

УДК 617.731-07

# Морфофункциональные методы оценки динамики неврита зрительного нерва

**КАМИЛОВ Х.М.**, д.м.н., профессор, заведующий кафедрой офтальмологии;

**КАСИМОВА М.С.**, д.м.н., профессор кафедры офтальмологии;

**ХАМРАЕВА Г.Х.**, старший научный сотрудник кафедры офтальмологии.

Ташкентский институт усовершенствования врачей, 100007, Узбекистан, Ташкент, ул. Паркентская, 51.

Авторы не получили финансирование при проведении исследования и написании статьи. Конфликт интересов: отсутствует.

## Резюме

**ЦЕЛЬ.** Определить морфофункциональные критерии состояния зрительного нерва в зависимости от стадии неврита зрительного нерва (НЗН).

**МЕТОДЫ.** Материалом исследования служили данные 42 (84 глаза) пациентов с двухсторонним НЗН, которые в зависимости от стадии патологического процесса были разделены на 2 группы. Первую группу составили 22 больных (44 глаза) со стадией гиперемии и отека диска зрительного нерва (ДЗН), вторую группу — 20 больных (40 глаз) со стадией ишемии и атрофии ДЗН. В контрольную группу вошли 5 (10 глаз) здоровых людей того же возраста и пола.

**РЕЗУЛЬТАТЫ.** По результатам исследования зрительных вызванных потенциалов (ЗВП), показатель латентности N75 в 1-й группе достоверно увеличился по сравнению с контрольной группой ( $p < 0,05$ ). Во 2-й группе больных отмечалось нарастание этого показателя по сравнению с 1-й группой ( $p < 0,01$ ). Анализ амплитуды ЗВП компонента N75-100 выявил достоверное увеличение этого показателя в 1-й группе по сравнению с контрольной группой. Амплитуда ЗВП значительно снизилась во 2-й группе по сравнению с контрольной группой ( $p < 0,05$ ).

При анализе области зрительного нерва (ЗН) на МР-трактографии в 1-й группе больных выявлено значимое ( $p < 0,0001$ ) снижение показателя фракционной

анизотропии (ФА —  $252,5 \pm 11,89$ ), по сравнению с лицами контрольной группы ( $369,2 \pm 5,6$ ). Статистически значимых колебаний ФА в области зрительной лучистости (ЗЛ) не выявлено. Во 2-й группе больных выявлено значительное сокращение ФА ( $148,6 \pm 7,15$ ) в области ЗН. Также отмечалось повышение измеряемого коэффициента диффузии (ИКД) ( $2184,3 \pm 63,16$ ) по сравнению с контрольной группой ( $1438,4 \pm 58,5$ ). Выявлено достоверное снижение ФА и повышение ИКД в области ЗЛ.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ.** К достоверным ( $p < 0,05$ ) дифференциально-диагностическим критериям стадий НЗН относятся данные оптической когерентной томографии (ОКТ) и ЗВП, а именно увеличение толщины слоя нервных волокон сетчатки и изменение нейроретинального пояска в стадии набухания и ишемии заболевания, снижение этих показателей в глиозно-атрофической стадии — по данным ОКТ; увеличение показателей латентности N75, P100 и изменение амплитуды N75-P100 во всех стадиях — по данным ЗВП. Полученные изменения показателей ФА и ИКД в ЗН и ЗЛ свидетельствуют о распространении нейродегенеративного процесса на 4-й нейрон при прогрессировании заболевания.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** неврит зрительного нерва, зрительные вызванные потенциалы, МР-трактография, зрительная лучистость, фракционная анизотропия.

## ENGLISH

# Morphofunctional methods of assessing optic neuritis dynamics

**KAMILOV H.M.**, Med.Sc.D., Professor, Head of the Ophthalmology Department;

**KASIMOVA M.S.**, Med.Sc.D., Professor of the Ophthalmology Department;

**KHAMRAEVA G.H.**, M.D., Senior Research Associate of the Ophthalmology Department.

Tashkent Institute of Postgraduate Medical Education, 51 Parkentskaya st., Tashkent, Uzbekistan, 100007.

