

ISSN 2782-3806

ISSN 2782-3814 (Online)

УДК [618.19+616-006.6]:616-073.756.8:616.8

## ВОКСЕЛЬНАЯ МОРФОМЕТРИЯ В ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ ГОЛОВНОГО МОЗГА У ПАЦИЕНТОК ПОСЛЕ ЛЕЧЕНИЯ РАКА МОЛОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ (ЧАСТЬ 2)

Николаева А. Э., Поспелова М. Л., Красникова В. В.,  
Маханова А. М., Тонян С. Н., Ефимцев А. Ю., Левчук А. Г.,  
Труфанов Г. Е., Войнов М. С., Самочерных К. А., Алексеева Т. М.

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр имени В. А. Алмазова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Научный центр мирового уровня «Центр персонализированной медицины», Санкт-Петербург, Россия

### Контактная информация:

Николаева Александра Эрнстовна,  
ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова»  
Минздрава России,  
ул. Аккуратова, д. 2, Санкт-Петербург,  
Россия, 197341.  
E-mail: shura.nicolaeva@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 07.10.2024  
и принята к печати 25.10.2024

### РЕЗЮМЕ

**Актуальность.** Рак молочной железы (РМЖ) является одним из наиболее распространенных онкологических заболеваний среди женщин. Современные методы лечения, такие как химиотерапия, способны вызывать неблагоприятные последствия для центральной нервной системы, включая когнитивные нарушения, известные как «хемоз-мозг». Методики визуализации головного мозга, такие как магнитно-резонансная морфометрия (МР-морфометрия), становятся важным инструментом для выявления этих изменений. **Цель.** Оценить изменения объемов различных структур головного мозга у пациенток, перенесших лечение РМЖ, с использованием метода воксельной морфометрии. **Материалы и методы.** В исследовании участвовали 86 пациенток (средний возраст  $43,27 \pm 4,38$  года) после лечения РМЖ и 26 здоровых женщин-добровольцев (средний возраст  $44 \pm 5,68$  года). Всем пациенткам проводилась МРТ головного мозга с использованием методики MP-RAGE для исключения органической патологии и анализа объемных параметров структур мозга. Данные анализировались с помощью платформы VolBrain. **Результаты.** Морфометрический анализ выявил статистически значимое снижение объемов серого и белого вещества головного мозга у пациенток после химиотерапии по сравнению с контрольной группой. Это снижение сопровождалось жалобами на ухудшение когнитивных функций, включая снижение памяти и концентрации внимания, что коррелировало с уменьшением объема структур мозга.

**Заключение.** Метод воксельной морфометрии позволяет выявлять минимальные изменения в структуре головного мозга у пациенток после лечения РМЖ. Полученные результаты подтверждают значительное влияние химиотерапии на центральную нервную систему и подчеркивают необходимость ранней диагностики и реабилитации когнитивных нарушений.

**Ключевые слова:** когнитивные нарушения, магнитно-резонансная морфометрия, магнитно-резонансная томография, рак молочной железы, хемомозг

*Для цитирования:* Николаева А.Э., Поспелова М.Л., Красникова В.В. и др. Воксельная морфометрия в оценке состояния головного мозга у пациенток после лечения рака молочной железы (Часть 2). *Российский журнал персонализированной медицины.* 2024;4(6):504-516. DOI: 10.18705/2782-3806-2024-4-6-504-516. EDN: SJAKGH

## VOXEL-BASED MORPHOMETRY IN THE ASSESSMENT OF BRAIN CONDITION IN PATIENTS AFTER BREAST CANCER TREATMENT (PART 2)

Nikolaeva A. E., Pospelova M. L., Krasnikova V. V., Mahanova A. M., Tonyan S. N., Efimtsev A. Yu., Levchuk A. G., Trufanov G. E., Voynov M. S., Samochernykh K. A., Alekseeva T. M.

Almazov National Medical Research Centre, World-Class Research Centre for Personalized Medicine, Saint Petersburg, Russia

**Corresponding author:**

Nikolaeva Alexandra E.,  
Almazov National Medical Research Centre,  
Akkuratova str., 2, Saint Petersburg, Russia,  
197341.  
E-mail: shura.nikolaeva@yandex.ru

Received 07 October 2024; accepted  
25 October 2024

### ABSTRACT

**Background.** Breast cancer is one of the most common malignancies in women. Modern treatment methods, such as chemotherapy, can cause adverse effects on the central nervous system, including cognitive impairment known as “chemobrain”. Brain imaging techniques, such as voxel-based morphometry (VBM), are essential for diagnosing these changes. **Objective.** The study aimed to assess changes in brain structure volumes in breast cancer survivors using voxel-based morphometry. **Design and Methods.** The study included 86 patients (mean age  $43.27 \pm 4.38$  years) who underwent breast cancer treatment and 26 healthy volunteers (mean age  $44 \pm 5.68$  years). MRI of the brain was performed using the MPRAGE sequence to exclude organic pathology and analyze brain structure volumes. Data analysis was conducted using the VolBrain platform. **Results.** Morphometric analysis revealed a statistically significant reduction in gray and white matter volumes in breast cancer patients after chemotherapy compared to the control group. This reduction was accompanied by complaints of cognitive decline, including memory and attention deficits, which correlated with decreased brain structure volumes. **Conclusion.** Voxel-based morphometry enables the detection of subtle changes in brain structure in breast cancer survivors. The results confirm the significant impact of chemotherapy on the central nervous system and highlight the need for early diagnosis and rehabilitation of cognitive impairments.

