



## ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

Оригинальная статья

УДК 616-009.7

<https://doi.org/10.52560/2713-0118-2026-1-43-59>

# Оценка изменений миелоархитектоники коры головного мозга у пациентов с классической тригеминальной невралгией

Е. А. Филимонова<sup>1</sup>, А. А. Пашков<sup>2</sup>, В. Д. Шмаенкова<sup>3</sup>, Г. И. Мойсак<sup>4</sup>, Д. А. Рзаев<sup>5</sup>

<sup>1,2,4,5</sup> ФГБУ «Федеральный центр нейрохирургии», Новосибирск, Россия

<sup>1,2,4,5</sup> ФГБОУ «Новосибирский государственный медицинский университет», Новосибирск, Россия

<sup>2</sup> Кафедра систем сбора и обработки данных, Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия

<sup>3-5</sup> Институт медицины и медицинских технологий, Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

<sup>1</sup> <http://orcid.org/0000-0002-1641-502X>

<sup>2</sup> <http://orcid.org/0000-0002-2403-3136>

<sup>3</sup> <http://orcid.org/0009-0007-8486-0567>

<sup>4</sup> <http://orcid.org/0000-0002-3885-3004>

<sup>5</sup> <http://orcid.org/0000-0002-1209-8960>

Автор, ответственный за переписку: Елена Андреевна Филимонова,  
[e.filimonova@ng.nsu.ru](mailto:e.filimonova@ng.nsu.ru)

### Аннотация

**Цель исследования.** Классическая тригеминальная невралгия (ТН) является распространенным хроническим болевым синдромом, патогенез которого не ограничивается системой тройничного нерва. Несмотря на существенный прогресс в изучении ее механизмов, данные о роли морфологических изменений коры головного мозга остаются ограниченными. В настоящем исследовании мы оценивали миелоархитектонику коры с использованием T1w/T2w-картирования — метода постобработки МРТ-изображений. Показатель отношения T1w/T2w считается надежным маркером содержания миелина в коре и в настоящее время рассматривается как перспективный клинический биомаркер.

**Материалы и методы.** В исследование был включен 41 пациент с унилатеральной классической ТН и 40 здоровых добровольцев. Всем участникам исследования была выполнена МРТ головного мозга высокого разрешения с получением 3D T1-ВИ и 3D T2-ВИ. На первом этапе была выполнена автоматическая парцелляция коры головного мозга с исполь-

© Филимонова Е. А., Пашков А. А., Шмаенкова В. Д., Мойсак Г. И., Рзаев Д. А., 2026

зованием программного обеспечения FreeSurfer версии 7.4.1. Затем были построены карты отношения T1w/T2w с помощью пакета MRTool (SPM12). Полученные карты отношения T1w/T2w были корегистрированы с результатами парцелляции коры, после чего для каждого региона были извлечены средние значения в соответствии с атласом Desikan – Killiany. Для статистического анализа были проведены ковариационные анализы (ANCOVA), где в качестве межгруппового фактора рассматривалась принадлежность к группе (пациенты с ТН, здоровые добровольцы), в качестве зависимой переменной — значения отношения T1w/T2w в различных областях коры головного мозга, а возраст и пол пациентов учитывались как ковариаты.

**Результаты.** В группе пациентов с тригеминальной невралгией по сравнению с группой здоровых добровольцев было выявлено статистически значимое снижение средних значений отношения T1w/T2w в областях левого полушария, включая нижнюю теменную долю, перешеек и заднюю часть поясной извилины, латеральную затылочную, парагиппокампульную и прецентральную кору ( $p < 0,05$ , с коррекцией FDR). В правом полушарии снижение значений T1w/T2w наблюдалось в латеральной затылочной, веретенообразной, язычной и поперечной височной коре ( $p < 0,05$ , с коррекцией FDR).

**Заключение и выводы.** Полученные нами результаты указывают на то, что классическая тригеминальная невралгия связана с миелоархитектоническими изменениями в отдельных областях коры головного мозга, что отражает сложный характер патогенеза данного состояния.

**Ключевые слова:** тригеминальная невралгия, МР-морфометрия, FreeSurfer, T1/T2 картирование

**Для цитирования:** Филимонова Е. А., Пашков А. А., Шмаенкова В. Д., Мойсак Г. И., Рзаев Д. А. Оценка изменений миелоархитектоники коры головного мозга у пациентов с классической тригеминальной невралгией // Радиология – практика. 2026;1:43-59. <https://doi.org/10.52560/2713-0118-2026-1-43-59>

#### **Источники финансирования**

Исследование не финансировалось какими-либо источниками.

#### **Конфликт интересов**

Авторы заявляют, что данная работа, ее тема, предмет и содержание не затрагивают конкурирующих интересов. Мнения, изложенные в статье, принадлежат авторам рукописи. Авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

#### **Соответствие принципам этики**

Работа соответствует этическим нормам Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации «Этические принципы проведения научных медицинских исследований с участием человека» с поправками 2008 года и «Правилами клинической практики в Российской Федерации», утвержденными Приказом Минздрава РФ от 19.06.2003.

## ORIGINAL RESEARCH

Original article

# Cortical Myeloarchitectonic Changes in Patients with Classical Trigeminal Neuralgia

Elena A. Filimonova<sup>1</sup>, Anton A. Pashkov<sup>2</sup>, Victorya D. Shmaenkova<sup>3</sup>, Galina I. Moysak<sup>4</sup>, Jamil A. Rzaev<sup>5</sup>

<sup>1,2,4,5</sup> Federal Neurosurgical Center, Novosibirsk, Russia

<sup>1,2,4,5</sup> Novosibirsk State Medical University, Novosibirsk, Russia

<sup>2</sup> Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia

<sup>3-5</sup> Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia

<sup>1</sup> <http://orcid.org/0000-0002-1641-502X>

<sup>2</sup> <http://orcid.org/0000-0002-2403-3136>

<sup>3</sup> <http://orcid.org/0009-0007-8486-0567>

<sup>4</sup> <http://orcid.org/0000-0002-3885-3004>

<sup>5</sup> <http://orcid.org/0000-0002-1209-8960>

Corresponding author: Elena A. Filimonova, e.filimonova@g.nsu.ru

### Abstract

**Objective.** Classic trigeminal neuralgia (TN) is a common chronic pain syndrome whose pathogenesis is not limited to the trigeminal system. Despite significant progress in understanding its mechanisms, data on the role of morphological changes in the cerebral cortex remain limited. In this study, we assessed cortical myeloarchitecture using T1w/T2w mapping, a post-processing method for MRI images. The T1w/T2w ratio is considered a reliable marker of myelin content in the cortex and is currently being explored as a promising clinical biomarker.

**Materials and Methods.** The study involved 41 patients with unilateral classical TN and 40 healthy volunteers. All participants underwent high-resolution brain MRI with 3D T1-weighted and 3D T2-weighted images. In the first stage, automatic cortex par-cellation was performed using FreeSurfer version 7.4.1 software. T1w/T2w ratio maps were then constructed using the MRTTool (SPM12) package. The resulting T1w/T2w ratio maps were coregistered with the cortex parcellation results, after which mean values were extracted for each region according to the Desikan – Killiany atlas. For statistical analysis, analyses of covariance (ANCOVA) were performed, where group membership (patients with TN, healthy volunteers) was considered as an intergroup factor, the T1w/T2w ratio values in different areas of the cerebral cortex were considered as a dependent variable, and the age and gender of the patients were taken into account as covariates.

