

Оценка микроструктурных изменений тройничных нервов у пациентов с классической тригеминальной невралгией

Е.Н. Рожнова¹, В.Г. Дашьян^{1,2}, А.С. Токарев¹, О.Л. Евдокимова¹, М.В. Незнанова¹, М.В. Синкин^{1,2}

¹ГБУЗ «Научно-исследовательский институт скорой помощи им. Н.В. Склифосовского ДЗМ», Москва, Россия;

²ФГБОУ ВО «Московский государственный медико-стоматологический университет имени А.И. Евдокимова», Москва, Россия

Аннотация

Введение. Первостепенную роль нейроваскулярного конфликта (НВК) в развитии тригеминальной невралгии (ТН) всё чаще подвергают сомнению. Диффузионно-тензорное изображение магнитно-резонансной томографии (МРТ) с определением показателя фракционной анизотропии (ФА) можно использовать для оценки микроструктурных изменений.

Цель работы — изучить информативность МРТ головного мозга с оценкой диффузионно-тензорных изображений с измерением показателя ФА в установлении латерализации ТН.

Материал и методы. Обследован 51 пациент с классической ТН. Пациенты разделены на группы: без нейрохирургических вмешательств, после радиочастотной абляции, контрольная группа пациентов без лицевой боли. Всем пациентам выполнена МРТ головного мозга для диагностики НВК в режиме FIESTA (Fast Imaging Employing Steady State Acquisition) на аппарате 3 Т. В каждой группе пациентов определена разница в толщине корешков тройничных нервов между здоровой и симптомной сторонами. Полученный результат сопоставлен с данными контрольной группы. Протокол МРТ был дополнен диффузионно-тензорными изображениями, для оценки микроструктурных изменений в корешке нерва в обеих исследуемых группах рассчитана разница между показателем ФА на здоровой и симптомной сторонах корешков (Δ ФА). Результаты сопоставлены с данными контрольной группы.

Результаты. При диффузионно-тензорных изображениях корешков тройничных нервов Δ ФА, превышающая 0,075 [0,029; 0,146], статистически значима для выявления микроструктурных нарушений вследствие НВК на стороне клинических проявлений у пациентов без оперативных вмешательств в анамнезе ($p = 0,030$). У пациентов с радиочастотной абляцией ганглиона узла в анамнезе выявлено статистически значимое ($p = 0,026$) истончение корешка тройничного нерва на симптомной стороне (разница в толщине корешков свыше 0,45 см [0,40; 0,60]) в сравнении с контрольной группой.

Заключение. Δ ФА можно применять как количественный биомаркер демиелинизации при клинически выраженной ТН. Радиочастотная абляция ганглиона узла приводит к гипотрофии всего корешка тройничного нерва.

Ключевые слова: диффузионно-тензорные изображения; фракционная анизотропия; тригеминальная невралгия; невралгия тройничного нерва; нейроваскулярный конфликт; магнитно-резонансная томография; демиелинизация

Этическое утверждение. Всеми пациентами было подписано информированное согласие на участие в исследовании. Работа одобрена локальным этическим комитетом ГБУЗ НИИ СП им. Н.В. Склифосовского ДЗМ (протокол № 7-21 от 24.08.2021).

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешних источников финансирования при проведении исследования.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Адрес для корреспонденции: 129090, Москва, Большая Сухаревская пл., д. 3. НИИ СП им. Н.В. Склифосовского ДЗМ.
E-mail: elizabett-eliz@yandex.ru. Рожнова Е.Н.

Для цитирования: Рожнова Е.Н., Дашьян В.Г., Токарев А.С., Евдокимова О.Л., Незнанова М.В. Синкин М.В. Оценка микроструктурных изменений тройничных нервов у пациентов с классической тригеминальной невралгией. *Анналы клинической и экспериментальной неврологии*. 2023; 17(1): 20–26.

DOI: <https://doi.org/10.54101/ACEN.2023.1.3>

Поступила 01.08.2022 / Принята в печать 07.12.2022 / Опубликовано 25.03.2023

Assessing trigeminal microstructure changes in patients with classical trigeminal neuralgia

Elizaveta N. Rozhnova¹, Vladimir G. Dashyan^{1,2}, Aleksey S. Tokarev¹, Olga L. Evdokimova¹, Mariya V. Neznanova¹, Mikhail V. Sinkin^{1,2}

¹N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine, Moscow, Russia;

²A.I. Yevdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry, Moscow, Russia

Abstract

Introduction. The crucial role of neuro-vascular conflict (NVC) in trigeminal neuralgia (TN) is getting increasingly challenged. Microstructural changes can be assessed using fractional anisotropy (FA) in diffusion tensor images (DTI).

Objective. To evaluate usefulness of FA in brain MRI with DTI for TN lateralization assessment.

Materials and methods. The study included 51 patients with classical TN divided into two groups: neurosurgical intervention free, post radiofrequency ablation (RFA), and a control group (patients without facial pain). All the patients were tested for NVC with FIESTA (Fast Imaging Employing Steady State Acquisition) brain MRI at 3T. Difference in thickness of trigeminal roots on the intact and symptomatic sides was assessed for each group. The findings were compared to those in the control group. The MRI protocol was supplemented with DTI. The FA difference in thickness of the intact and symptomatic roots (ΔFA) was calculated for each study group to assess microstructural root changes. The results were compared to those in the control group.