**Key words:** breast cancer, chemobrain, cognitive impairment, magnetic resonance imaging, voxel-based morphometry

*For citation: Nikolaeva AE, Pospelova ML, Krasnikova VV, et al. Voxel-based morphometry in the assessment of brain condition in patients after breast cancer treatment (Part 2). Russian Journal for Personalized Medicine. 2024;4(6):504-516. (In Russ.) DOI: 10.18705/2782-3806-2024-4-6-504-516. EDN: SJAKGH*

**Список сокращений:** МР-морфометрия — магнитно-резонансная морфометрия, МРТ — магнитно-резонансная томография, ПМЭС — пост-мастэктомический синдром, РМЖ — рак молочной железы, ЦНС — центральная нервная система.

## ЧАСТЬ 2

### РЕЗУЛЬТАТЫ

#### *Клиническая картина*

Пациентки жаловались на трудности в подборе слов (48 %), снижение концентрации внимания, необходимость прилагать больше усилий для выполнения основных профессиональных обязанностей (86 %), почти все отмечали снижение памяти на недавние события, при этом многие пациентки стали использовать стикеры или блокноты для записей (90 %), 17 % пациентов отмечали неуверенность при ходьбе, 33 % испытывали головокружения, не свя-

занные с изменением положения головы или колебаниями артериального давления, головные боли напряженного типа беспокоили 61 % пациентов.

На рисунках 2–6 представлены МР-изображения и данные отчета здоровых добровольцев и пациенток после химиотерапии. Красной стрелкой обозначено белое вещество мозга.

На сагиттальных MPRAGE-изображениях мозга здорового добровольца (рис. 2В) и пациента после химиотерапии (рис. 2D) отмечается уменьшение объема серого (желтая стрелка) и белого вещества (белая стрелка), увеличение объема спинномозговой жидкости (оранжевая стрелка) у пациента. При сопоставлении снимков здорового добровольца (рис. 2А) и пациентки (рис. 2С) отмечается различие объемов преимущественно белого вещества головного мозга.

В таблице 3 приведены данные, полученные при сравнении группы пациентов после курса химиотерапии и группы здоровых добровольцев.

**Таблица 3. Сравнение объемов областей мозга между группами участников исследования**

**Table 3. Comparison of volumes between groups of study participants**

Анатомическая область	Объем, см <sup>3</sup>	
	Пациенты	Добровольцы
Серое вещество	726,8±35,468	767,157±53,607
Серое вещество коры	571,924±29,842	603,895±46,37
Серое вещество мозжечка	110,887±6,594	116,928±6,236
Головной мозг (белое и серое вещество)	1172,457±57,015	1234,076±78,145
Общий объем больших полушарий	1035,845±52,585	1090,27±73,961
Правое полушарие мозга	519,053±26,025	544,652±36,502
Левое полушарие мозга	516,791±26,619	545,618±37,462
Общий объем серого вещества коры больших полушарий	615,86±31,358	650,229±49,426
Серое вещество коры правого полушария	308,807±15,721	325,034±24,286
Серое вещество коры левого полушария	307,053±15,83	325,195±25,14
Общий объем мозжечка	125,169±7,138	132,345±6,944
Правое полушарие мозжечка	63,076±3,65	66,548±3,448
Левое полушарие мозжечка	62,094±3,503	65,797±3,496
Общий объем серого вещества мозжечка	99,444±6,027	105,466±5,649
Серое вещество правого полушария мозжечка	50,209±3,104	53,103±2,809