**Results.** In the group of patients with trigeminal neuralgia, compared with the group of healthy volunteers, a statistically significant decrease in the mean T1w/T2w ratio was found in the regions of the left hemisphere, including the inferior parietal lobule, isthmus and posterior cingulate gyrus, lateral occipital, parahippocampal, and precen-tral cortex ( $p < 0.05$ , FDR-corrected). In the right hemisphere, a decrease in T1w/T2w values was observed in the lateral occipital, fusiform, lingual, and transverse temporal cortex ( $p < 0.05$ , FDR-corrected).

**Conclusion.** Our results indicate that classical trigeminal neuralgia is associated with myeloarchitectonic changes in individual areas of the cerebral cortex, reflecting the complex nature of the pathogenesis of this condition.

**Keywords:** Trigeminal Neuralgia, MR-morphometry, FreeSurfer, T1w/T2w-mapping

**For citation:** Filimonova E. A., Pashkov A. A., Shmaenkova V. D., Moysak G. I., Rzaev J. A. Cortical Myeloarchitectonic Changes in Patients with Classical Trigeminal Neuralgia. *Radio-logy – Practice*. 2026;1:43-59. (In Russ.). <https://doi.org/10.52560/2713-0118-2026-1-43-59>

### **Funding**

The study was not funded by any sources.

### **Conflicts of Interest**

The authors state that this work, its topic, subject and content do not affect competing interests. The opinions expressed in the article belong to the authors of the manuscript. The authors confirm the compliance of their authorship with the international ICMJE criteria (all authors have made a significant contribution to the development of the concept, the preparation of the article, read and approved the final version before publication).

### **Compliance with Ethical Standards**

The work complies with the ethical standards of the Helsinki Declaration of the World Medical Association «Ethical Principles of conducting scientific medical research with human participation» as amended in 2008 and the «Rules of Clinical Practice in the Russian Federation» approved by the Order of the Ministry of Health of the Russian Federation dated 06/19/2003.

## **Введение**

Первичная тригеминальная невралгия (ПТН) является распространенным хроническим болевым синдромом [28], характеризующимся приступами внезапной и интенсивной боли вдоль ветвей тройничного нерва [2]. Основной причиной ПТН считается нейроваскулярный конфликт (классическая ТН), однако в некоторых случаях структурные изменения корешка, ветвей или ядер нерва не выявляются (идиопатическая форма ТН). Хирургическое лечение считается эффективным у пациентов с ПТН при недостаточной эффективности медикаментозного контроля боли [28]. Тем не менее у части пациентов после операции не наблюдается улучшения, а в некоторых случаях состояние может ухудшаться, что требует рассмотрения альтернативных методов лечения [2, 12].

МРТ головного мозга играет ключевую роль в диагностике ТН, предоставляя детальную информацию об анатомии задней черепной ямки, что позволяет определить причину ТН и разработать

соответствующий план лечения [2, 13, 14]. Однако данные последних лет показывают, что хроническая пароксизмаль-ная боль у пациентов с ТН приводит к структурным и функциональным изменениям головного мозга, выходящим за пределы системы тройничного нерва. Предыдущие исследования, основанные на методах МР-морфометрии, выявили специфические структурные изменения в различных отделах головного мозга при ТН [7, 18]. Например, недавно были показаны изменения объема серого вещества в отдельных ядрах таламуса у пациентов с ТН [25], изменения объема отдельных полей гиппокампа [5], а также вовлечение коры головного мозга в процессы хронической боли [7, 17].

T1w/T2w-картирование (T1w/T2w mapping, расчет отношения сигнала T1-ВИ к T2-ВИ) представляет собой неинвазивный метод, применяемый в том числе для оценки миелоархитектоники коры головного мозга. Метод основан на разных механизмах контрастности T1w- и T2w-изображений: интенсивность сигнала на T1w-изображениях увели-

чивается с ростом содержания миелина и макромолекул, тогда как сигнал на T2w-изображениях снижается вследствие укорочения времени поперечной релаксации в миелинизированных тканях. Деление T1w-интенсивности на T2w-интенсивность для каждого вокселя усиливает контраст, связанный с миелином, и одновременно снижает влияние неоднородности магнитного поля и артефактов, связанных со сканером [6, 9].

Таким образом, соотношение T1w/T2w рассматривается как косвенный маркер содержания миелина в коре и отражает микроструктурные различия между отдельными регионами. Было показано, что пространственное распределение значений T1w/T2w хорошо соответствует известным паттернам миелоархитектоники, полученным при гистологических исследованиях, с более высокими значениями в первичных сенсорных и моторных зонах и более низкими — в ассоциативных отделах коры [8, 10, 26].

По сравнению с другими МР-модальностями, чувствительными к миелину, такими как изображения с переносом намагниченности или картирование водной фракции миелина, метод T1w/T2w-картирования является гораздо более доступным, поскольку может выполняться на основе стандартных структурных T1- и T2-взвешенных изображений [24]. Это делает его ценным инструментом для исследований, направленных на оценку изменений миелинизации в процессе нормального развития мозга, старения, демиелинизирующих и сосудистых заболеваний [3, 4, 19]. Кроме того, применение T1w/T2w-картирования может быть перспективным в оценке процессов нейропластичности, связанных с функциональной перестройкой нейронных сетей, в том числе при длительной ноцицептивной стимуляции, когнитивных нарушениях и нейропсихиатрических расстройствах [11]. Метод сочетает чувствительность к изменениям миелина с простотой применения, что способ-

ствует его широкому внедрению в рутинные исследования.

На сегодняшний день нет опубликованных исследований, посвященных изменениям миелоархитектоники коры головного мозга у пациентов с ТН. В связи с этим целью нашего исследования было изучение различий в показателях T1w/T2w-картирования, отражающих степень миелинизации различных участков коры головного мозга, между пациентами с классической формой ТН и группой здорового контроля. Мы выдвинули гипотезу о том, что у пациентов с ТН наблюдаются изменения миелоархитектоники коры, свидетельствующие о нарушениях кортикальной микроструктуры. Кроме того, предполагалось, что показатели T1w/T2w-соотношения коррелируют с длительностью заболевания, степенью нейроваскулярного конфликта и выраженностью болевого синдрома, что может отражать участие корковых процессов в формировании и поддержании хронической боли при тригеминальной невралгии.

## Материалы и методы

### Участники исследования

В исследование были включены пациенты с диагнозом «классическая ТН» (41 человек), которым выполнялось хирургическое лечение в нашем центре в период с января 2022 по май 2025 года, а также группа здоровых добровольцев, сопоставимых по возрасту и полу (40 человек). Всем участникам была выполнена МРТ головного мозга высокого разрешения. Критериями включения для пациентов с ТН были:

- 1) диагноз «классическая форма ТН», установленный в соответствии с Международной классификацией головных болей, 3-е издание [23];
- 2) возраст от 18 до 80 лет;
- 3) наличие МРТ-данных высокого качества.

Критериями исключения (для обеих групп) были:

- 1) сочетание ТН с другими болевыми синдромами;
- 2) вторичная форма ТН;
- 3) двусторонняя ТН;
- 4) неврологические, психиатрические, сердечно-сосудистые или онкологические сопутствующие заболевания;
- 5) наличие нейрохирургических вмешательств в анамнезе;
- 6) признаки болезни мелких сосудов по данным МРТ (оценка по шкале Fazekas > 1);
- 7) низкое качество МРТ-данных.

Процесс отбора пациентов представлен на рис. 1. Каждый участник предоставил письменное информированное согласие на участие в исследовании. Исследование проводилось в соответствии с Хельсинкской декларацией и было одобрено локальным этическим комитетом Федерального центра нейрохирургии, г. Новосибирск, Россия (протокол № 7 от 25.05.2021).