Conflicts of Interest and Source of Funding: none declared.

## Для контактов:

**Хамраева Гавхар Хусановна**, e-mail: [gavhar08021982@mail.ru](mailto:gavhar08021982@mail.ru)

Поступила в печать: 30.05.2017

Received for publication: May 30, 2017

## Abstract

**PURPOSE:** To define morphofunctional criteria for evaluating the state of the optic nerve, depending on the stage of optic neuritis (ON).

**METHODS:** The study included 42 patients (84 eyes) with different stages of bilateral ON, who were divided into 2 groups according to the stage of the pathological process. The first group consisted of 22 patients (44 eyes) with optic nerve head (ONH) hyperemia and edema; the second group consisted of 20 patients (40 eyes) with ONH ischemia and atrophy. The control group consisted of 5 healthy people (10 eyes) of the same age and sex.

**RESULTS:** According to the visual evoked potentials (VEP) assessment, mean N75 latency in Group I was significantly increased compared to the control group ( $p < 0.05$ ). In the second group of patients, this index was higher than in Group I ( $p < 0.01$ ). Further VEP analysis showed a significant increase of N75-100 component amplitude in Group I and a significant decrease of the same index in Group II compared to the control group ( $p < 0.05$ ).

A significant ( $p < 0.0001$ ) decrease in fractional anisotropy (FA  $252.5 \pm 11.89$ ) was revealed during the analysis of the optic nerve by means of MR-tractography in Group I, compared to the control group ( $369.2 \pm 5.6$ ). Statistically significant changes in FA of the optic radiation (OR) have not

been identified. In Group II patients showed a significant reduction in FA ( $148.6 \pm 7.15$ ) of the optic nerve. There was also an increase of apparent diffusion coefficient — ADC ( $2184.3 \pm 63.16$ ) compared to the control group ( $1438.4 \pm 58.5$ ). A significant FA decrease and ADC increase was revealed in the optic radiation area. In Group I the tractography 3D map did not find significant changes in the amount and direction of the white matter tracts. Meanwhile, in Group II it showed a marked thinning of OR fiber and features of partial breaks of occipital forceps fibers at the point of their attachment to the OR beam.

**CONCLUSION:** Significant ( $p < 0.05$ ) differential diagnostic criteria of ON stages include OCT and VEP data. OCT can reveal an increase in RNFL thickness and rim changes during the stage of ONH swelling and ischemia, and a decrease of these parameters in patients with optic atrophy. VEP evaluation of these patients shows an increase in N75 and P100 latency as well as a change in N75-P100 amplitude in all stages of the disease. Changes in FA and ADC in optic nerve and OR areas demonstrate the neurodegenerative process spread to the fourth order neuron in the course of disease progression.

**KEYWORDS:** optic neuritis, visual evoked potentials, MR-Tractography, optic radiation, fractional anisotropy.

**Н**еврит зрительного нерва (НЗН) протекает со снижением зрительных функций у лиц молодого трудоспособного возраста, имеет потенциально двухсторонний характер поражения и в 45-70% случаев приводит к атрофиям зрительного нерва (ЗН).

По мнению авторов, наибольшую помощь в ранней диагностике патологических состояний ЗН оказывает оптическая когерентная томография (ОКТ) [2, 4]. ОКТ позволяет качественно и количественно оценить изменения в диске зрительного нерва (ДЗН) и нейроретинальном пояске (НРП), перипапиллярном слое сетчатки и макулярной области. Поскольку в пределах сетчатой оболочки аксоны не покрыты миелином, слой нервных волокон сетчатки (СНВС) является идеальным структурным объектом для наблюдения и изучения.

