых нейронных сетей. Такое положительное влияние на нейропластичность может быть связано с реактивацией или усилением процессов нейротрансмиссии в головном мозге [38].

Полученные в настоящей работе результаты могут быть использованы в качестве доказательной базы эффективности когнитивной реабилитации в раннем послеоперационном периоде кардиохирургических вмешательств. Понимая нейронные механизмы, лежащие в основе эффектов многозадачного тренинга, дальнейшие исследования могут быть сосредоточены на оптимизации программ когнитивной реабилитации.

Заключение. Показано влияние стенозов КА на эффективность и нейрофизиологические показатели пациентов, прошедших курс многозадачного тренинга в раннем послеоперационном периоде КШ в условиях ИК. Отсутствие стеноза в каротидном бассейне в случае успешного прохождения многозадачного тренинга способствовало оптимизации мозговой активности с увеличением мощности биопотенциалов альфа-ритма. Тогда как пациенты с наличием стенозов КА как в случае успеха многозадачного тренинга в раннем послеоперационном периоде КШ, так и при его отсутствии, характеризовались увеличением высокочастотной мозговой активности. Данное исследование может являться обоснованием для разработки особых программ когнитивной реабилитации у пациентов с атеросклеротическим поражением каротидного бассейна.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Исследование выполнено при поддержке Федерального государственного министерства науки и образования Российской Федерации (Тема фундаментального исследования № 122012000364–5 от 20 января 2022 г.).

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Khan AA, Patel J, Desikan S, Chrencik M, Martinez-Delcid J, Caraballo B, et al. Asymptomatic carotid artery stenosis is associated with cerebral hypoperfusion. *J Vasc Surg.* 2021;73(5):1611–1621.e2. doi: 10.1016/j.jvs.2020.10.063
2. Viticchi G, Falsetti L, Potente E, Bartolini M, Silvestrini M. Impact of carotid stenosis on cerebral hemodynamic failure and cognitive impairment progression: a narrative review. *Annals of Translational Medicine.* 2021;9(14):1–10. <https://doi.org/10.21037/atm-20-7226>
3. Geiger MA, Flumignan RLG, Sobreira ML, Avelar WM, Fingerhut C, Stein S, Guillaumon AT. Carotid Plaque Composition and the Importance of Non-Invasive in Imaging Stroke Prevention. *Front Cardiovasc Med.* 2022;9:885483. doi: 10.3389/fcvm.2022.885483
4. Федорина М.А., Давыдкин И.Л., Германова О.А. Атеросклероз сонных артерий: клиническое значение (обзор литературы). *Вестник медицинского института «РЕАВИЗ». Реабилитация, Врач и Здоровье.* 2023;13(3):41–46. [Fedorina M.A., Davydkin I.L., Germanova O.A. Atherosclerosis of the carotid arteries: clinical significance (a literature review). *Bulletin of the Medical Institute "REAVIZ" (REHABILITATION, DOCTOR AND HEALTH).* 2023;13(3):41–46. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.20340/vmi-rvz.2023.3.CLIN.2>

5. Norling AM, Marshall RS, Pavol MA, Howard G, Howard V, Liebeskind D, et al. Is Hemispheric Hypoperfusion a Treatable Cause of Cognitive Impairment? *Curr Cardiol Rep.* 2019;21(1):4. doi: 10.1007/s11886-019-1089-9
6. Белов Ю.В., Медведова Л.А., Катунина Е.А., Загорюлько О.И., Дракина О.В., Ойстрах А.С. Неврологический статус у пациентов в первые сутки после сердечно-сосудистых операций. *Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова.* 2019;(12):5–12 [Belov YuV, Medvedeva LA, Katunina EA, Zagorulko OI, Drakina OV, Oistrakh AS. Differential diagnosis of neurological conditions in cardiac patients on the first day after cardiac, ascending aortic and aortic arch surgery and repair of internal carotid arteries. *Pirogov Russian Journal of Surgery.* 2019;(12):5–12. (In Russ.).] <https://doi.org/10.17116/hirurgia20191215>