### Оценка интенсивности боли

Для оценки выраженности болевых ощущений у пациентов использовался краткий опросник боли Brief Pain Inventory (BPI) [27]. Этот метод основан на 11-балльной числовой рейтинговой шкале, по которой пациент оценивает минимальную, максимальную и среднюю интенсивность боли за последнюю неделю. Для последующего анализа использовались средние значения показателя BPI.

### Получение данных МРТ

Магнитно-резонансная томография выполнялась на системе с напряженностью магнитного поля 3 Тл (Ingenia, Philips Healthcare, Нидерланды), оснащенной 16-канальной приемной катушкой для головы и шеи. Протокол МРТ включал стандартные последовательности (подробности приведены в табл. 1), а также 3D T1-WI и 3D T2-WI высокого

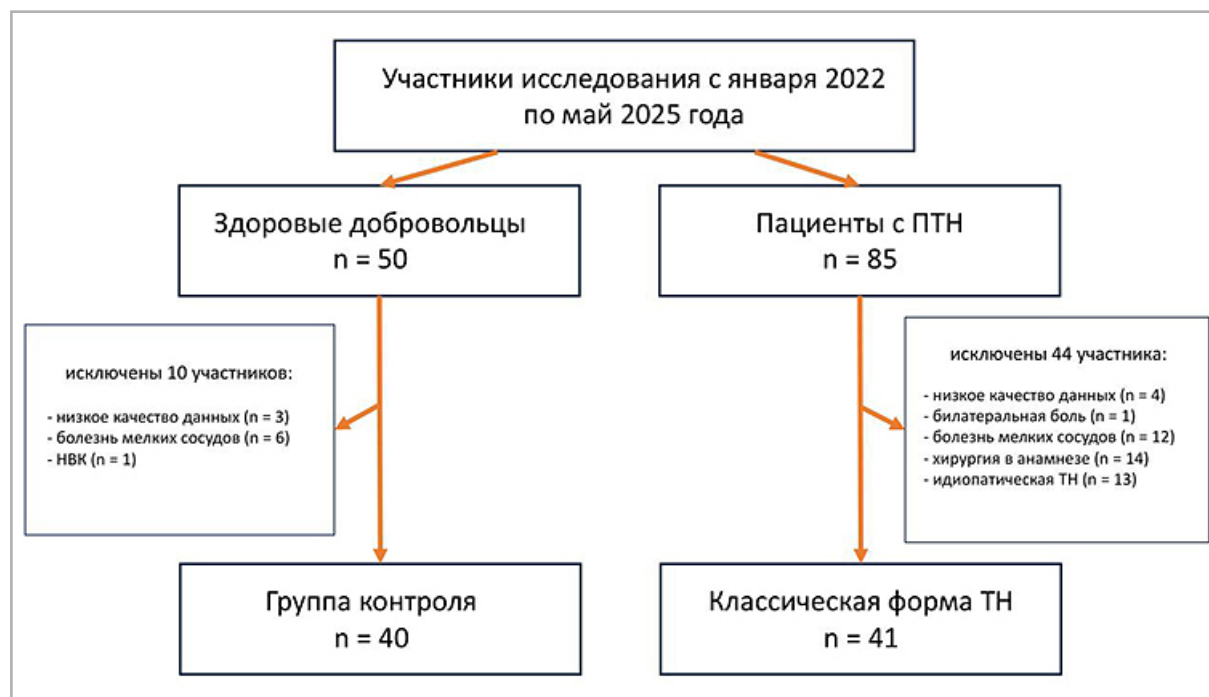


Рис. 1. Схема отбора участников исследования. Всего в исследование, проводившееся с января 2022 по май 2025 года, были включены 135 человек: 85 пациентов с первичной тригеминальной невралгией (ПТН) и 50 здоровых добровольцев. После исключения участников с низким качеством данных, признаками болезни мелких сосудов, двусторонней болью, хирургическими вмешательствами в анамнезе и идиопатической формой ТН в окончательный анализ были включены 41 пациент с классической формой ТН и 40 здоровых добровольцев, составивших контрольную группу

Таблица 1

**Параметры МРТ-протокола**

	<b>T1-ВИ</b>	<b>T2-ВИ</b>	<b>FLAIR</b>	<b>DRIVE</b>	<b>TOF</b>	<b>DWI</b>
Тип последовательности	3D TFE	3D TSE	3D TSE	3D	3D	2D EPI
Плоскость сбора данных	Аксиальная	Сагиттальная	Сагиттальная	Аксиальная	Аксиальная	Аксиальная
TR (мс)	6,7	3500	4800	1500	23	3800
TE (мс)	2,98	300	340	180	3,45	90
Угол поворота	8	90	90	90	18	90
Матрица	256 × 256	256 × 256	228 × 228	352 × 350	464 × 326	128 × 128
Поле обзора (мм)	256	256	256	140	200	256
Толщина среза (мм)	1	1	1,2	0,5	0,8	4
Количество срезов	192	360	140	80	160	26
Время инверсии (мс)	—	—	1650	—	—	—
Значения В-фактора	—	—	—	—	—	0, 500, 1000
Время получения данных (мин : с)	6 : 11	5 : 19	4 : 24	4 : 30	4 : 57	2 : 05

разрешения. Параметры 3D T1-WI (сканирование в сагиттальной плоскости) были следующими: TR — 6,7 мс; TE — 2,98 мс; FOV — 256 × 256 мм; flip angle — 8°; матрица — 256 × 256; толщина среза — 1 мм. Параметры 3D T2-WI (сканирование в сагиттальной плоскости): TR — 3500 мс; TE — 300 мс; FOV — 256 × 256 мм; flip angle — 90°; матрица — 256 × 256; толщина среза — 1 мм. Общее время сканирования составляло около 30 мин.

**Процессинг данных МРТ**

3D T1-ВИ высокого разрешения были подвергнуты автоматической сегментации в программе [FreeSurfer 7.2.0](#) с применением алгоритма парцелляции коры головного мозга в соответствии с атласом Desikan — Kelliany. Параллельно выполнялся расчет и построение карт отношения T1w/T2w-сигнала в пакете [MRTool](#) на основе [SPM12](#). Затем полученные карты отношения T1w/T2w были корегистрованы с масками пар-

целляции коры с последующим извлечением значений для каждого региона. В каждом случае результаты автоматической сегментации и последующей корегистрации были визуально проверены сертифицированным нейрорадиологом. Наличие и степень выраженности нейроваскулярного конфликта между цистернальной частью корешка тройничного нерва и сосудистыми структурами (артерией или веной) оценивались нейрорадиологом по классификации Sindou [16]. Иллюстрация процедуры обработки данных представлена на рис. 2.