Results. In trigeminal root DTIs, ΔFA over 0.075 [0.029; 0.146] is statistically significant to establish NVC-associated microstructural changes on the symptomatic side in patients without any past surgeries ($p = 0,030$). In patients with a history of trigeminal ganglion RFA, statistically significant ($p = 0,026$) thinned symptomatic trigeminal root (difference in thickness of trigeminal roots over 0.45 cm [0.4; 0.6]) was found as compared to that of the control patients.

Conclusion. ΔFA may be used as a quantitative demyelination biomarker in clinical TN. Trigeminal ganglion RFA leads to hypotrophy throughout the trigeminal nerve root.

Keywords: diffusion tensor images; fractional anisotropy; trigeminal neuralgia; neuro-vascular conflict; magnetic resonance imaging; demyelination

Ethics approval. The study was conducted with the informed consent of the patients. The research protocol was approved by the Ethics Committee of the N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine (protocol No. 7-21, August 24, 2021).

Source of funding. This study was not supported by any external sources of funding.

Conflict of interest. The authors declare no apparent or potential conflicts of interest related to the publication of this article.

For correspondence: 129090, Russia, Moscow, B. Sukharevskaya sq., 3. N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine. E-mail: elizabeth-eliz@yandex.ru. Rozhnova E.N.

For citation: Rozhnova E.N., Dashyan V.G., Tokarev A.S., Evdokimova O.L., Neznanova M.V., Sinkin M.V. Assessing trigeminal microstructure changes in patients with classical trigeminal neuralgia. *Annals of Clinical and Experimental Neurology*. 2023; 17(1): 20–26. (In Russ.)

DOI: <https://doi.org/10.54101/ACEN.2023.1.3>

Received 01.08.2022 / Accepted 07.12.2022 / Published 25.03.2023

Введение

Взгляды на этиологию и патогенез невралгии тройничного нерва (ТН) менялись по мере совершенствования методов диагностики и лечения. Применение микроваскулярной декомпрессии корешка показало высокую эффективность, однако отмечаются рецидивы заболевания. Кроме этого, появляется всё больше данных, оспаривающих сосудистую компрессию как причину невралгии ТН. Вопрос совершенствования методов диагностики и установления причины возникновения болезни по-прежнему актуален.

Для оценки микроструктурных изменений белого вещества головного мозга используют специальную последовательность МРТ в диффузионно-тензорном режиме с трактографией. Она позволяет количественно оценивать различные показатели диффузионности, например, фракционной анизотропии (ФА), радиальной и аксиальной диффузии и др. В представленной работе мы проанализировали информативность ФА при тригеминальной невралгии (ТГН). Этот параметр был выбран в качестве интегрального, а особенно программного обеспечения томографа не позволял воспроизводимо оценивать векторы диффузий.

Цель работы — изучить информативность МРТ головного мозга с включением оценки диффузионно-тензорных изображений с измерением показателя ФА в установлении латерализации ТГН.

Материал и методы

В НИИ СП им. Н.В. Склифосовского ДЗМ обследован 51 пациент (28 женщин и 23 мужчины) с классической ТГН. Возраст пациентов варьировал от 43 до 88 лет, медиана 67 [52; 71] лет. Всем пациентам произведён подробный неврологический осмотр и сбор анамнеза. Диагноз установ-

лен на основании критериев Международной классификации головной боли-3 (2018 г.). Интенсивность боли по 10-балльной визуально-аналоговой шкале оценена пациентами как 6–10 баллов. Пациенты с ТГН были разделены на 2 группы. У 41 пациента (1-я группа) ранее не было хирургических вмешательств по поводу ТГН, у 10 пациентов (2-я группа) ранее была проведена радиочастотная абляция. Структурной внутрочерепной патологии и хронических болевых синдромов, отличных от основного диагноза, у пациентов исследуемых групп не выявлено.

Контрольную группу составили 20 пациентов без лицевой боли такого же возраста, как и в исследуемых группах. Данные пациенты выполняли плановую магнитно-резонансную томографию (МРТ) головного мозга в НИИ СП им. Н.В. Склифосовского по поводу несистемного головокружения, с их письменного согласия в протокол сканирования была добавлена последовательность диффузионно-тензорных изображений (ДТИ) и FIESTA-C (Fast Imaging Employing Steady State Acquisition). По результатам сканирования у пациентов структурной патологии головного мозга не выявлено.

Всем пациентам выполнена МРТ головного мозга на аппарате «GE Signa HDxt 3.0 Тл» («GE Healthcare») с применением протокола, рекомендованного Европейской академией неврологии [1].

Протокол сканирования включал следующие режимы:

- изображения высокого разрешения, взвешенные по времени T1 и T2 (ВИ), в режиме 3D CUBE, толщина среза 1 мм, матрица 288 × 288 точек, квадратное поле обзора размером 26 см;
- режим FIESTA-C, толщина среза 0,4 мм (интерполированная), матрица 384 × 384 точек, квадратное поле обзора размером 26 см;

- бесконтрастная времяпролетная ангиография в режиме 3D TOF (time-of-flight), толщина среза 1 мм (интерполированная), матрица 288 × 384 точек, квадратное поле обзора размером 26 см.