7. Matsumoto T, Hoshi H, Hirata Y, Ichikawa S, Fukasawa K, Gonda T, et al. The association between carotid blood flow and resting-state brain activity in patients with cerebrovascular diseases. *Sci Rep.* 2021;11(1):15225. doi: 10.1038/s41598-021-94717-0
8. Малева О.В., Соснина А.С., Учасова Е.Г., Иванов С.В., Трубникова О.А., Барбараш О.Л. Факторы развития ранних послеоперационных когнитивных нарушений у пациентов после коронарного шунтирования и каротидной эндалтерэктомии. *Кардиоваскулярная терапия и профилактика.* 2022;21(5):3166. [Maleva O.V., Sosnina A.S., Uchasova E.G., Ivanov S.V., Trubnikova O.A., Barbarash O.L. Factors for early postoperative cognitive impairment in patients after coronary bypass surgery and carotid endarterectomy. *Cardiovascular Therapy and Prevention.* 2022;21(5):3166. (In Russ.).] <https://doi.org/10.15829/1728-8800-2022-3166>
9. Разумникова О.М., Тарасова И.В., Трубникова О.А., Барбараш О.Л. Изменения в структуре когнитивных функций и тревожности у кардиохирургических пациентов в зависимости от выраженности стенозов сонных артерий. *Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний.* 2022;11(1):36–48. [Razumnikova O.M., Tarasova I.V., Trubnikova O.A., Barbarash O.L. The changes in the structure of cognitive functions and anxiety in cardiac surgery patients depending on the severity of carotid arteries. *Complex Issues of Cardiovascular Diseases.* 2022;11(1):36–48. (In Russ.).] <https://doi.org/10.17802/2306-1278-2022-11-1-36-48>
10. Lineback CM, Stamm B, Sorond F, Caprio FZ. Carotid disease, cognition, and aging: time to redefine asymptomatic disease? *Geroscience.* 2023;45(2):719–725. doi: 10.1007/s11357-022-00688-z
11. Hess NR, Killic A, Serna-Gallegos DR, Navid F, Wang Y, Thoma F, Sultan I. Effect of untreated carotid artery stenosis at the time of isolated coronary artery bypass grafting. *JTCVS Open.* 2021;7:182–190. doi: 10.1016/j.jxon.2021.07.001
12. Сырова И.Д., Коваленко А.В., Трубникова О.А., Малева О.В., Чернобай А.Г., Ложкин И.С., Барбараш О.Л. Цереброваскулярные осложнения у пациентов с гемодинамически незначимыми стенозами сонных артерий в госпитальном периоде коронарного шунтирования с использованием искусственного кровообращения. *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова.* 2022;122(8):73–79. [Syrova ID, Kovalenko AV, Trubnikova OA, Maleva OV, Chernobai AG, Lozhkin IS, Barbarash OL. Cerebrovascular complications in patients with moderate and small stenosis of the carotid arteries in the hospital period of coronary artery bypass grafting using cardiopulmonary bypass. *S.S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry.* 2022;122(8):73–79 (In Russ.).] <https://doi.org/10.17116/jnevro202212208173>
13. Relander K, Hietanen M, Rämö J, Vento A, Tikkala I, Roine RO, et al. Differential Cognitive Functioning and Benefit From Surgery in Patients Undergoing Coronary Artery Bypass Grafting and Carotid Endarterectomy. *Front Neurol.* 2022;13:824486. doi: 10.3389/fneur.2022.824486
14. He J, Duan R, Qiu P, Zhang H, Zhang M, Liu M, et al. The risk factors of postoperative cognitive dysfunction in patients undergoing carotid endarterectomy: an updated meta-analysis. *J Cardiothorac Surg.* 2023;18(1):309. doi: 10.1186/s13019-023-02428-6
15. Lee B, Kim KS, Shim JK, Kim HB, Jun B, Kwak YL. Increased Carotid Intima-Media Thickness was not Associated With Cognitive Dysfunction After Off-Pump Coronary Surgery in Older Adult Patients Without Carotid Stenosis. *Semin Thorac Cardiovasc Surg.* 2022;34(1):112–121. doi: 10.1053/j.semtcvs.2021.03.004