**Статистическая обработка данных**

Статистический анализ выполнялся в [программном обеспечении R](#). Распределение данных соответствовало нормальному (тест Шапиро — Уилка). Для оценки различий в параметрах миелоархитектоники выполнялся ковариационный анализ (ANCOVA), в котором

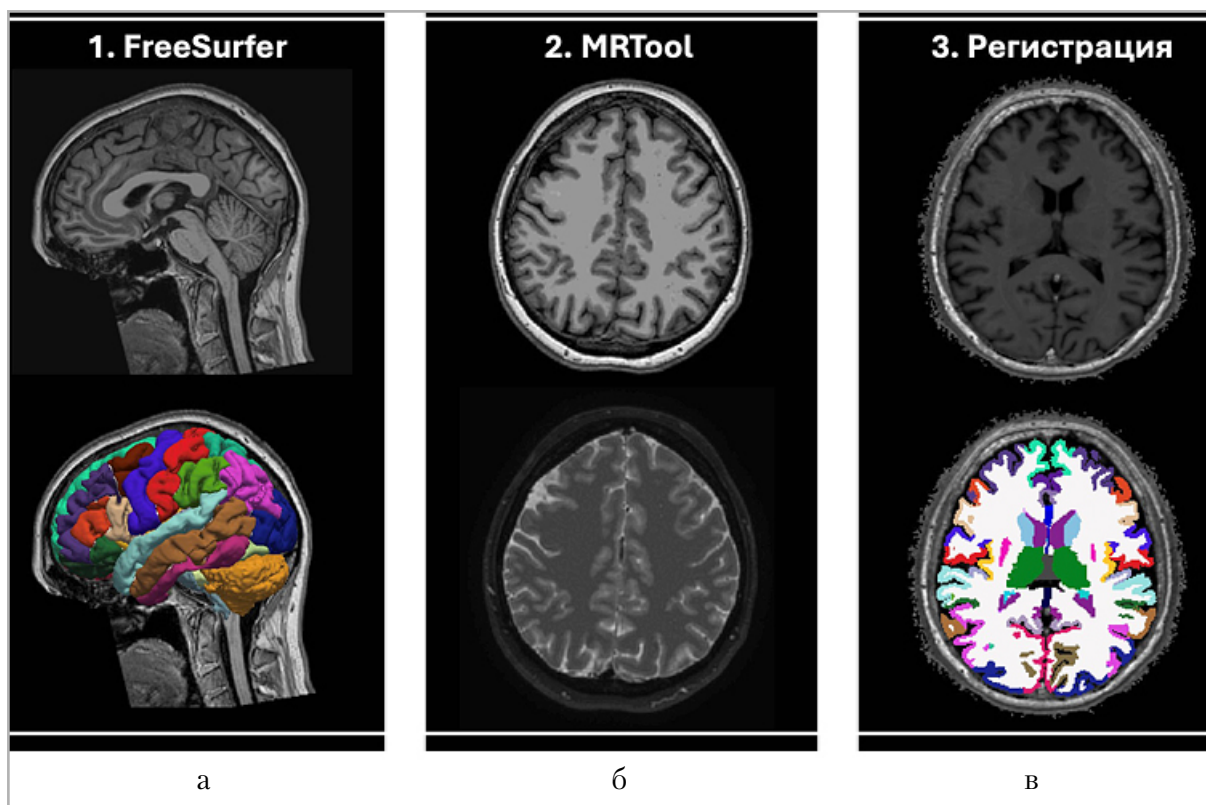


Рис. 2. Иллюстрация постпроцессинга МРТ-изображений: *а* — автоматическая парцелляция коры больших полушарий на основе 3D T1-WI высокого разрешения в программе FreeSurfer v7.2.0; *б* — расчет карт отношения T1w/T2w в пакете MRTool; *в* — регистрация карт отношения T1w/T2w и результатов парцелляции коры с последующим извлечением значений

в качестве межгруппового фактора рассматривалась принадлежность к группе (ПТН или контроль), в качестве зависимых переменных — значения отношения T1w/T2w в различных регионах коры, а возраст и пол учитывались как ковариаты. Кроме того, проводился корреляционный анализ Пирсона между значениями отношения T1w/T2w в различных регионах коры, выраженностью боли и длительностью заболевания. Значение  $p < 0,05$  считалось статистически значимым (с FDR-коррекцией).

## Результаты

### Клинические и демографические характеристики выборки

В исследование были включены 41 пациент с классической формой ТН (18 мужчин и 23 женщины, возраст от 31 до

74 лет, средний возраст — 55,7 года) и 40 здоровых добровольцев (15 мужчин и 25 женщин, возраст от 41 до 75 лет, средний возраст — 56,5 лет). Клинические и демографические характеристики участников представлены в табл. 2. Между группами ТН и здорового контроля не было выявлено статистически значимых различий по возрасту ( $p > 0,1$ ) и полу ( $p > 0,1$ ). Частота вазогенных изменений белого вещества, соответствующих 1 баллу по шкале Fazekas, также не различалась между группами ( $p > 0,1$ ). Среди пациентов с ТН у 25 боль отмечалась справа, у 16 — слева. Выраженность нейроваскулярного конфликта по классификации Sindou соответствовала степени 1 у 12 пациентов, степени 2 — у 15 пациентов и степени 3 — у 14 пациентов. Медианная длительность заболевания составила 7 лет (IQR = 7), а медианная

Таблица 2

**Участники исследования**

	<b>Группа классической ТН (n = 41)</b>	<b>Контрольная группа (n = 40)</b>	<b>p-значение</b>
Пол (соотношение М : Ж)	0,8 : 1	0,6 : 1	p > 0,1
Возраст (лет)	55,7 ± 11,3	56,5 ± 6,6	p > 0,1
Сторона болевого синдрома	Справа – 25 пациентов Слева – 16 пациентов	NA	–
Длительность заболевания (лет) М (IQR)	7 (7)	NA	–
Средняя интенсивность боли (BPI) М (IQR)	5 (3)	NA	–
Степень тяжести компрессии корешка (классификация Sindou)	1-я степень – 12 пациентов 2-я степень – 15 пациентов 3-я степень – 14 пациентов	NA	–

*Примечание:* BPI – опросник Brief Pain Inventory; НВК – нейроваскулярный конфликт; ТН – тригеминальная невралгия; NA – не применяется.

средняя интенсивности боли – 5 баллов (IQR = 3) по опроснику BPI.

**Различия в показателе отношения сигнала T1w/T2w в различных регионах коры головного мозга между пациентами с ТН и контрольной группой**

Было выявлено достоверное снижение параметра T1w/T2w у пациентов с классической формой тригеминальной невралгии в сравнении с группой здоровых добровольцах в таких регионах левого полушария, как нижняя теменная доля, перешеек и задние отделы поясной извилины, парагиппокампальная извилина, прецентральная извилина и латеральная затылочная кора (p < 0,05 во всех случаях, после FDR-коррекции, рис. 3). В правом полушарии было выявлено достоверное снижение параметра T1w/T2w в язычной, веретенообразной извилинах, латеральной затылочной коре и поперечной височной извилине (p < 0,05 во всех случаях, после FDR-коррекции, рис. 4). На рис. 5 представлены 3D-модели больших полуша-

рий головного мозга с теми регионами коры, в которых были зарегистрированы различия между группами. В остальных регионах коры достоверных различий в параметре T1w/T2w между группами выявлено не было.

**Взаимосвязь между значениями показателя T1w/T2w в коре и выраженностью нейроваскулярного конфликта**

Статистически достоверных корреляций между выраженностью нейроваскулярного конфликта и значениями параметра T1w/T2w в проанализированных регионах коры головного мозга выявлено не было (p > 0,1 для всех сравнений, не показано).