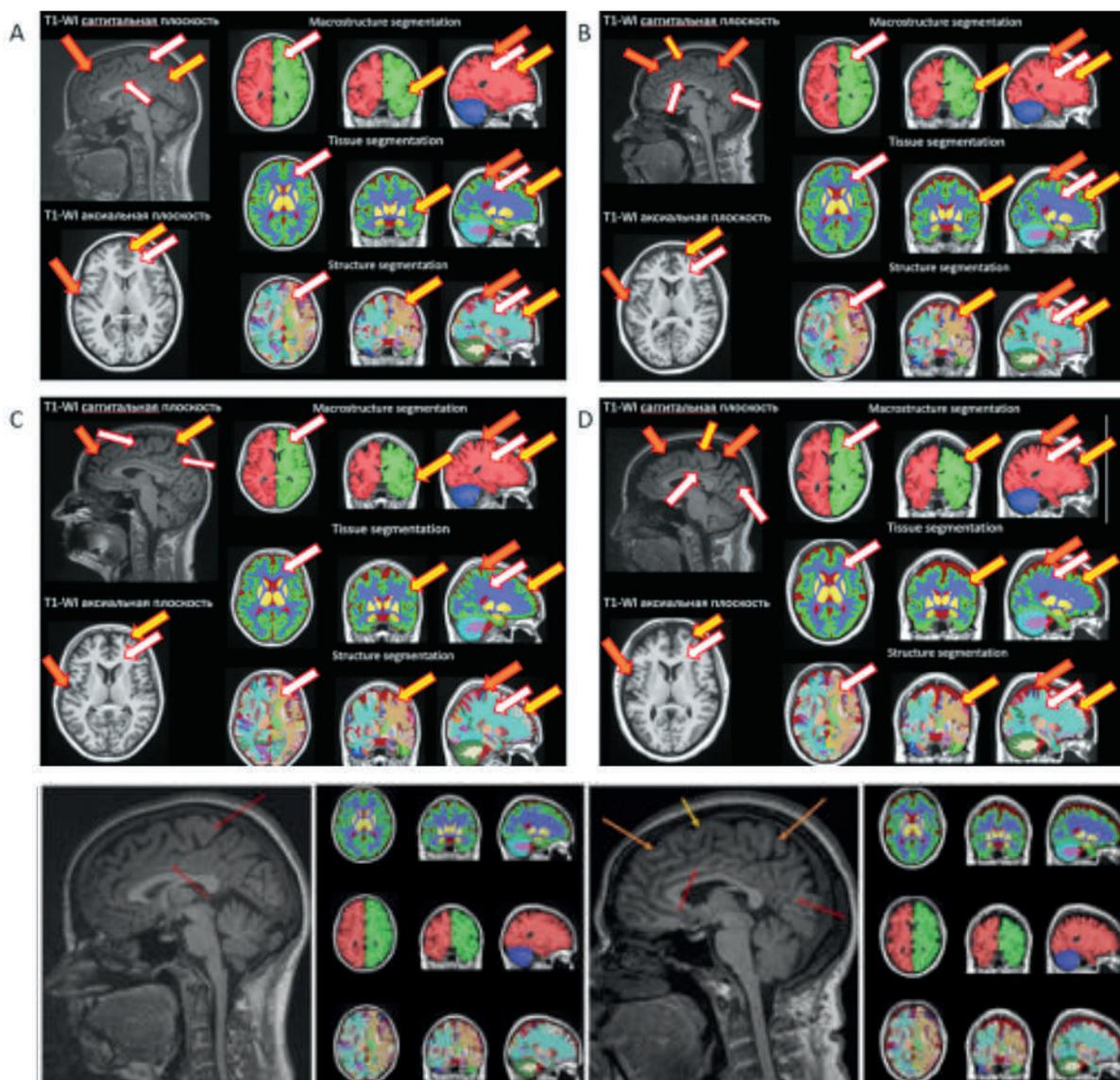
Серое вещество левого полушария мозжечка	49,235±2,945	52,363±2,839
Правый базальный передний мозг	0,299±0,033	0,333±0,051
Левый таламус	7,683±0,486	8,382±0,673
Общий объем вентрального отдела промежуточного мозга	9,317±0,53	9,829±0,486
Общий объем лобной доли	185,903±11,382	199,872±16,955
Лобная доля правого полушария	93,534±5,792	100,542±8,555
Лобная доля левого полушария	92,369±6,112	99,33±8,589
Общий объем лобного полюса	6,397±0,789	7,092±0,756
Общий объем нижней лобной извилины (оперкулярная область)	6,685±0,848	7,504±1,193
Нижняя лобная извилина (оперкулярная область) правого полушария	3,403±0,52	4,1±0,856
Передняя орбитальная извилина правого полушария	2,188±0,393	2,555±0,467
Общий объем латеральной орбитальной извилины	4,797±0,667	5,551±0,688
Латеральная орбитальная извилина левого полушария	2,417±0,436	2,991±0,408
Общий объем прецентральной извилины	27,269±1,878	29,955±2,189
Прецентральная извилина правого полушария	13,717±1,032	14,926±1,118
Прецентральная извилина левого полушария	13,552±0,945	15,029±1,133
Общий объем дополнительной моторной коры	11,088±1,109	12,212±1,096
Дополнительная моторная кора левого полушария	5,624±0,569	6,191±0,635
Общий объем височной доли	115,325±6,57	121,614±7,285
Височная доля левого полушария	57,753±3,313	61,238±3,474
Веретенообразная извилина правого полушария	8,147±0,846	8,948±0,758
Полярная пластинка левого полушария	2,023±0,208	2,261±0,284
Общий объем верхней височной извилины	14,029±1,202	15,435±1,899
Верхняя височная извилина правого полушария	6,896±0,827	7,691±1,009
Верхняя височная извилина левого полушария	7,133±0,568	7,744±0,89
Общий объем височного полюса	18,722±1,508	20,084±1,823
Височный полюс левого полушария	9,192±0,721	10,066±0,927
Верхняя краевая извилина правого полушария	9,004±1,169	10,121±1,458
Общий объем верхней затылочной извилины	8,947±0,985	9,89±1,309
Лимбическая кора правого полушария	20,518±1,629	22±1,464
Передняя часть поясной извилины правого полушария	4,933±0,636	5,586±0,881
Общий объем передней островковой доли	8,13±0,65	8,775±0,669