Одним из объективных методов диагностики поражения ЗН, позволяющим количественно оценить состояние аксонального повреждения или демиелинизации, является исследование зрительных вызванных потенциалов (ЗВП). Исследование ЗВП является ценным диагностическим тестом при обследовании больных с НЗН. Верификация поражения зрительного пути особенно важна при отсутствии у пациента изменений глазного дна при ретробульбарных невритах и начальных стадиях воспалений ЗН [3, 4]. Несмотря на большое количество статей, посвященных данной тематике, работ о динамических изменениях ОКТ и ЗВП при НЗН представлено недостаточно.

С появлением методов нейровизуализации головного мозга открылись широкие возможности в диагностике поражений ЗН. Одним из наиболее современных методов оценки состояния зрительного пути является МР-трактография. Данный метод обеспечивает получение информации о нарушении структуры проводящих волокон белого вещества при воспалительных и деструктивных процессах, в том числе в ЗН и зрительном тракте. Количественные параметры, которые можно получить при использовании диффузионной тензорной МРТ, нашли свое применение в оценке заболеваний ЦНС — в частности, при метаболических поражениях в детском возрасте, при рассеянном склерозе, приобретенном иммунном дефиците [1, 6-13]. Есть работы, посвященные исследованию проводящих путей при глаукоме [5].

Однако работы, посвященные комплексному исследованию методов ОКТ, ЗВП, МР-трактографии при НЗН в зависимости от стадии заболевания, не найдены. Данное обстоятельство явилось основанием для комплексного применения данных методов при диагностике НЗН.

Цель настоящего исследования — определить морфофункциональные критерии состояния зрительного нерва в зависимости от стадии неврита зрительного нерва.

## Материалы и методы

Материалом исследования служили данные 42 (84 глаза) пациентов с двухсторонним НЗН различных стадий. Возраст больных составил в среднем

28,4±2,6 года. Для более подробного анализа результатов исследований больные в зависимости от стадии патологического процесса были разделены на две группы. Первую группу составили 22 больных (44 глаза) со стадией гиперемии и отека ДЗН, 2-ю группу — 20 больных (40 глаз) со стадией ишемии и атрофии ДЗН. В контрольную группу включены 5 (10 глаз) здоровых людей того же возраста и пола.

Всем больным проводили визометрию, периметрию, биомикроскопию, офтальмоскопию, ОКТ глазного дна, а также специальные методы — исследование ЗВП, МР-трактографию.

ЗВП оценивали на аппарате Нейрон-Спектр 4-ВПМ, для выделения ЗВП использовали стимуляцию на шахматный паттерн 24-60'. Проводили анализ следующих показателей: латентности, амплитуды и формы пика P100, вычисляли разность величин латентности и амплитуды при стимуляции правого и левого глаза.

ОКТ области ДЗН (протокол ONH) и макулярной области (GCC) проводили с помощью томографа Cirrus HD-OCT («Zeiss, Spectral Domain Technology»). Использовали протокол сканирования для оценки слоя нервных волокон сетчатки (CHBC) RNFL thickness и макулярной области диаметром 3,4 мм.

МРТ-исследование проведено на томографе Magnetom Essenza «Siemens» с индукцией магнитного поля 1,5 Тесла. Протокол исследования включал стандартные программы (T1SE, T2SE, FLAIR), а также прицельную визуализацию зрительных трактов с возможностью постпроцессинговой обработки и получением изображений в различных плоскостях. Были получены диффузионно-тензорные изображения, которые обсчитывались с использованием встроенной постпроцессорной программы (Neuro 3D), которая включала построение карт фракционной анизотропии (ФА), измеряемого коэффициента диффузии (ИКД), диффузионного тензора и реконструкцию проводящих путей в трехмерном режиме.

Для статистической обработки данных использовали пакет компьютерных программ Microsoft Excel 2010, Statistica 7.0. Достоверность полученных различий средних показателей, соответствующих нормальному закону распределения, оценивали с помощью парного t-теста Стьюдента. Корреляционный анализ проводили с применением коэффициента корреляции Пирсона и оценкой его достоверности по статистическим таблицам.