16. Butz M, Gerriets T, Sammer G, El-Shazly J, Tschernatsch M, Schramm P, et al. The impact of postoperative cognitive training on health-related quality of life and cognitive failures in daily living after heart valve surgery: A randomized clinical trial. *Brain Behav.* 2023;13(3):e2915. doi: 10.1002/brb3.2915
17. Боголепова А.Н. Послеоперационная когнитивная дисфункция. *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова.* 2022;122(8):7–11. [Bogolepova AN. Postoperative cognitive dysfunction. *S.S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry.* 2022;122(8):7–11. (In Russ.).] <https://doi.org/10.17116/jnevro20221220817>
18. Неймарк М.И., Шмелев В.В., Рахмонов А.А., Титова З.А. Этиология и патогенез послеоперационной когнитивной дисфункции (обзор). *Общая реаниматология.* 2023;19(1):60–71. [Neimark M.I., Shmelev V.V., Rakhmonov A.A., Titova Z.A. Etiology and Pathogenesis of Postoperative Cognitive Dysfunction (Review). *General Reanimatology.* 2023;19(1):60–71. (In Russ.).] <https://doi.org/10.15360/1813-9779-2023-1-2202>
19. Рублев В.Ю., Гельцер Б.И., Сергеев Е.А., Котельников В.Н., Карпов Р.С. Коморбидность ишемической болезни сердца и ее значение в прогнозировании результатов аортокоронарного шунтирования. *Бюллетень сибирской медицины.* 2022;21(1):152–161. [Rublev V.Yu., Geltser B.I., Sergeev E.A., Kotelnikov V.N., Karpov R.S. Comorbidity of coronary artery disease and its significance in predicting the results of coronary artery bypass grafting. *Bulletin of Siberian Medicine.* 2022;21(1):152–161. (In Russ.).] <https://doi.org/10.20538/1682-0363-2022-1-152-161>
20. Pillai L. Asymptomatic carotid atherosclerosis stenosis, inflammation, and cognitive impairment. *J Vasc Surg.* 2022;75(5):1651. doi: 10.1016/j.jvs.2021.11.078
21. Dan B. Neuroscience underlying rehabilitation: what is neuroplasticity? *Dev Med Child Neurol.* 2019;61(11):1240. doi: 10.1111/dmcn.14341
22. Johnson BP, Cohen LG. Applied strategies of neuroplasticity. *Handb Clin Neurol.* 2023;196:599–609. doi: 10.1016/B978-0-323-98817-9.00011-9
23. Salihu AT, Hill KD, Jaberzadeh S. Effect of cognitive task complexity on dual task postural stability: a systematic review and meta-analysis. *Exp Brain Res.* 2022 Mar;240(3):703–731. doi: 10.1007/s00221-021-06299-y
24. Трубникова О.А., Тарасова И.В., Кухарева И.Н., Темникова Т.Б., Соснина А.С., Сырова И.Д. и др. Эффективность компьютеризированных когнитивных тренингов методом двойных задач в профилактике послеоперационных когнитивных дисфункций при коронарном шунтировании. *Кардиоваскулярная терапия и профилактика.* 2022;21(8):3320. [Trubnikova O.A., Tarasova I.V., Kukhareva I.N., Temnikova T.B., Sosnina A.S., Syrova I.D., et al. Effectiveness of dual-task computerized cognitive training in the prevention of postoperative cognitive dysfunction in coronary bypass surgery. *Cardiovascular Therapy and Prevention.* 2022;21(8):3320. (In Russ.).] <https://doi.org/10.15829/1728-8800-2022-3320>
25. Greaves D, Psaltis PJ, Lampit A, Davis DHJ, Smith AE, Bourke A, et al. Computerised cognitive training to improve cognition including delirium following coronary artery bypass grafting surgery: protocol for a blinded randomised controlled trial. *BMJ Open.* 2020;10(2):e034551. doi: 10.1136/bmjopen-2019-034551
26. Butz M, Gerriets T, Sammer G, El-Shazly J, Tschernatsch M, Huttner HB, et al. Effects of postoperative cognitive training

- on neurocognitive decline after heart surgery: a randomized clinical trial. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2022;62(5):ezac251. doi: 10.1093/ejcts/ezac251. PMID: 35415742.