Выявленные на МРТ в режиме FIESTA-C условия для НВК классифицировали по M. Sindou [2]:

- степень компрессии I — сосуд контактирует с нервом;
- степень компрессии II — сосуд дислоцирует нерв;
- степень компрессии III — сосуд вызывает видимую атрофию нерва в месте контакта.

По результатам последовательности FIESTA-C у каждого пациента с обеих сторон была измерена толщина корешков ТН. Измерение проведено в средней трети корешка ТН в аксиальной проекции (в области ROI), в 3 проекциях оценены прямолинейность хода цистернальной порции и выраженность воздействия прилегающих сосудистых структур. Разница толщины корешков (Δ ТН) получена вычитанием из значения на здоровой стороне значения толщины корешка симптомной стороны. При выраженной сосудистой компрессии ожидаемо истончение корешка, что будет проявляться положительным значением при подсчёте разницы между толщиной здорового и симптомного корешков.

Для оценки микроструктурных изменений протокол был дополнен режимом ДТИ со следующими параметрами: блок срезов в режиме ДТИ в аксиальной плоскости, позиционирован параллельно ТН, толщина среза 2,6 мм, матрица 384 × 384 точек, квадратное поле обзора размером 26 см, количество направлений фазово-кодирующего градиента 35. Получены карты ФА — показателя, отражающего степень направленности диффузии и представляющего отношение компонентов поперечной диффузии к продольной диффузии: при абсолютно направленной (анизотропной) диффузии равен 1, при абсолютно ненаправленной (изотропной) диффузии равен 0. Путём выбора области интереса (region of interest, ROI), размещённой на цистернальной порции ТН, произведён количественный подсчёт показателя ФА. Для стандартизации исследования, независимо от локализации нейроваскулярного конфликта (НВК), мишенью для ROI была выбрана наиболее широкая часть средней трети корешка ТН. Выбор мишени также связан с предстоящей пациентам радиохирургической операцией, при проведении которой местом облучения служит та же область. При Sindou III степени ROI располагали до или после места пенетрации нерва в зависимости от того, что было ближе к средней трети корешка. Для повышения точности измерений проводилась предварительная корегистрация данных ДТИ с анатомическими изображениями высокого разрешения. С этой целью использовалось программное обеспечение производителя МР-томографа (станция клинических приложений, «GE Healthcare»). Разницу ФА (Δ ФА) получили при вычитании из значения ФА здоровой стороны значения ФА на симптомной стороне. Ожидаемыми были положительные значения, что обусловлено снижением ФА на симптомной стороне на фоне микроструктурных изменений, вызванных НВК. В контрольной группе ввиду отсутствия симптомной и бессимптомной сторон по отношению к корешку ТН, показатель Δ ФА оценивали путём вычитания из большего значения меньшего.

Статистический анализ проводился с использованием программы «IBM SPSS Statistics v. 26» («IBM Corporation»).

Количественные показатели оценивали на предмет соответствия нормальному распределению, для этого использовали критерий Колмогорова–Смирнова, показатели асимметрии и эксцесса. Сформулирована нулевая гипотеза: микроструктурные изменения на симптомном корешке ТН отсутствуют (т.е. Δ ФА может быть отрицательной), $p < 0,05$. С целью изучения связи между явлениями, представленными количественными данными, использовали непараметрические методы. Данных с нормальным распределением в нашем исследовании не представлено. Для поиска статистических отличий применён критерий Краскела–Уоллиса с апостериорным критерием DSCF (Dwass–Steel–Critchlow–Fligner pairwise comparisons) — парные сравнения, для оценки взаимосвязей — коэффициент ранговой корреляции Спирмена. Для объективной оценки диагностической значимости метода ДТИ проводили ROC-анализ.

Результаты

Выраженность болевого синдрома по визуально-аналоговой шкале у пациентов с ТГН 1-й группы составила $Me = 8,6$ [8; 10], у 2-й группы — $Me = 9,2$ [9; 10]. Распределение по степени выраженности НВК среди пациентов исследуемых групп представлено на рис. 1. У пациентов контрольной группы признаков НВК не было.



Рис. 1. Распределение выраженности НВК по классификации M. Sindou у пациентов исследуемых групп.

Fig. 1. Sindou's NVC classes in the study groups.

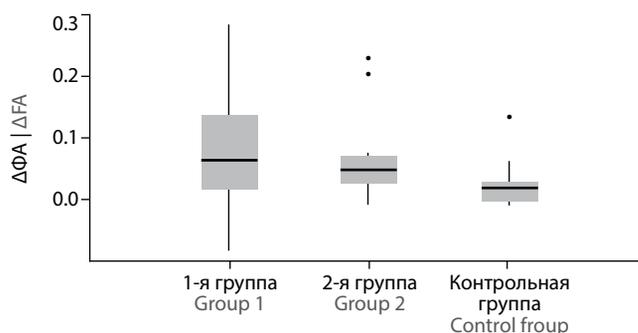


Рис. 2. Результаты проверки Δ ФА в контрольной и исследуемой группах. В 1-й группе Δ ФА = 0,075 [0,029; 0,146] ($p = 0,030$); во 2-й — 0,057 [0,0392; 0,0815] ($p = 0,056$); в контрольной — 0,0305 [0,0093; 0,0408].