**Взаимосвязь между значениями показателя T1w/T2w в коре, длительностью заболевания и выраженностью болевого синдрома**

Статистически достоверных корреляций между выраженностью болевого синдрома, длительностью заболевания и

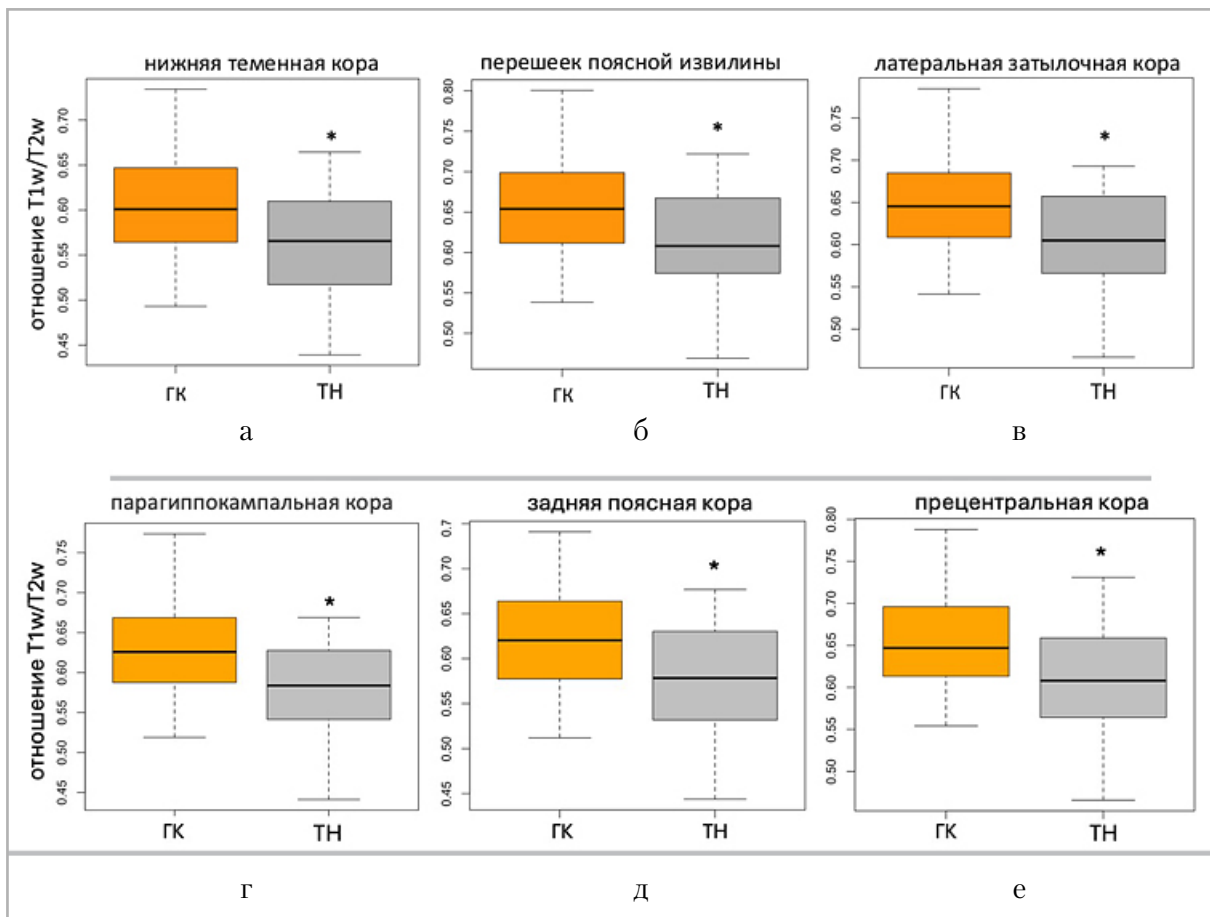


Рис. 3. Различия в параметре T1w/T2w между группами, левое полушарие (результаты ANCOVA): а – нижняя теменная кора; б – перешеек поясной извилины; в – латеральная затылочная кора; г – парагиппокампальная кора; д – задняя поясная кора; е – прецентральная кора

Примечание: ГК – группа контроля; ТН – группа пациентов с тригеминальной невралгией; \* –  $p < 0,05$ .

значениями параметра T1w/T2w в проанализированных регионах коры головного мозга выявлено также не было ( $p > 0,1$  для всех сравнений, не показано).

## Обсуждение

Оценка степени и выраженности структурных и функциональных изменений головного мозга у пациентов с хронической болью является важным направлением исследований в данной области. Настоящее исследование было направлено на сравнительный анализ параметра отношения сигнала T1w/T2w в кортикальной пластинке между пациентами с ТН и группой здорового контроля (ГК). Насколько нам известно, это первое исследование, в котором

предпринята попытка изучения миелоархитектоники коры головного мозга у пациентов с ТН. Полученные результаты подтверждают предположение о том, что патобиология ТН выходит за пределы системы тройничного нерва, приводя к структурным изменениям в различных отделах головного мозга, в том числе в коре больших полушарий.

Результаты настоящего исследования демонстрируют снижение показателя T1w/T2w, отражающего степень миелинизации коры головного мозга, у пациентов с классической формой ТН по сравнению со здоровыми добровольцами. Изменения наблюдались в нижней теменной доле, прецентральной, парагиппокампальной, язычной, верете-

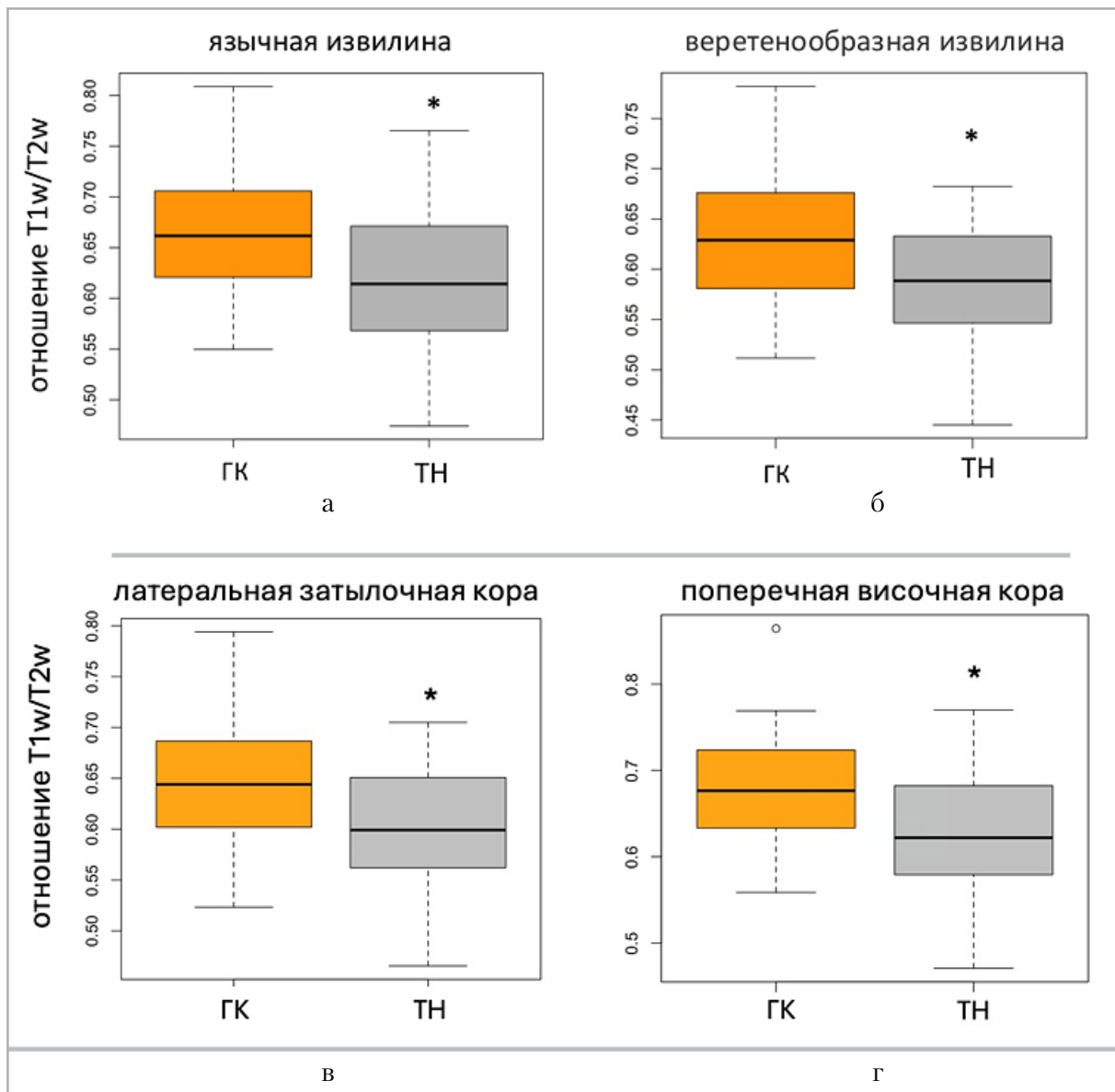


Рис. 4. Различия в параметре T1w/T2w между группами, правое полушарие (результаты ANCOVA): а – кора язычной извилины; б – кора веретенообразной извилины; в – латеральная затылочная кора; г – поперечная височная кора