## Жалобы пациентов



Рис. 1. Основные жалобы пациентов, n = 86

Figure 1. The main complaints of patients, n = 86



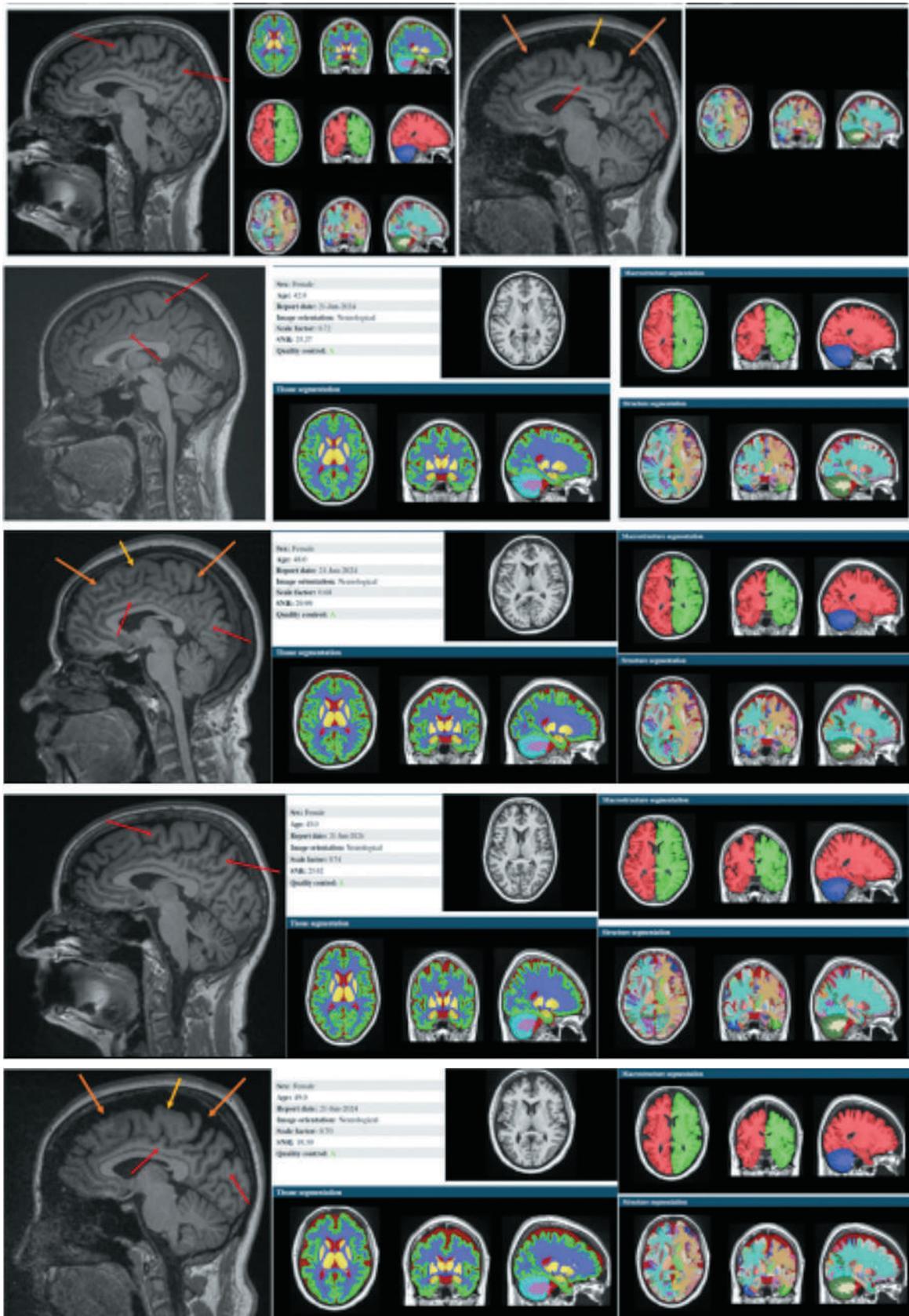


Рис. 2. Примеры МР-морфометрии наиболее репрезентативных участников исследования

Figure 2. Examples of MR morphometry of the most representative study participants

Основываясь на статистически достоверных данных, а также учитывая жалобы пациенток, мы сформировали диаграммы boxplot, наглядно де-

монстрирующие различие в объемах различных областей головного мозга пациенток (основная группа) и здоровых добровольцев.



Рис. 3. Объем серого вещества, см<sup>3</sup>

Figure 3. Volume of gray matter, cm<sup>3</sup>

*Объем серого вещества.* Медиана в основной группе ниже, что указывает на уменьшение объема серого вещества по сравнению с контрольной группой. Вариативность данных схожа в обеих группах.

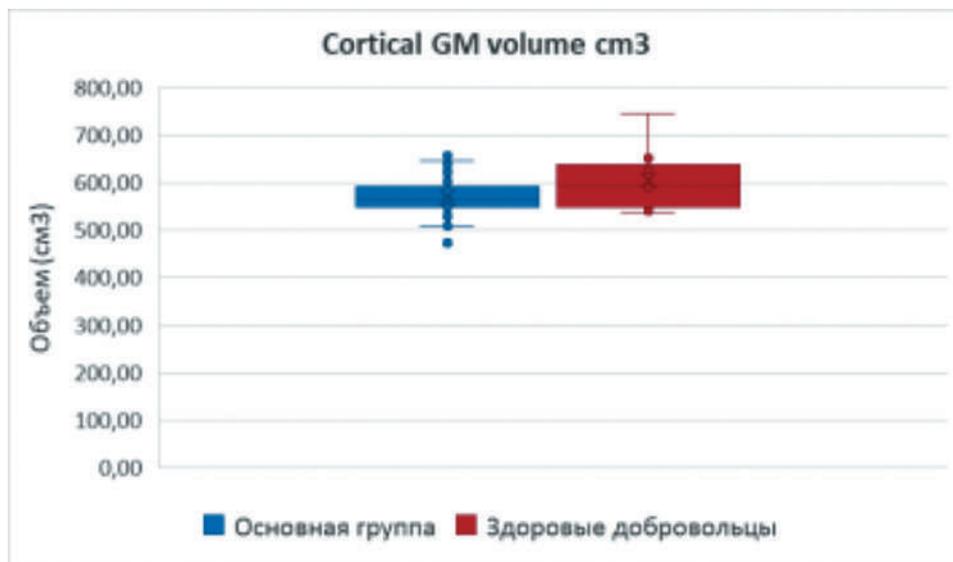


Рис. 4. Объем серого вещества коры головного мозга, см<sup>3</sup>

Figure 4. The volume of gray matter of the cerebral cortex, cm<sup>3</sup>

*Объем серого вещества коры головного мозга.* У основной группы наблюдается снижение медианы, что говорит об уменьшении объема серого вещества коры. Вариативность данных сопоставима в обеих группах.