Fig. 2. Δ FA in the control and study groups: 0.075 [0.029; 0.146] ($p = 0.030$) in Group 1; 0.057 [0.0392; 0.0815] ($p = 0.056$) in Group 2; and 0.0305 [0.0093; 0.0408] in the control group.

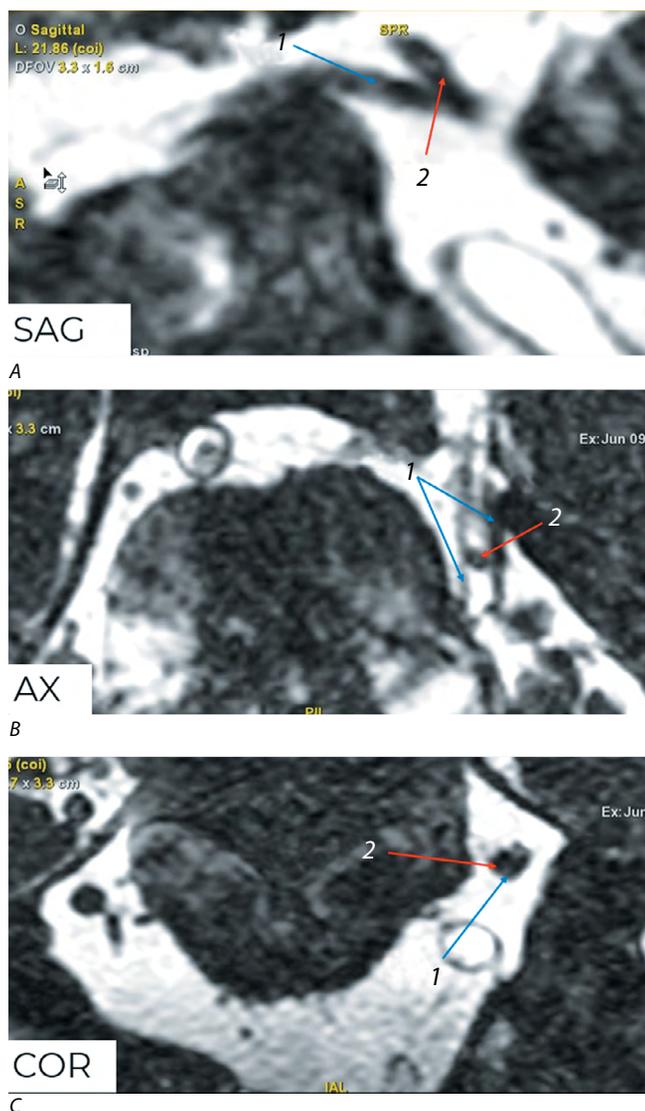


Рис. 3. МРТ головного мозга, режим FIESTA.
A — сагиттальная плоскость изображения; B — аксиальная; C — коронарная. Прободение корешка левого ТН (1) верхней мозжечковой артерией (2), III степень по M. Sindou.

Fig. 3. Brain MRI, FIESTA sequence.
A — sagittal plane; B — transverse plane; C — frontal plane. The left trigeminal nerve root (1) perforated by the superior cerebellar artery (2), Sindou's compression severity III.

После определения показателя ФА, Δ ФА в исследуемых и контрольной группах был проведён статистический анализ (рис. 2).

Статистически значимое снижение Δ ФА получено между пациентами 1-й и контрольной групп ($p = 0,030$). Между 2-й и контрольной группами статистически значимых различий между значениями Δ ФА не выявлено ($p = 0,054$). Между 1-й и 2-й группами статистически значимой разницы не установлено.

Снижение ФА на симптомной стороне диагностировано у 80,5% пациентов 1-й группы (рис. 3, 4) и у 100% пациентов 2-й группы. У остальных 19,5% пациентов 1-й группы показатель ФА повышен на стороне клинических проявлений.

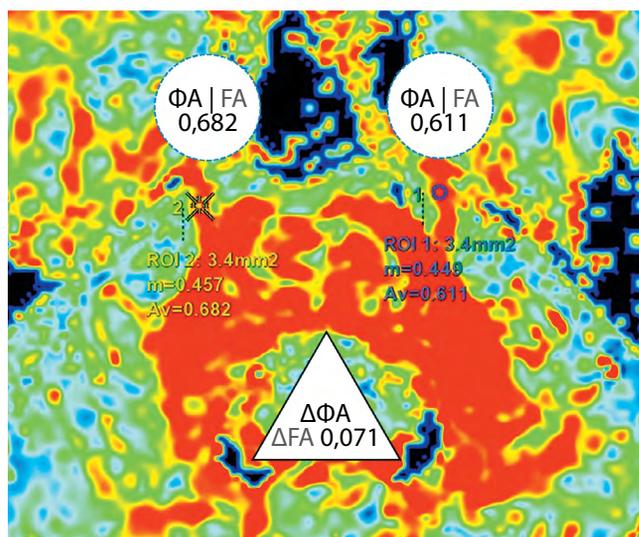
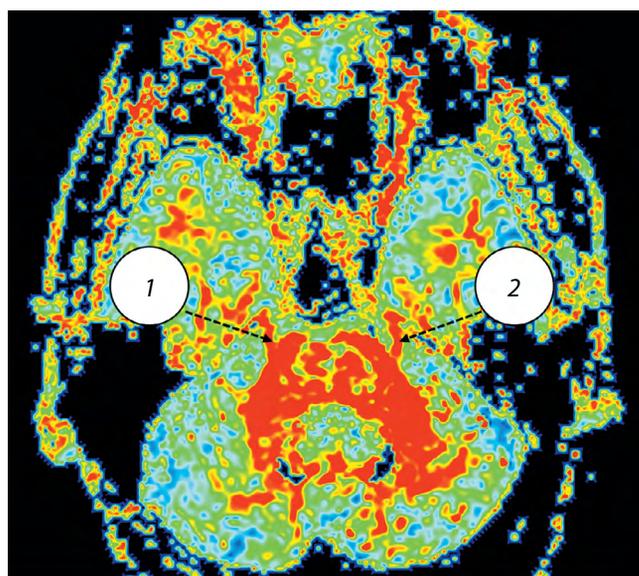