Примечание: ГК – группа контроля; ТН – группа пациентов с тригеминальной невралгией; \* –  $p < 0,05$ .

нообразной и поясной извилинах, а также в латеральной затылочной и поперечной височной коре, что указывает на вовлечение в патологический процесс как сенсомоторных, так и ассоциативно-лимбических областей. Эти данные согласуются с современными представлениями о том, что хроническая пароксизмальная боль при ТН не ограничивается поражением периферических структур тройничного нерва, но сопро-

вождается сложными структурными перестройками ЦНС, включающими кортикальные и подкорковые уровни [7].

Обнаруженные изменения миелоархитектоники могут отражать микроструктурные нарушения коры головного мозга, обусловленные длительной ноцицептивной стимуляцией. Снижение отношения T1w/T2w может свидетельствовать о снижении плотности миелина или изменении соотношения

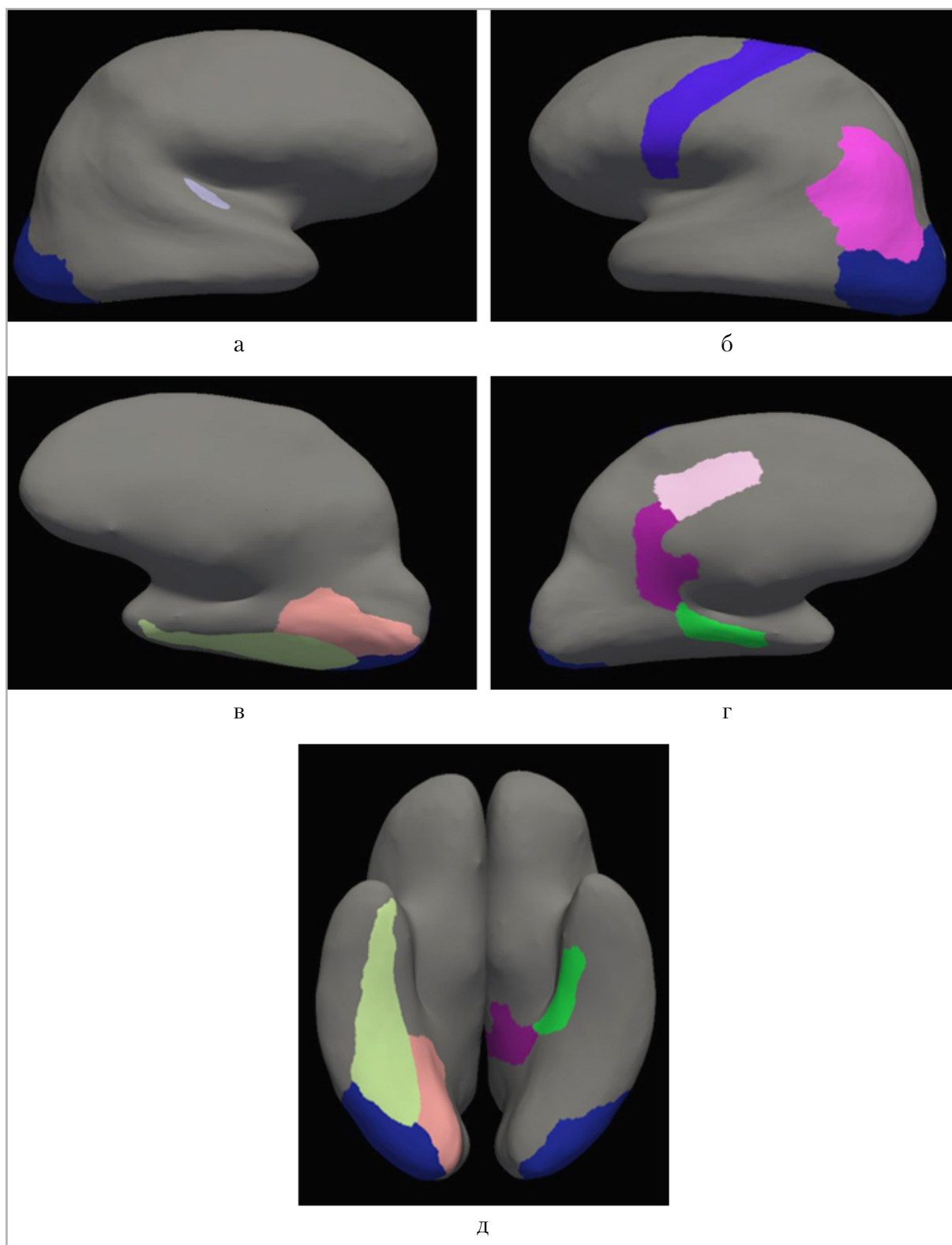


Рис. 5. Иллюстрация регионов коры с выявленными изменениями миелоархитектоники: *а* — правое полушарие, конвексальная поверхность; *б* — левое полушарие, конвексальная поверхность; *в* — правое полушарие, медиальная поверхность; *г* — левое полушарие, медиальная поверхность; *д* — оба полушария, базальная поверхность. Цвета: *лавандовый* — поперечная височная кора; *темно-синий* — латеральная затылочная кора; *синий* — прецентральная кора; *розовый* — нижняя теменная доля; *оранжевый* — язычная извилина; *желтый* — веретенообразная извилина; *светло-розовый* — задняя поясная кора; *сиреневый* — перешеек поясной извилины; *зеленый* — парагиппокампальная извилина

миелин/вода, что потенциально отражает процессы демиелинизации, глияльной перестройки или нейроваскулярных изменений, индуцированных хронической болью [1, 22]. Ранее подобные феномены были описаны при хронических болевых синдромах иной этиологии, включая мигрень, фибромиалгию и постгерпетическую невралгию, где отмечались структурные и функциональные изменения в сенсомоторных и лимбических зонах [21, 29].

Особый интерес представляет вовлечение поясной извилины и парагиппокампальной области, которые связаны с интеграцией сенсорных и эмоциональных компонентов боли. Изменение миелоархитектоники в этих регионах может отражать процессы нейропластичности, направленные на модуляцию восприятия боли и эмоционального реагирования [15, 20]. Наблюдаемое снижение отношения T1w/T2w в прецентральной коре может указывать на изменения моторных сетей, участвующих в формировании двигательных реакций на болевые стимулы.