27. Rollnik JD. Clinical neurophysiology of neurologic rehabilitation. *Handb Clin Neurol.* 2019;161:187–194. doi: 10.1016/B978-0-444-64142-7.00048-5
 28. Тарасова И.В., Разумникова О.А., Трубникова О.А., Мезенцев Ю.А., Куприянова Д.С., Барбараш О.Л. Нейрофизиологические корреляты послеоперационных когнитивных расстройств. *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова.* 2021;121(2):18-23. [Tarasova IV, Razumnikova OA, Trubnikova OA, Mezentsev YuA, Kupriyanova DS, Barbarash OL. Neurophysiological correlates of postoperative cognitive disorders. *S.S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry.* 2021;121(2):18-23. (In Russ.)] <https://doi.org/10.17116/jnevro202112102118>
 29. Tarasova I, Trubnikova O, Kupriyanova DS, Maleva O, Syrova I, Kukhareva I, et al. Cognitive functions and patterns of brain activity in patients after simultaneous coronary and carotid artery revascularization. *Front Hum Neurosci.* 2023;17:996359. doi: 10.3389/fnhum.2023.996359
 30. Chu Z, Cheng L, Tong Q. Carotid artery calcification score and its association with cognitive impairment. *Clin Interv Aging.* 2019;14:167–177. doi: 10.2147/CIA.S192586
 31. Lattanzi S, Carbonari L, Pagliariccio G, Bartolini M, Cagnetti C, Viticchi G, et al. Neurocognitive functioning and cerebrovascular reactivity after carotid endarterectomy. *Neurology.* 2018;90(4):e307-e315. doi: 10.1212/WNL.0000000000004862
 32. Piegza M, Więckiewicz G, Wierzba D, Piegza J. Cognitive Functions in Patients after Carotid Artery Revascularization-A Narrative Review. *Brain Sci.* 2021;11(10):1307. doi: 10.3390/brainsci11101307
 33. Razumnikova OM, Mezentsev YuA, Pavlov PS, Tarasova IV, Trubnikova OA. Differentiation of cognitive status in patients with coronary artery disease using EEG clusterization by discrete optimization with a minimax criterion. *Opera Med Physiol.* 2021;8(3): 42–51. doi: 10.24412/2500-2295-2021-3-42-51
 34. Gongora M, Bittencourt J, Teixeira S, Basile LF, Pompeu F, Drogue EL, et al. Low-frequency rTMS over the Parieto-frontal network during a sensorimotor task: The role of absolute beta power in the sensorimotor integration. *Neurosci Lett.* 2016;611:1–5. doi: 10.1016/j.neulet.2015.11.025
 35. Palacios-García I, Silva J, Villena-González M, Campos-Arteaga G, Artigas-Vergara C, Luarte N, et al. Increase in Beta Power Reflects Attentional Top-Down Modulation After Psychosocial Stress Induction. *Front Hum Neurosci.* 2021;15:630813. doi: 10.3389/fnhum.2021.630813
 36. Schmidt-Kassow M, White TN, Abel C, Kaiser J. Pre-stimulus beta power varies as a function of auditory-motor synchronization and temporal predictability. *Front Neurosci.* 2023;17:1128197. doi: 10.3389/fnins.2023.1128197
 37. Gangemi A, De Luca R, Fabio RA, Lauria P, Rifici C, Pollicino P, et al. Effects of Virtual Reality Cognitive Training on Neuroplasticity: A Quasi-Randomized Clinical Trial in Patients with Stroke. *Biomedicines.* 2023;11(12):3225. doi: 10.3390/biomedicines11123225
 38. Wang Y, Xu X, Wang R. Intrinsic sodium currents and excitatory synaptic transmission influence spontaneous firing in up and down activities. *Neural Netw.* 2018;98:42–50. doi: 10.1016/j.neunet.2017.10.008