Рис. 4. МРТ головного мозга в аксиальной проекции, режим ДТИ с определением показателей ФА.

1 — тензорное изображение корешка правого ТН, 2 — левого. В проекции тензорных изображений корешков обоих ТН выделена область одинаковой округлой площади для измерения показателя ФА. На рисунке — снижение ФА с левой стороны, что соответствует изменениям в режиме FIESTA (рис. 3) и клиническим проявлениям.

Fig. 4. Brain MRI, axial view, DTI sequence with FA assessment.

1 — tensor image of the root of the right trigeminal nerve, 2 — tensor image of the root of the left trigeminal nerve. Round areas of the same size are highlighted in the roots of both trigeminal nerves in the tensor images to assess FA values. The figure shows decreased FA in the left area, which correlates with changed FIESTA images (Fig. 3) and clinical manifestations.

ний, что не соответствует наличию структурных изменений в данном корешке нерва.

Чувствительность и специфичность Δ ФА у пациентов 1-й группы, определённые с помощью ROC-анализа, представлены на рис. 5, описание результатов — в таблице. Точка, которая характеризуется максимальной чувствительностью и специфичностью, соответствует значению 0,513. Таким

Площадь под кривой (AUC). Переменные результата проверки: ΔФА
Area under the curve (AUC). Outcome variables: ΔFA

Область Range	Стандартная ошибка* Standard error*	Асимптотическая значимость** Asymptotic significance**	Асимптотический 95% доверительный интервал Asymptotic 95% confidence interval	
			нижняя граница lower limit	верхняя граница upper limit
0,852	0,078	0,002	0,699	1,000

Примечание. *В соответствии с непараметрическим предположением. **Нулевая гипотеза: действительная площадь = 0.5.
Note. *Non-parametric test. **Null hypothesis: Actual area = 0.5.

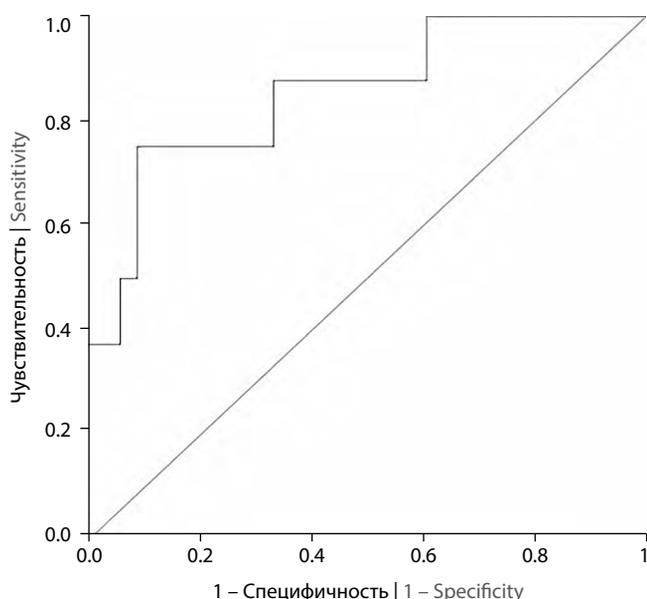


Рис. 5. ROC-кривые, отражающие чувствительность и специфичность ΔФА.

Fig. 5. ΔFA sensitivity and specificity ROC curves.

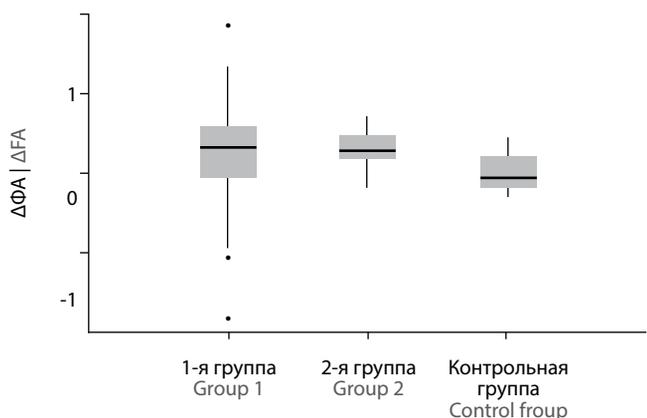


Рис. 6. Разброс диапазона разницы в толщине корешков ТН по группам: в 1-й группе — 0,5 см [0,2; 0,7] ($p = 0,059$), во 2-й группе — 0,45 см [0,40; 0,60] ($p = 0,026$), в контрольной группе — 0,2 см [0,1; 0,4].