Отсутствие статистически значимых корреляций между показателем T1w/T2w и клиническими характеристиками — выраженностью боли, длительностью заболевания и степенью нейроваскулярного конфликта — может иметь несколько объяснений. Во-первых, паттерн кортикальных изменений, вероятно, отражает относительно стабильные нейропластические перестройки, не зависящие от текущей интенсивности боли. Во-вторых, связь между структурными и клиническими параметрами может быть нелинейной или проявляться лишь при определенных пороговых значениях. В-третьих, на вариабельность данных могут влиять индивидуальные различия в компенсаторных механизмах и длительности медикаментозной терапии. Наконец, можно предположить, что малый размер и клиническая гетерогенность выборки

привели к недостаточной статистической мощности для выявления обсуждаемых корреляций, что указывает на необходимость дальнейших исследований в этой области.

Таким образом, полученные результаты подтверждают гипотезу о вовлечении кортикальных структур в патогенез тригеминальной невралгии. Снижение T1w/T2w-соотношения в сенсомоторных и ассоциативных областях коры может рассматриваться как нейровизуализационный маркер хронической боли и отражать процессы центральной сенситизации.

Исследование имеет ряд ограничений. Во-первых, мы не учитывали в анализе отдельные факторы, такие как: сторона боли; тип сосуда, вызывающего компрессию (артерия или вена); а также тип боли (пароксизмальная или персистирующая). Во-вторых, все пациенты получали фармакологическую терапию на момент сканирования (некоторые — на протяжении длительного времени), что могло оказать влияние на результаты. Кроме того, стоит отметить, что метод T1w/T2w-картирования зависит от параметров МР-сканирования и методов коррекции неоднородностей поля [6, 9]. Таким образом, применение методик картирования макромолекулярной протонной фракции или картирования водной фракции миелина позволило бы уточнить полученные результаты. Тем не менее предыдущие исследования показали, что T1w/T2w-картирование не уступает другим методам картирования миелина для оценки миелоархитектоники кортикальной пластинки [30]. Однако очевидно, что для подтверждения полученных результатов необходимо проведение дальнейших исследований, включающих методики комплексного нейропсихологического тестирования, а также использование современных статистических методов, технологий нейровизуализации и методов постпроцессинга.

## Заключение

Наше исследование впервые показало наличие изменений миелоархитектоники коры головного мозга у пациентов с классической тригеминальной невралгией, выявленных методом T1w/T2w-картирования. Снижение показателя T1w/T2w в ряде сенсомоторных и ассоциативных областей свидетельствует о вовлечении кортикальных структур в патогенез хронической лицевой боли и подчеркивает необходимость комплексного подхода к изучению и лечению данного заболевания.

## Список источников / References

1. Arshad M., Stanley J. A., Raz N. Adult age differences in subcortical myelin content are consistent with protracted myelination and unrelated to diffusion tensor imaging indices. *Neuroimage*. 2016;143:26-39. [DOI](#)
2. Chong M. S., Bahra A., Zakrzewska J. M. Guidelines for the management of trigeminal neuralgia. *Cleve Clin. J. Med.* 2023; 90(6):355-362. [DOI](#)
3. Filimonova E., Ovsiannikov K., Sosnov A., Perfilyev A., Gafurov R., Galaktionov D., Bervickiy A., Kiselev V., Rzaev J. Myelin damage and cortical atrophy in watershed regions in patients with moyamoya angiopathy. *Frontiers in Neuroscience*. 2022;16. [DOI](#)
4. Filimonova E., Ovsiannikov K., Sosnov A., Perfilyev A., Gafurov R., Galaktionov D., Bervickiy A., Kiselev V., Rzaev J. Myelin damage and cortical atrophy in water-shed regions in patients with moyamoya angiopathy. *Front. Neurosci.* 2022;16:982829. [DOI](#)
5. Filimonova E., Pashkov A., Moysak G., Martirosyan A., Rzaev J. Hippocampal Subfield Abnormalities in Patients With Primary Trigeminal Neuralgia. *J. Neuroimaging*. 2025;35(1):e70026. [DOI](#)
6. Ganzetti M., Wenderoth N., Mantini D. Whole brain myelin mapping using T1- and T2-weighted MR imaging data. *Frontiers in Human Neuroscience*. 2014; 8:671. [DOI](#)
7. Ge X., Wang L., Pan L., Ye H., Zhu X., Fan S., Feng Q., Du Q., Yu W., Ding Z. Alteration of the cortical morphology in classical trigeminal neuralgia: voxel-, deformation-, and surface-based analysis. *J. Headache. Pain*. 2023;24(1):17. [DOI](#)
8. Glasser M. F., Goyal M. S., Preuss T. M., Raichle M. E., Van Essen D. C. Trends and properties of human cerebral cortex: correlations with cortical myelin content. *Neuroimage*. 2014;93 Pt 2:165-75. [DOI](#)
9. Glasser M. F., Van Essen D. C. Mapping human cortical areas in vivo based on myelin content as revealed by T1- and T2-weighted MRI. *J. Neurosci.* 2011;31 (32):11597-616. [DOI](#)
10. Grydeland H., Walhovd K. B., Tamnes C. K., Westlye L. T., Fjell A. M. Intracortical myelin links with performance variability across the human lifespan: results from T1- and T2-weighted MRI myelin mapping and diffusion tensor imaging. *J. Neurosci.* 2013;33(47):18618-30. [DOI](#)
11. Hagiwara A., Hori M., Kamagata K., Warntjes M., Matsuyoshi D., Nakazawa M., Ueda R., Andica C., Koshino S., Mae-kawa T., Irie R., Takamura T., Kumamaru K. K., Abe O., Aoki S. Myelin Measurement: Comparison Between Simultaneous Tissue Relaxometry, Magnetization Transfer Saturation Index, and T1w/T2w Ratio Methods. *Sci. Rep.* 2018; 8(1):10554. [DOI](#)
12. Huang Z., Pu B., Li F., Liu K., Hua C., Li C., Zhao C., Li J., Li X. Analysis of Failed Microvascular Decompression in Patients with Trigeminal Neuralgia. *J. Neurol. Surg. B Skull Base*. 2020;81(5):567-571. [DOI](#)
13. Hughes M. A., Frederickson A. M., Branstetter B. F., Zhu X., Sekula R. F. Jr. MRI of the Trigeminal Nerve in Patients With Trigeminal Neuralgia Secondary to Vascular Compression. *AJR Am. J. Roentgenol.* 2016;206(3):595-600. [DOI](#)
14. Kontzialis M., Kocak M. Imaging evaluation of trigeminal neuralgia. *J. Istanbul*