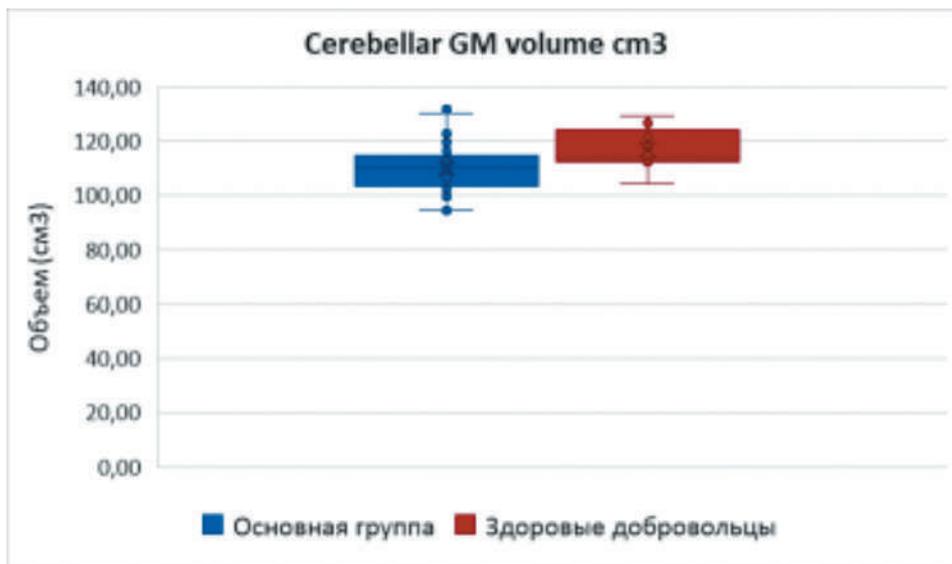


Рис. 5. Объем серого вещества мозжечка, см<sup>3</sup>

Figure 5. Volume of cerebellar gray matter, cm<sup>3</sup>

*Объем серого вещества мозжечка.* Медиана у основной группы ниже, что может свидетельствовать о снижении объема серого вещества мозжечка. Разброс данных остается схожим с контрольной группой.

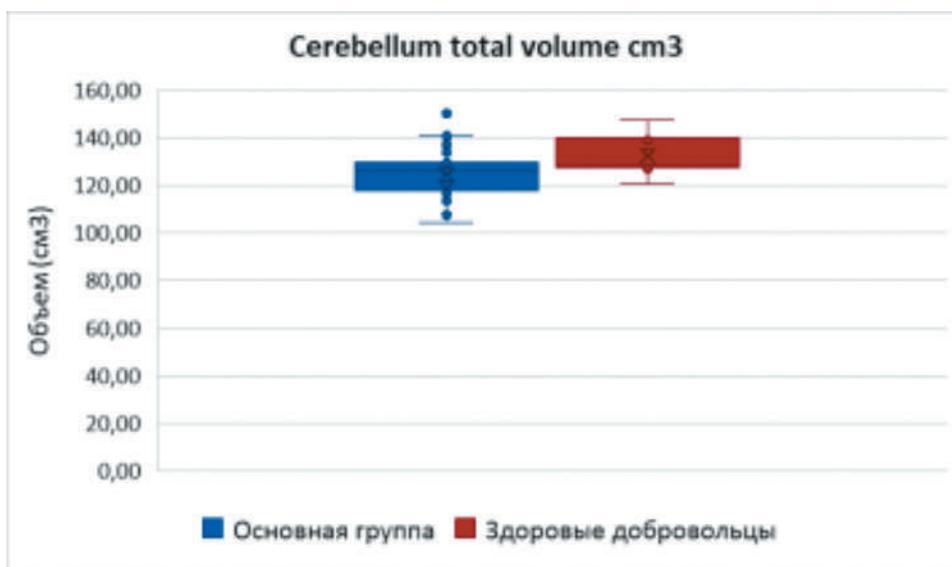


Рис. 6. Общий объем мозжечка, см<sup>3</sup>

Figure 6. The total volume of the cerebellum, cm<sup>3</sup>

*Общий объем мозжечка.* Медиана у основной группы ниже, что указывает на уменьшение общего объема мозжечка. Вариативность данных схожа в обеих группах.