## Результаты

Острота зрения в 1-й группе больных составила в среднем 0,4±0,03. При офтальмоскопии размер ДЗН был увеличен, наблюдалась выраженная гиперемия, границы ДЗН были полностью размыты, физиологическая экскавация отсутствовала,

наблюдалась проминенция диска на 1,5±0,2 дптр. Количество сосудов, проходящих через край ДЗН, увеличилось в среднем до 18±0,14, отмечали отек перипапиллярной зоны, расширенные артерии и вены, сглаженность макулярного рефлекса. На ОКТ увеличение толщины СНВС было на уровне 295,38±19,15 мкм, что почти в 3 раза выше показателей контрольной группы (p<0,001). Анализ результатов исследования толщины НРП, а также площади ДЗН показал, что по отношению к норме у пациентов 1-й группы эти параметры увеличивались в среднем на 82% (2,7±0,25 мм<sup>2</sup>) и 15% (2,6±0,16 мм<sup>2</sup>) соответственно.

Во 2-й группе острота зрения составила 0,1±0,07. При офтальмоскопии ДЗН был бледно-серого цвета, границы нечеткие, при этом физиологическая экскавация отсутствовала, артерии и вены сужены, количество сосудов уменьшено. По данным ОКТ, у больных 2-й группы отмечалось достоверное снижение толщины СНВС относительно 1-й группы (p<0,001), но при этом этот показатель оставался высоким (142,83±8,15 мкм) по сравнению с контрольной группой (p<0,01). Толщина НРП увеличилась на 54% (2,28±0,19 мм<sup>2</sup>) по сравнению с контрольной группой.

По результатам ЗВП на шахматный паттерн показатель латентности N75 в 1-й группе достоверно увеличился по сравнению с контрольной группой и составил в среднем 78,26±1,04 мс (p<0,05). Увеличение латентности свидетельствовало о снижении скорости проведения импульса по зрительным путям. Во 2-й группе больных со стадией ишемии ДЗН отмечалось нарастание этого показателя (93,14±3,57 мс) по сравнению с 1-й группой (p<0,01). Увеличение латентности связано со снижением скорости проведения потенциалов по ЗН и свидетельствует о поражении миелиновой оболочки. Выявленное статистически значимое различие между группами и группой контроля (p<0,05) подтверждает снижение функциональной активности ЗН при НЗН вне зависимости от стадии заболевания (табл. 1).

Анализ состояния зрительного анализатора в зависимости от стадии заболевания показал значительное увеличение латентности компонента P100 при прогрессировании заболевания. В 1-й группе больных этот показатель составил 109,86±2,11 мс, что достоверно выше по сравнению с контрольной группой (p<0,05). В стадии перехода в атрофию этот показатель имел тенденцию к увеличению и составил в среднем 123,65±3,93 мс (p<0,05).

Анализ амплитуды ЗВП компонента N75-100 выявил достоверное увеличение этого показателя в 1-й группе по сравнению с контрольной. По литературным данным, в острой фазе неврита происходит ишемия, токсическое воздействие экссудата, компрессия нервных волокон экссудативной жидкостью, распад миелиновой оболочки нервных

Сравнительная характеристика показателей ОКТ и ЗВП по группам

Показатели	Группы		
	1-я группа (n=44)	2-я группа (n=40)	контрольная группа (n=10)
Толщина СНВС (мкм)	295,38±19,15	142,83±8,15	104,5±6,9
	p<0,001	p<0,01	
Толщина НРП (мкм)	2,70±0,25	2,28±0,19	1,48±0,29
	p<0,01	p<0,05	
Площадь ДЗН (мм <sup>2</sup> )	2,60±0,16	2,12±0,10	2,26±0,5
	p>0,05	p>0,05	
Объем экскавации (мм <sup>3</sup> )	0,003±0,0002	0,004±0,0003	0,24±0,02
	p<0,001	p<0,001	
Латентность N75 (мс)	78,26±1,04	93,14±3,57	74,2±0,5
	p<0,05	p<0,05	
Латентность P100 (мс)	109,86±2,11	123,65±3,93	102,6±3,73
	p<0,05	p<0,05	
Амплитуда N75-100 (мкВ)	13,91±0,79	6,76±0,76	9,8±0,06
	p<0,05	p<0,05	