Fig. 6. Difference in thickness of trigeminal roots in the groups: 0.5 cm [0.2; 0.7] ($p = 0.059$) in group 1, 0.45 cm [0.40; 0.60] ($p = 0.026$) in group 2, and 0.2 cm [0.1; 0.4] in the control group.

образом, чувствительность метода ДТИ с подсчётом ΔФА составляет 87%, специфичность — 72%. При меньшем значении ΔФА вероятность обнаружения микроструктурных изменений снижается, при увеличении ΔФА — возрастает.

Выявлены статистически значимые различия между ΔТК ТН во 2-й и контрольной группах ($p = 0,026$; рис. 6). При сравнении ΔТК ТН у пациентов 1-й и контрольной групп статистически значимых различий не обнаружено.

Обсуждение

В связи с превалирующим представлением о НВК как причине ТГН основным методом инструментальной диагностики НВК служит МРТ головного мозга в режиме FIESTA-C, дополненная бесконтрастной времяпролетной ангиографией в режиме 3D-TOF. Для оценки микроструктурных радикулярных изменений мы дополнили протокол режимом ДТИ.

Макроструктурные изменения проявляются уменьшением толщины нерва на трёхмерных реконструкциях, а также нарушением конфигурации и прямолинейности хода. Эту информацию позволяет получить стандартный протокол МРТ головного мозга для диагностики НВК. Микроструктурные изменения оценивают путём измерения показателей ФА, радиальной и аксиальной диффузии и других показателей.

В структурах центральной нервной системы направленность диффузии (анизотропия) зависит от фибриллярной структуры и присутствия миелиновой оболочки. В неизменённых тканях диффузия молекул жидкости направлена вдоль волокон и практически отсутствует в радиальном направлении. Показатель ФА в таком случае будет стремиться к единице. Увеличение радиальной диффузии (в поперечном направлении) происходит при патологических процессах, в результате которых нарушается целостность миелиновой оболочки аксонов (например, при демиелинизации) и изменяется их фибриллярная структура (например, при глиозных изменениях). В таких случаях направленность (диффузия в продольном направлении) снижается, а показатель ФА стремится к нулю [3, 4].

Показатель ФА количественно отражает процессы демиелинизации, в связи с чем может служить биомаркером клинической выраженности ТГН [5]. Однако данные о ФА при ТГН остаются противоречивыми. Большинство авторов при оценке ДТИ на дооперационном этапе выявили снижение ФА на стороне клинических проявлений [6, 7].

В исследовании С. Herweh и соавт. у 4 из 6 пациентов с ТГН после изучения данных нейровизуализации диагностирован НВК, у 3 пациентов выявлено снижение ФА на стороне клинических проявлений, и разница составила 32–40%. У других 3 пациентов снижение ФА на стороне боли — 5–9% [6]. Существенным ограничением таких исследований является немногочисленное количество пациентов.

Имеются данные и об отсутствии изменений ФА [8]. Эти результаты получены на основании обследований 13 пациентов с ТГН и 14 здоровых пациентов контрольной группы [8]. В отдельных работах для уменьшения погрешности исследования оценку показателей производят сразу два независимых специалиста, на имеющие информации о симптомной стороне [2, 9]. Согласно рекомендациям Европейской академии неврологии, рентгенолог не должен быть осведомлён о стороне поражения [1].

Мы впервые провели исследование информативности ΔФА на большой выборке пациентов, которое выявило статистически значимое снижение ФА на симптомной стороне при ТГН у неоперированных пациентов (1-я группа). Полученные данные указывают на наличие микроструктурных изменений корешка ТН на симптомной стороне, которые могут быть следствием локальной демиелинизации, вызванной НВК. Следовательно, количественным маркером демиелинизации при клинически выраженной ТГН можно считать ΔФА между здоровой и симптомной сторонами, тогда как в большинстве предшествующих публикаций описывают абсолютные значения ФА или вовсе не указывают информацию о способах диагностики снижения данного параметра на симптомной стороне. Источение корешков ТН на симптомной стороне у пациентов 2-й группы показывает статистически значимые различия в сравнении с контрольной группой, что позволяет сделать вывод о влиянии проведённых радиочастотных деструкций гассерова узла на атрофические изменения корешка.