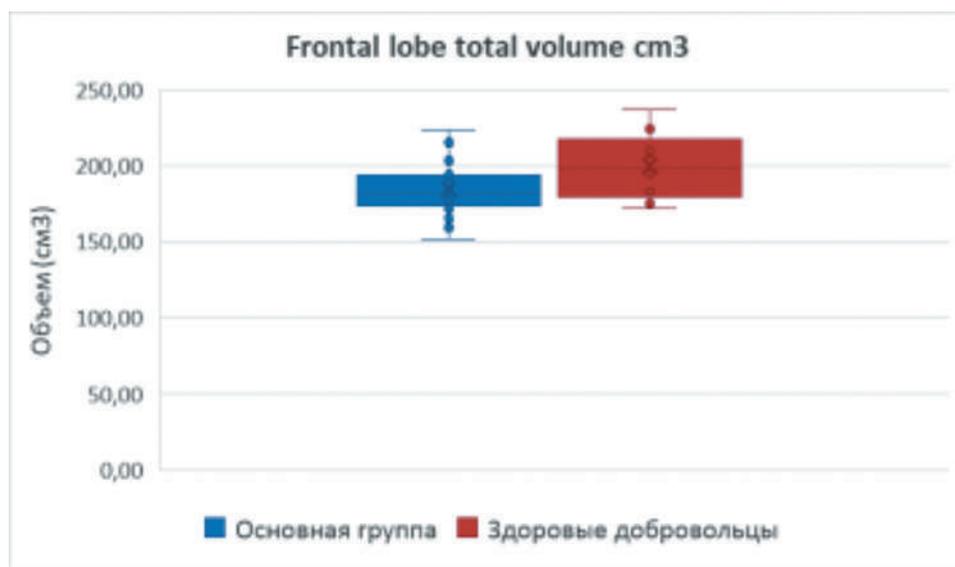


Рис. 7. Общий объем лобной доли, см<sup>3</sup>

Figure 7. The total volume of the frontal lobe, cm<sup>3</sup>

*Общий объем лобной доли.* Медиана у основной группы ниже, что может свидетельствовать о снижении общего объема лобной доли. Разброс данных остается аналогичным.

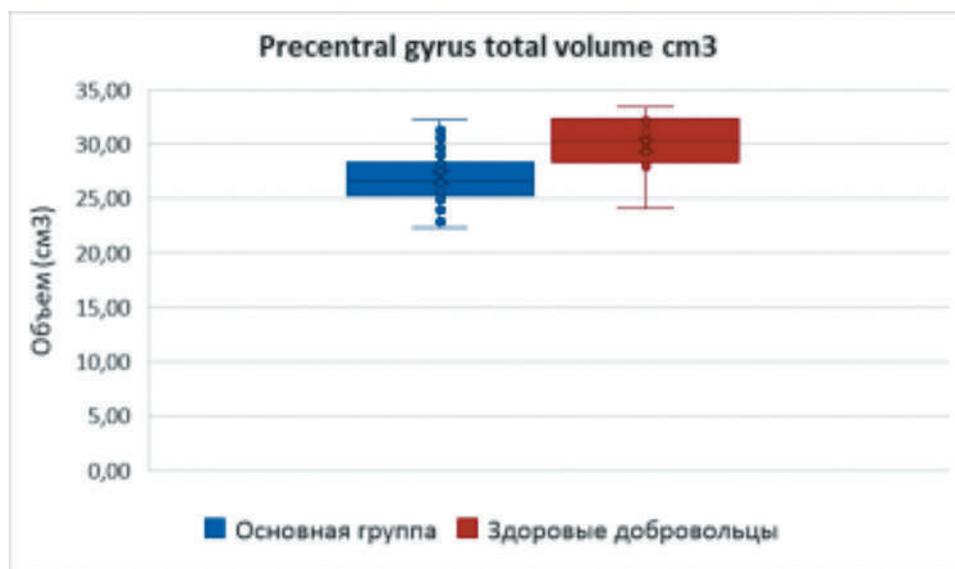


Рис. 8. Общий объем прецентральной извилины, см<sup>3</sup>

Figure 8. Total volume of the precentral gyrus, cm<sup>3</sup>

*Общий объем прецентральной извилины.* Медиана в основной группе ниже, что говорит о снижении объема прецентральной извилины. Вариативность данных схожа в обеих группах.

В группах здоровых добровольцев и пациенток наблюдаются существенные различия по всем исследуемым параметрам. У добровольцев значения показателей выше и более разнообразные, что говорит о большей вариативности в их данных. У пациенток значения более сгруппированы и однородны, с меньшим разбросом.

## ОБСУЖДЕНИЕ

В связи с увеличением выживаемости онкологических больных существует необходимость устранения возможных осложнений, которые могут спровоцировать современные методы лечения. Среди этих побочных эффектов особое беспокойство вызывают те, которые влияют на когнитивные способности и другие функции мозга. Возникновение когнитивных нарушений, вызванных химиотерапией, было продемонстрировано на моделях животных и людях. В последние годы хемомозг привлек внимание как серьезный побочный эффект химиотерапии. Хемомозг является известным состоянием, однако, по-прежнему не разработан единый алгоритм его диагностики. Для оценки состояния головного мозга нами была выбрана методика МР-морфометрии. Она позволяет оценить абсолютный объем той или иной структуры головного мозга и сравнить его с референсными значениями. Однозначным положительным аспектом этой методики является независимость от врача-исследователя, поскольку в обработке данных минимизирован человеческий фактор, что делает полученные данные более объективными и достоверными. Еще одна положительная черта — это отсутствие необходимости набирать большую группу для анализа и сравнения. А в некоторых случаях группа сравнения вообще может не потребоваться. Пакет программ VolBrain позволяет оценить исследование одного субъекта благодаря наличию в базе данных программы обширной библиотеки, насчитывающей более 600 субъектов разного пола и возраста [3]. Такой подход позволяет не дожидаться набора большого числа субъектов для исследования, а работать с малыми группами. Что делает возможным начать лечение и реабилитацию как можно в более ранние сроки. Насколько можно судить, наше исследование является одним из немногих проспективных исследований, посвященных оценке состояния головного мозга и его отдельных структур в когорте молодых и трудоспособных женщин, прошедших лечение по поводу рака молочной железы. Мы обнаружили статистически значимое различие в объемах головного мозга наших пациенток и группы контроля, при

этом отмечается корреляция между уменьшением объемов структур головного мозга в группе лиц после химиотерапии и жалобами пациенток.