**Примечание:** p – достоверность разницы показателей по сравнению с группой контроля.

волокон. Повышение уровня амплитуды ЗВП компонента N75-100, по-видимому, связано с реактивным раздражением аксонов ЗН происходящими в их оболочке эксудативными реакциями.

Амплитуда ЗВП значительно снизилась во 2-й группе (6,76±0,76 мкВ) по сравнению с контрольной группой (p<0,05). Уменьшение амплитуды ЗВП связано с блокадой проведения импульсов, вероятно, вследствие повреждения осевых цилиндров аксонов. Снижение амплитуды свидетельствовало о снижении количества функционирующих аксонов.

Полученные данные ЗВП коррелировали с показателями остроты зрения и ОКТ. Наиболее значимая обратная корреляция у обследованных 2-й группы выявлена между ОЗ и показателем латентности P100 (r=-0,762), т. е. низкая ОЗ сопровождалась увеличением латентности P100, при этом отмечалось уменьшение площади ДЗН (r=0,578).

По результатам МР-трактографии сравнение средних величин ФА в контрольной группе не выявило достоверной разницы между билатеральными показателями (в обоих ЗН и ЗЛ) в зонах интереса. В связи с этим все эти показатели контрольной группы были усреднены. Были разработаны нормативы показателей ФА и ИКД в ЗН и ЗЛ.

При анализе области ЗН в 1-й группе больных выявлено значимое (p<0,0001) снижение показателя

ФА (252,5±11,89), по сравнению с лицами контрольной группы (369,2±5,6). При этом показатель ИКД в данной зоне был повышен обратно пропорционально коэффициенту ФА (1962,5±93,26). Статистически значимых колебаний ФА в области ЗЛ не выявлено. Данные ФА и ИКД больных 1-й группы представлены в табл. 2.

Во 2-й группе больных выявлено значительное сокращение ФА (148,6±7,15) в ЗН. Также отмечалось повышение ИКД (2184,3±63,16) по сравнению с контрольной группой (1438,4±58,5). Выявлено достоверное снижение ФА и повышение ИКД в ЗЛ у данной группы больных.

При реконструкции проводящих путей в группе здоровых людей на МР-трактографии взаимосвязь путей проводимости центра рта и языка, центра Брока, зрительной ассоциативной коры, угловой извилины и центра Венрике были сохранены. Верхний продольный пучок дифференцировался без признаков повреждения на всем протяжении. Ассоциативные, комиссуральные и проекционные нервные волокна дифференцировались на всем протяжении без патологических изменений.

При 3D-режиме реконструкции трактов у больных со стадией ишемии и атрофии заболевания отмечались следующие изменения: в 4 случаях наблюдалось истончение волокон затылочных щипцов



Сравнительная характеристика показателей МР-трактографии по группам, М±m

Группы	ФА зрительного нерва	ИКД зрительного нерва	ФА зрительной лучистости	ИКД зрительной лучистости
1-я группа (n=44)	252,5±11,89	1962,5±93,26	518,5±16,1	854±21,6
	p<0,0001	p<0,0005	p>0,05	p<0,0001
2-я группа (n=40)	148,68±7,15	2184,3±63,16	492,44±14,56	851±13,5
	p<0,0001	p<0,0001	p<0,0001	p<0,0001
Контрольная группа (n=10)	369,2±5,6	1438,4±58,5	557±16,0	686,8±14,5

**Примечание:** p — достоверность разницы показателей по сравнению с группой контроля.

в проекции соединения со зрительной лучистостью, в 3-х — истончение волокон переднего отдела пучков зрительной лучистости, в 2 случаях определялись признаки частичного перерыва волокон затылочных щипцов на месте прикрепления к пучку зрительной лучистости.