Дискуссия о том, является ли НВК причиной симптомов ТГН, по-прежнему продолжается. В 1934 г. W.E. Dandy первым предположил, что НВК может быть причиной заболевания, хотя он же позже отметил, что НВК может встречаться и в отсутствие клинических проявлений [2]. В 1989 г. С.В. Adams была поставлена под сомнение роль компрессии микрососудами корешка ТН [11]. J.P. Miller и соавт. описали результаты обследований 30 пациентов с односторонней симптоматикой ТГН и 15 пациентов без лицевой боли [12]. Прицельно исследованы 30 корешков ТН на стороне, ипсилатеральной клиническим проявлениям, и 30 корешков — на противоположной, а также ещё 30 корешков у 15 пациентов без лицевой боли. Частота встречаемости артериального воздействия на ТН у пациентов без симптоматики составила 17%, у пациентов с проявлениями болезни на контралатеральной и ипсилатеральной сторонах — 43 и 57% соответственно. В исследовании А. Lee и соавт. выявлено, что у 17% пациентов в популяции на МРТ головного мозга обнаруживаются признаки НВК. Ссылаясь на распространённость заболевания, авторы публикации утверждают, что свыше 99% пациентов с признаками НВК не страдают ТГН [13].

При выполнении исследования МРТ в режиме ДТИ мы столкнулись с рядом ограничений. Для получения качественных изображений необходимо, чтобы срез проходил через середину нерва, а не по касательной к нему. Это воз-

можно обеспечить лишь за счёт идеальной укладки пациента, которая на практике не всегда реализуема с первого раза. Результатом является увеличение времени нахождения пациента в томографе. Поперечный размер тензорных изображений корешка ТН в срезе должен «перекрывать» АУС, в противном случае в область интереса попадает и ликвор, что искажает значение ФА.

Следующий спорный момент — это выбор ROI. Многие авторы описывают мишенью для локализации ROI проксимальную часть цистернальной порции — место наиболее выраженного НВК, а в случае отсутствия явной визуализации НВК при клинической картине ТГН зона установки ROI diskutabelna. Например, для пациентов, которым предстоит радиохирургическое лечение, уместно локализовать ROI для измерения ФА в месте предполагаемого облучения корешка ТН, чтобы в дальнейшем отследить микроструктурные изменения в данной области.

Наиболее сложной является локализация ROI при III степени выраженности НВК по Sindou. В месте непосредственного прохождения ТН артерией расположены сразу несколько типов тканей, и установка ROI в этой области может привести к искажению данных о направленности диффузии в участке ТН. В каждой из анализированных групп нашего исследования было относительно небольшое количество пациентов с II и III степенями по Sindou, что не позволило провести достоверную статистическую обработку результатов. Методика определения локализации ROI для пациентов с симптоматической ТГН является целью одного из будущих исследований.

Перспективным направлением в диагностике ТГН является оценка ДТИ у пациентов с симптоматической ТГН при рассеянном склерозе, постгерпетической ТГН, деструкциями в системе ТН на различных уровнях. Таким образом возможно оценить влияние более грубых структурных поражений ТН на разных уровнях на различные показатели диффузии, в том числе ФА, и атрофические изменения. Дальнейшего изучения требует определение оптимальной локализации ROI при различной этиологии ТГН, в том числе идиопатической. Получение подобной информации позволит уточнить алгоритм измерения ФА и получить более точные данные.

Заключение

При диффузионно-тензорных изображениях корешков ТН ΔФА, превышающая 0,075 [0,029; 0,146], достоверна ($p = 0,030$) для выявления микроструктурных нарушений вследствие НВК на стороне клинических проявлений у пациентов без оперативных вмешательств в анамнезе. Разность показателя ФА между здоровой и симптомной сторонами можно применять как количественный маркер демиелинизации при клинически выраженной ТГН.

Диагностически значимой можно считать атрофию корешка ТН после радиочастотной абляции гассерова узла при превышении разницы в толщине корешков ТН 0,45 см [0,40; 0,60] ($p = 0,026$).

Локализация ROI для подсчёта ФА в средней трети корешка ТН при различной этиологии ТГН является перспективной для более точной оценки ФА и позволяет расширить возможности применения метода МРТ в режиме ДТИ.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ / References

1. Bendtsen L., Zakrzewska J.M., Abbott J. et al. European Academy of Neurology guideline on trigeminal neuralgia. *Eur. J. Neurol.* 2019; 26(6): 831–869. doi: 10.1111/ene.13950
2. Sindou M., Howedy T., Acevedo G. Anatomical observations during microvascular decompression for idiopathic trigeminal neuralgia. Prospective study in a series of 579 patients. *Acta Neurochir. (Wien)*. 2002; 144(1): 1–13. doi: 10.1007/s701-002-8269-4
3. Mukherjee P., Chung S.W., Berman J.I. et al. Diffusion tensor MR imaging and fiber tractography: technical considerations. *AJNR Am. J. Neuroradiol.* 2008; 29(5): 843–852. doi: 10.3174/ajnr.A1052
4. Tournier J.D., Mori S., Leemans A. Diffusion tensor imaging and beyond. *Magn. Reson. Med.* 2011; 65(6): 1532–1556. doi: 10.1002/mrm.22924
5. Lutz J., Thon N., Stahl R. et al. Microstructural alterations in trigeminal neuralgia determined by diffusion tensor imaging are independent of symptom duration, severity, and type of neurovascular conflict. *J. Neurosurg.* 2016; 124(3): 823–830. doi: 10.3171/2015.2.JNS142587
6. Herweh C., Kress B., Rasche D. et al. Loss of anisotropy in trigeminal neuralgia revealed by diffusion tensor imaging. *Neurology*. 2007; 68(10): 776–778. doi: 10.1212/01.wnl.0000256340.16766.1d
7. Liu Y., Li J., Butzkueven H. et al. Microstructural abnormalities in the trigeminal nerves of patients with trigeminal neuralgia revealed by multiple diffusion metrics. *Eur. J. Radiol.* 2013; 82(5): 783–786. doi: 10.1016/j.ejrad.2012.11.027