- Univ Fac Dent.* 2017;51(3 Suppl 1): S62-S68. [DOI](#)
15. Kucyi A., Davis K. D. The dynamic pain connectome. *Trends Neurosci.* 2015;38(2):86-95. [DOI](#)
  16. Leal P. R., Hermier M., Froment J. C., Souza M. A., Cristino-Filho G., Sindou M. Preoperative demonstration of the neurovascular compression characteristics with special emphasis on the degree of compression, using high-resolution magnetic resonance imaging: a prospective study, with comparison to surgical findings, in 100 consecutive patients who underwent microvascular decompression for trigeminal neuralgia. *Acta Neurochir. (Wien).* 2010;152(5):817-25. [DOI](#)
  17. Li M., Yan J., Wen H., Lin J., Liang L., Li S., Xie S., Li W., Lin C., Jiang G. Cortical thickness, gyrification and sulcal depth in trigeminal neuralgia. *Sci. Rep.* 2021;11(1):16322. [DOI](#)
  18. Liu H., Hou H., Li F., Zheng R., Zhang Y., Cheng J., Han S. Structural and Functional Brain Changes in Patients With Classic Trigeminal Neuralgia: A Combination of Voxel-Based Morphometry and Resting-State Functional MRI Study. *Front. Neurosci.* 2022;16:930765. [DOI](#)
  19. Margoni M., Pagani E., Meani A., Storelli L., Mesaros S., Drulovic J., Barkhof F., Vrenken H., Strijbis E., Gallo A., Bisecco A., Pareto D., Sastre-Garriga J., Ciccarella O., Yiannakas M., Palace J., Preziosa P., Rocca M. A., Filippi M. Exploring in-vivo brain microstructural damage in multiple sclerosis through T1w/T2w-ratio mapping: a multicenter study. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry.* 2002;93(7):741-752. [DOI](#)
  20. May A. Structural brain imaging: a window into chronic pain. *Neuroscientist.* 2011;17(2):209-20. [DOI](#)
  21. Mouraux A., Bannister K., Becker S., Finn D. P., Pickering G., Pogatzki-Zahn E., Graven-Nielsen T. Challenges and opportunities in translational pain research – An opinion paper of the working group on translational pain research of the European pain federation (EFIC). *Eur. J. Pain.* 2021;25(4):731-756. [DOI](#)
  22. Nakamura K., Chen J. T., Ontaneda D., Fox R. J., Trapp B. D. T1-/T2-weighted ratio differs in demyelinated cortex in multiple sclerosis. *Ann Neurol.* 2017;82(4):635-639. [DOI](#)
  23. Olesen J. Headache Classification Committee of the International Headache Society (IHS) The International Classification of Headache Disorders, 3rd edition. *Cephalalgia.* 2018;1(38):1-211. [DOI](#)
  24. Pareto D., Garcia-Vidal A., Alberich M., Auger C., Montalban X., Tintoré M., Sastre-Garriga J., Rovira À. Ratio of T1-Weighted to T2-Weighted Signal Intensity as a Measure of Tissue Integrity: Comparison with Magnetization Transfer Ratio in Patients with Multiple Sclerosis. *AJNR Am. J. Neuroradiol.* 2020;41(3):461-463. [DOI](#)
  25. Pashkov A., Filimonova E., Zaitsev B., Martirosyan A., Moysak G., Rzaev J. Thalamic changes in patients with chronic facial pain. *Neuroradiology.* 2025;67(4):895-908. [DOI](#)
  26. Shafee R., Buckner R. L., Fischl B. Gray matter myelination of 1555 human brains using partial volume corrected MRI images. *Neuroimage.* 2015;105:473-85. [DOI](#)
  27. Tan G., Jensen M. P., Robinson-Whelen S., Thornby J. I., Monga T. Measuring control appraisals in chronic pain. *J. Pain.* 2002;3(5):385-93. [DOI](#)
  28. De Toledo I. P., Conti Réus J., Fernandes M., Porporatti A. L., Peres M. A., Takaschima A., Linhares M. N., Guerra E., De Luca Canto G. Prevalence of trigeminal neuralgia: A systematic review. *J. Am. Dent. Assoc.* 2016;147(7):570-576. e2. [DOI](#)
  29. Tu Y., Jung M., Gollub R. L., Napadow V., Gerber J., Ortiz A., Lang C., Mawla I., Shen W., Chan S. T., Wasan A. D., Edwards R. R., Kaptchuk T. J., Rosen B., Kong J. Abnormal medial prefrontal cortex functional connectivity and its association with clinical symptoms in chronic low

- back pain. *Pain*. 2019;160(6):1308-1318. [DOI](#)
30. Zheng Y., Dudman J., Chen J. T., Mahajan K. R., Herman D., Fox R. J., Ontaneda D., Trapp B. D., Nakamura K. Sensitivity of T1/T2-weighted ratio in detection of cortical demyelination is similar to magnetization transfer ratio using postmortem MRI. *Mult. Scler*. 2022;28(2):198-205. [DOI](#)

---

## Сведения об авторах / Information about the authors

**Филимонова Елена Андреевна**, врач-рентгенолог, заведующая отделением лучевой диагностики ФГБУ «Федеральный центр нейрохирургии» Министерства здравоохранения Российской Федерации; ассистент кафедры нейрохирургии ФГБУ ВПО «Новосибирский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Новосибирск, Россия.

Вклад автора: концептуализация, методология, проведение исследования, формальный анализ, создание рукописи и ее редактирование.

**Filimonova Elena Andreevna**, radiologist; head of the radiology department, Federal Neurosurgery Center; Department of Neurosurgery assistant, Novosibirsk State Medical University, Novosibirsk, Russia.

Author contributions: conceptualization, methodology, study conduct, formal analysis, manuscript preparation and editing.

**Пашков Антон Алексеевич**, медицинский психолог ФГБУ «Федеральный центр нейрохирургии» Министерства здравоохранения Российской Федерации; старший преподаватель кафедры нейрохирургии Новосибирского государственного медицинского университета; старший преподаватель кафедры систем сбора и обработки данных Новосибирского государственного технического университета, Новосибирск, Россия.

Вклад автора: проведение исследования, формальный анализ, визуализация, редактирование рукописи.

**Pashkov Anton Alekseevich**, medical psychologist, Federal Neurosurgery Center; lecturer of Department of Neurosurgery, Novosibirsk State Medical University; lecturer of Department of Data Collection and Processing Systems, Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia.

Author contributions: study conduct, formal analysis, visualization, manuscript editing.

**Шмаенкова Виктория Дмитриевна**, врач-ординатор Центра постдипломного медицинского образования ИММТ ФГАОУ «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет», Новосибирск, Россия.

Вклад автора: проведение исследования, формальный анализ.

**Shmaenkova Viktorya Dmitrievna**, radiology resident at the Center for Postgraduate Medical Education, Institute of Medical and Technical Medicine, Federal State Autonomous Educational Institution «Novosibirsk National Research State University», Novosibirsk, Russia.

Author's contribution: study conduct, formal analysis.

**Мойсак Галина Ивановна**, врач-невролог, кандидат медицинских наук, доцент кафедры нейрохирургии ФГБУ ВПО «Новосибирский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации; ФГБУ «Федеральный центр нейрохирургии»; доцент кафедры нейронаук Института медицины и психологии В. Зельмана Новосибирского государственного университета, Новосибирск, Россия.

Вклад автора: концептуализация, ресурсы, администрирование проекта, редактирование рукописи.

**Moysak Galina Ivanovna**, PhD; neurologist, Federal Neurosurgery Center; Associate Professor, Department of Neurosurgery, Novosibirsk State Medical University; Associate Professor, Department of Neuroscience; Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia.

Author contributions: conceptualization, resources, project administration, manuscript editing.

**Рзаев Джамиль Афетович**, доктор медицинских наук, профессор, врач-нейрохирург, главный врач ФГБУ «Федеральный центр нейрохирургии» Министерства здравоохранения Российской Федерации; заведую-

щий кафедрой нейрохирургии ФГБУ ВПО «Новосибирский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации; профессор кафедры нейронаук Института медицины и психологии В. Зельмана Новосибирского государственного университета, Новосибирск, Россия.  
Вклад автора: концептуализация, администрирование проекта, редактирование рукописи.

**Rzaev Jamil Afetovich**, Doctor of Medical Sciences, Professor, neurosurgeon, Chief Physician of the Federal Neurosurgery Center; head of the Department of Neurosurgery of the Novosibirsk State Medical University; professor of the Department of Neurosciences at the V. Zelman Institute of Medicine and Psychology of Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia.  
Author contributions: conceptualization, project administration, manuscript editing.

Статья поступила в редакцию 30.10.2025;  
одобрена после рецензирования 19.12.2025;  
принята к публикации 19.12.2025.

The article was submitted 30.10.2025;  
approved after reviewing 19.12.2025;  
accepted for publication 19.12.2025.