При НЗН выявлено вовлечение в патологический процесс ретрохиазмальных зрительных путей. Так, показатель ФА был значительно снижен в области зрительного нерва в обеих группах по сравнению с контрольной группой, что можно объяснить увеличением внеклеточного пространства мозга в результате воспалительной реакции. При трехмерном режиме реконструкции трактов зрительного анализатора с совмещением анатомических структур головного мозга имели возможность визуализировать перерыв зрительных волокон.

Опираясь на данные литературы [2], мы полагаем, что в результате воздействия воспалительного процесса на ганглиозные клетки сетчатки и их аксоны запускается механизм апоптоза. Он в свою очередь инициирует каскад реакций, которые в конечном итоге запускают процесс вторичной трансинаптической дегенерации. Под этим термином понимают распространение патологического процесса на здоровые нейроны, которые избежали первичного повреждения от воспалительного процесса, но прилежат к поврежденным нейронам, которые оказывают на них патологическое влияние. Именно такой механизм, по нашему мнению, объясняет распространение дегенеративных изменений на структуры ЦНС при прогрессировании заболевания.

Все изложенные выше данные свидетельствуют о том, что латентность и амплитуда ЗВП, толщина СНВС и НРП, ФА и ИКД достоверно отражают патологические изменения зрительного анализатора при НЗН в зависимости от стадии заболевания. Выявленная достоверная корреляция между зрительными функциями и показателями ЗВП, ОКТ и МР-трактографии указывает на высокую прогностическую значимость данных параметров.

## Выводы

К достоверным (p<0,05) дифференциально-диагностическим критериям стадий НЗН относятся данные ОКТ и ЗВП, а именно: увеличение толщины СНВС и изменение НРП в стадии набухания и ишемии заболевания, снижение этих показателей в глиозно-атрофической стадии — по данным ОКТ; увеличение показателей латентности N75, P100 и изменение амплитуды N75-P100 во всех стадиях — по данным ЗВП.

Методом ЗВП подтверждены функциональные нарушения со стороны ЗН: у пациентов всех групп выявлено увеличение латентности N75 и P100, что свидетельствует о нарушении проводимости зрительных путей. Наиболее информативным при НЗН явился показатель P100.

Выявленные изменения в виде истончения нервных волокон зрительной лучистости с частичным перерывом нервных волокон позволяют сделать предположение о том, что воспалительный процесс при переходе в стадию атрофии затрагивает не только третий нейрон, но может сопровождаться поражением четвертого нейрона (зрительная лучистость), что требует комплексного подхода к терапии. Это свидетельствует о распространении нейродегенеративного процесса на четвертый нейрон при прогрессировании заболевания.

## Литература/References

- Ефимцев А.Ю., Труфанов Г.Е., Фокин В.А., Литвиненко И.В. Диффузная тензорная трактография: изменение показателей анизотропии у больных нейродегенеративными заболеваниями. *Вестник Российской военно-медицинской академии* 2009; 4(28):46-47. [Efimtsev A.Yu., Trufanov G.E., Fokin V.A., Litvinenko I.V. Diffuse tensor tractography: anisotropy measurement in neurodegenerative patients. *Vestnik Rossiyskoi voenno-meditsinskoi akademii* 2009; 4(28):46-47. (In Russ.)].
- Иойлева Е.Э., Кривошеева М.В., Смирнова М.А. Односторонний отек зрительного нерва: особенности дифференциальной диагностики. *Таврический медико-биологический вестник* 2013; 3(2):166-170. [Ioyleva E.E., Krivosheeva M.V., Smirnova M.A. Unilateral swelling of an optic nerve: features of differential diagnosis. *Tavricheskiy Mediko-Biologicheskii vestnik* 2013; 3(2):166-170. (In Russ.)].