В данном исследовании нам не удалось выявить корреляцию между режимом химиотерапии, жалобами и уменьшением объемов структур головного мозга. Вероятно, это связано с применением различных режимов химиотерапии. В дальнейшем мы постараемся расширить группу исследования, обратить большее внимание на режимы химиотерапии, поскольку многие авторы отмечают связь между конкретным химиопрепаратом и теми или иными проявлениями. Так, например, Chen В. Т., Sethi S., Jin T. и их коллеги отмечают, что в группе прошедших лечение циклофосфомидом обнаружено снижение объема височной доли в сравнении со здоровыми добровольцами [12]. Наши данные не противоречат результатам прочих исследований. Так, Inagaki M., Yoshikawa E., Matsuoka Y. и соавторы в своем исследовании выживших после рака молочной железы выявили статистически значимые различия в некоторых областях головного мозга при сравнении групп с применением химиотерапии и без нее. Тем не менее, по прошествии 3 лет данные изменения уже не были обнаружены [13].

Несмотря на малую выборку пациентов, нам удалось выявить статистически достоверные изменения в головном мозге, что делает наше исследование значимым и перспективным. Безусловно, мы продолжим изучать состояние головного мозга в данной когорте пациенток, но уже по прошествии большего времени после окончания лечения, также мы постараемся расширить выборку, чтобы получить собственные данные о возможном восстановлении объема головного мозга и факторах, на него влияющих.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

У пациенток с раком молочной железы выявляются изменения центральной нервной системы после комплексного лечения РМЖ. В нашем исследовании мы применили методику магнитно-резонансной морфометрии. Она позволила нам выявить изменения объемных показателей головного мозга. Мы установили, что после комплексного лечения РМЖ у пациенток отмечается статистически достоверное уменьшение объемов некоторых отделов головного мозга в сравнении с группой здоровых женщин-добровольцев того же возраста. Наличие этих изменений может подтверждать изменения морфологии головного мозга у пациенток с данной нозологией.

**Конфликт интересов / Conflict of interest**

Авторы заявили об отсутствии потенциального конфликта интересов. / The authors stated no conflict of interest.

**Финансирование / Funding**

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (соглашение № 075-15-2022-301 от 20 апреля 2022 г.). / The research was carried out with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Agreement No. 075-15-2022-301 dated April 20, 2022).

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES**

- Bukkiewa T, Pospelova M, Efimtsev A, et al. Microstructural Properties of Brain White Matter Tracts in Breast Cancer Survivors: A Diffusion Tensor Imaging Study. *Pathophysiology* [Internet]. 2022 Dec 1 [cited 2024 Apr 10];29(4):595–609. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36278563/>
- Nikolaeva A, Pospelova M, Krasnikova V, et al. Elevated Levels of Serum Biomarkers Associated with Damage to the CNS Neurons and Endothelial Cells Are Linked with Changes in Brain Connectivity in Breast Cancer Patients with Vestibulo-Atactic Syndrome. *Pathophysiology* 2023, Vol 30, Pages 260–274 [Internet]. 2023 Jun 15 [cited 2024 Apr 10];30(2):260–74. Available from: <https://www.mdpi.com/1873-149X/30/2/22/html>
- Manjón JV, Coupé P. volBrain: An Online MRI Brain Volumetry System. *Front Neuroinform* [Internet]. 2016 Jul 27 [cited 2024 Aug 13];10(JUL). Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27512372/>
- Banker L, Tadi P. Neuroanatomy, Precentral Gyrus. *StatPearls* [Internet]. 2023 Jul 24 [cited 2024 Aug 13]; Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK544218/>
- Silva AB, Liu JR, Zhao L, et al. A Neurosurgical Functional Dissection of the Middle Precentral Gyrus during Speech Production. *J Neurosci* [Internet]. 2022 Nov 9 [cited 2024 Aug 13];42(45):8416–26. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36351829/>
- El-Baba RM, Schury MP. Neuroanatomy, Frontal Cortex. *StatPearls* [Internet]. 2023 May 29 [cited 2024 Aug 13]; Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK554483/>
- Jimshelishvili S, Dididze M. Neuroanatomy, Cerebellum. *StatPearls* [Internet]. 2023 Jul 24 [cited 2024 Aug 13]; Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK538167/>
- Guell X, Schmahmann JD, Gabrieli JDE, Ghosh SS. Functional gradients of the cerebellum. *Elife*. 2018 Aug 14;7.
- Sankey EW, Srinivasan ES, Mehta VA, et al. Perioperative Assessment of Cerebellar Masses and the Potential for Cerebellar Cognitive Affective Syndrome. *World Neurosurg*. 2020 Dec 1;144:222–30.
- Hassan H, Ehsanula H, Pattanshetti M. Stroke of the inferomedial temporal lobe causing word agnosia. *Case Reports* [Internet]. 2017 Jul 26 [cited 2024 Aug 13];2017:bcr-2015-214184. Available from: <https://casereports.bmj.com/content/2017/bcr-2015-214184>
- Carretero RG, Beamonte-Vela BN, Silvano-Cocinero JD, Alvarez-Mendez A. Behavioural changes as the first manifestation of a silent frontal lobe stroke. *BMJ Case Reports CP* [Internet]. 2019 Jan 1 [cited 2024 Aug 13];12(1):bcr-2018-227617. Available from: <https://casereports.bmj.com/content/12/1/bcr-2018-227617>
- Daniel E, Deng F, Patel SK, et al. Altered gyrification in chemotherapy-treated older long-term breast cancer survivors. *Res Sq* [Internet]. 2023 Apr 10 [cited 2024 Aug 13]; Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/PMC10120747/>
- Inagaki M, Yoshikawa E, Matsuoka Y, et al. Smaller regional volumes of brain gray and white matter demonstrated in breast cancer survivors exposed to adjuvant chemotherapy. *Cancer* [Internet]. 2007 Jan 1 [cited 2024 Aug 13];109(1):146–56. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17131349/>
- McDonald BC, Conroy SK, Ahles TA, et al. Gray matter reduction associated with systemic chemotherapy for breast cancer: a prospective MRI study. *Breast Cancer Res Treat* [Internet]. 2010 Oct [cited 2024 Aug 13];123(3):819–28. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20690040/>