Информация об авторах

Рожнова Елизавета Николаевна — врач-невролог ГБУЗ НИИ СП им. Н.В. Склифосовского ДЗМ, Москва, Россия, <https://www.orcid.org/0000-0003-0521-4836>

Дашьян Владимир Григорьевич — д.м.н., врач-нейрохирург, в.н.с. ГБУЗ НИИ СП им. Н.В. Склифосовского ДЗМ, Москва, Россия; профессор ФГБОУ ВО МГМСУ им. А.И. Евдокимова, Москва, Россия, <https://www.orcid.org/0000-0002-5847-9435>

Токарев Алексей Сергеевич — к.м.н., врач-нейрохирург ГБУЗ НИИ СП им. Н.В. Склифосовского ДЗМ, Москва, Россия, <https://www.orcid.org/0000-0002-8415-5602>

Евдокимова Ольга Либерьевна — врач-радиолог, зав. отд. Центра радиохирургии ГБУЗ НИИ СП им. Н.В. Склифосовского ДЗМ, Москва, Россия, <https://www.orcid.org/0000-0001-8099-9544>

Незнанова Мария Викторовна — врач-рентгенолог ГБУЗ НИИ СП им. Н.В. Склифосовского ДЗМ, Москва, Россия, <https://www.orcid.org/0000-0002-0635-6783>

Синкин Михаил Владимирович — д.м.н., врач-невролог, с.н.с. ГБУЗ НИИ СП им. Н.В. Склифосовского ДЗМ, Москва, Россия; руководитель лаб. инвазивных нейроинтерфейсов ФГБОУ ВО МГМСУ им. А.И. Евдокимова, Москва, Россия, <https://www.orcid.org/0000-0001-5026-0060>

Вклад авторов. Все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

8. Fujiwara S., Sasaki M., Wada T. et al. High-resolution diffusion tensor imaging for the detection of diffusion abnormalities in the trigeminal nerves of patients with trigeminal neuralgia caused by neurovascular compression. *J. Neuroimaging*. 2011; 21(2): e102–108. doi: 10.1111/j.1552-6569.2010.00508.x
9. Leal P.R.L., Roch J., Hermier M. et al. Diffusion tensor imaging abnormalities of the trigeminal nerve root in patients with classical trigeminal neuralgia: a pre- and postoperative comparative study 4 years after microvascular decompression. *Acta Neurochir. (Wien)*. 2019; 161(7): 1415–1425. doi: 10.1007/s00701-019-03913-5
10. Dandy W.E. Concerning the cause of trigeminal neuralgia. *Am. J. Surg.* 1934; 24(2): 447–455. doi: 10.1016/S0002-9610(34)90403-7
11. Adams C.B. Microvascular compression: an alternative view and hypothesis. *J. Neurosurg.* 1989; 70(1): 1–12. doi: 10.3171/jns.1989.70.1.0001
12. Miller J.P., Acar F., Hamilton B.E., Burchiel K.J. Radiographic evaluation of trigeminal neurovascular compression in patients with and without trigeminal neuralgia. *J. Neurosurg.* 2009; 110(4): 627–632. doi: 10.3171/2008.6.17620
13. Lee A., McCartney S., Burbidge C. et al. Trigeminal neuralgia occurs and recurs in the absence of neurovascular compression. *J. Neurosurg.* 2014; 120(5): 1048–1054. doi: 10.3171/2014.1.JNS131410

Information about the authors

Elizaveta N. Rozhnova — neurologist, N.V. Sklifosovsky Research Institute of Emergency Medicine, Moscow, Russia, <https://www.orcid.org/0000-0003-0521-4836>

Vladimir G. Dashyan — D. Sci. (Med.), senior researcher, neurosurgeon, N.V. Sklifosovsky Research Institute of Emergency Medicine; Professor, A.I. Yevdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry, Moscow, Russia, <https://www.orcid.org/0000-0002-5847-9435>

Aleksey S. Tokarev — Cand. Sci. (Med.), neurosurgeon, N.V. Sklifosovsky Research Institute of Emergency Medicine, Moscow, Russia, <https://www.orcid.org/0000-0002-8415-5602>

Olga L. Evdokimova — radiologist, Head, Radiosurgery center, N.V. Sklifosovsky Research Institute of Emergency Medicine, Moscow, Russia, <https://www.orcid.org/0000-0001-8099-9544>

Mariya V. Neznanova — radiologist, N.V. Sklifosovsky Research Institute of Emergency Medicine, Moscow, Russia, <https://www.orcid.org/0000-0002-0635-6783>

Mikhail V. Sinkin — D. Sci. (Med.), senior researcher, neurologist, N.V. Sklifosovsky Research Institute of Emergency Medicine, Moscow, Russia; Head, Laboratory of invasive neurointerfaces, A.I. Yevdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry, Moscow, Russia, <https://www.orcid.org/0000-0001-5026-0060>

Author contribution. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published.