**Информация об авторах:**

Николаева Александра Эрнстовна, аспирант кафедры неврологии с клиникой ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России, младший научный сотрудник НИЛ нейроклинической онкологии, НЦМУ «Центр персонализированной медицины», ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России;

Пospelova Мария Львовна, д.м.н., доцент, доцент кафедры неврологии с клиникой, декан факультета довузовского образования и молодежной науки Института медицинского образования ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России, руководитель НИЛ нейроклинической онкологии НЦМУ «Центр персонализированной медицины» ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России;

Красникова Варвара Валерьевна, младший научный сотрудник НИЛ нейроклинической онкологии, НЦМУ «Центр персонализированной медицины», ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России;

Маханова Альбина Мансуровна, младший научный сотрудник НИЛ нейроклинической онкологии, НЦМУ

«Центр персонализированной медицины», ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России;

Тонян Самвел Николаевич, аспирант кафедры неврологии с клиникой ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России;

Ефимцев Александр Юрьевич, д.м.н., доцент, ведущий научный сотрудник НИЛ нейроклинической онкологии НЦМУ «Центр персонализированной медицины», ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России;

Левчук Анатолий Геннадьевич, научный сотрудник НИО лучевой диагностики ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России;

Труфанов Геннадий Евгеньевич, д.м.н., профессор, заведующий кафедрой лучевой диагностики и медицинской визуализации ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России, главный научный сотрудник НИО лучевой диагностики ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России;

Войнов Марк Сергеевич, лаборант-исследователь НИЛ нейроклинической онкологии, НЦМУ «Центр персонализированной медицины», ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России;

Самочерных Константин Александрович, д.м.н., профессор РАН, директор РНХИ им. проф. А. Л. Поленова — филиала ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России;

Алексеева Татьяна Михайловна, д.м.н., профессор, заведующий кафедрой неврологии с клиникой ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России.

#### Authors information:

Nikolaeva Alexandra E., Postgraduate Student at the Department of Neurology, Almazov National Medical Research Centre, Junior Researcher at the Neuroclinical Oncology Research Laboratory, World-Class Research Centre for Personalized Medicine, Almazov National Medical Research Centre;

Pospelova Maria L., MD, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Neurology with Clinic, Dean of the Faculty of Pre-University Education and Youth Science of the Institute of Medical Education of the Almazov National Medical Research Centre, head of the Research Institute of Neuroclinical Oncology of the World-Class Research Centre for Personalized Medicine, Almazov National Medical Research Centre;

Krasnikova Varvara V., Junior Researcher at the Neuroclinical Oncology Research Laboratory, World-Class Research Centre for Personalized Medicine, Almazov National Medical Research Centre;

Mahanova Albina M., Junior Researcher at the Neuroclinical Oncology Research Laboratory, World-Class Research Centre for Personalized Medicine, Almazov National Medical Research Centre;

Tonyan Samvel N., Postgraduate Student at the Department of Neurology, Almazov National Medical Research Centre;

Efimtsev Alexander Yu., Doctor of Medical Sciences, Associate Professor, Lead Researcher at the Neuroclinical Oncology Research Laboratory, World-Class Research Centre for Personalized Medicine, Almazov National Medical Research Centre;

Levchuk Anatoly G., Researcher of the Radiology Research Department, Almazov National Medical Research Centre;

Trufanov Gennady E., Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Department of Radiological Diagnostics and Medical Imaging, Almazov National Medical Research Centre, Chief Researcher of the Radiology Research Department, Almazov National Medical Research Centre;

Voynov Mark S., Research Assistant at the Neuroclinical Oncology Research Laboratory, World-Class Research Centre for Personalized Medicine, Almazov National Medical Research Centre;

Samochernykh Konstantin A., Doctor of Medical Sciences, Professor of the Russian Academy of Sciences, Director of Polenov Russian Scientific Research Institute of Neurosurgery — the branch of Almazov National Medical Research Centre;

Alekseeva Tatyana M., Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Department of Neurology, Almazov National Medical Research Centre.