3. Иойлева Е.Э., Кривошеева М.С., Смирнова М.А. Результаты обследования пациентов с оптическим невритом в дебюте рассеянного склероза. *Вестник ОГУ* 2014; 12:143-146. [Ioyleva E.E., Krivosheeva M.V., Smirnova M.A. The results of the evaluation of patients with optic neuritis at the onset of multiple sclerosis. *Vestnik OGU* 2014; 12:143-146. (In Russ.)].
4. Камиллов Х.М. Дифференцированный подход к диагностике отечных состояний диска зрительного нерва. Ташкент, 2008. [Kamilov H.M. Differentsirovanniy podkhod k diagnostike otyochkhnikhsostoyaniy diska zritel'nogo nerva. [Differential approach to the diagnostic of the optic disc swelling conditions]. Tashkent, 2008. (In Russ.)].
5. Zhang Q.J., Wang D., Bai Z.L., Ren B.C., Li X.H. Diffusion tensor imaging of optic nerve and optic radiation in primary chronic angle-closure glaucoma using 3T magnetic resonance imaging. *Int J Ophthalmol* 2015; 8(5):975-979. doi:10.3980/j.issn.2222-3959.2015.05.22.
6. Hong-Hong Sun, Dong Wang, Qiu-Juan Zhang, Zhi-Lan Bai, Ping He. Magnetic resonance diffusion tensor imaging of optic nerve and optic radiation in healthy adults at 3T. *Int J Ophthalmol* 2013; 6(6):868-872. doi:10.3980/j.issn.2222-3959.2013.06.22.
7. Ni Shu, Jun Li, Kuncheng Li, Chunshui Yu, Tianzi Jiang. Abnormal diffusion of cerebral white matter in early blindness. *Hum Brain Mapp* 2009; 30:220-227. doi: 10.1002/hbm.20507.
8. Kolbe S., Chapman C., Nguyen T., Bajraszewski C., Johnston L., Kean M. Optic nerve diffusion changes and atrophy jointly predict visual dysfunction after optic neuritis. *Neuroimage* 2009; 45:679-686. doi: 10.1016/j.neuroimage.2008.12.047. pmid:19162205.
9. Kolbe S., Bajraszewski C., Chapman C., Nguyen T., Mitchell P., Paine M., Butzkueven H., Johnston L., Kilpatrick T., Egan G. Diffusion tensor imaging of the optic radiations after optic neuritis. *Hum Brain Mapp* 2012; 33(9):2047-2061. doi: 10.1002/hbm.21343.
10. Chen Z., Lou X., Liu M., Huang D., Wei S., Yu S., Lin Ma. Assessment of optic nerve impairment in patients with neuromyelitis optica by MR diffusion tensor imaging. *PLoS ONE* 2015; 10(5):e0126574. doi:10.1371/journal.pone.0126574.
11. Zhang X., Sun P., Wang J., Wang Q., Song S.K. Diffusion tensor imaging detects retinal ganglion cell axon damage in the mouse model of optic nerve crush. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2011; 52(9):7001-7006. doi: 10.1167/iov.11-7619.
12. Li M., Li J., He H., Wang Z., Li W., Haila N., Yan F., Xian J., Al L. Directional diffusivity changes in the optic nerve and optic radiation in optic neuritis. *Br J Radiol* 2011; 84:304-314. doi: 10.1055/s-0030-1257137.
13. Afify F., Hussein N., El-Zayat S., Fouad M., Fathy S., Gad H., Osman W., Nasef A., Esmat A. Early changes in the normal appearing white matter by diffusion tractography in patients with acute demyelinating optic neuritis. *Nat Sci* 2015; 13(5):175-180.

Поступила 30.05.2017



Уважаемые читатели!

Вы можете оформить подписку на журнал  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЖУРНАЛ ГЛАУКОМА»**  
 по каталогу «Газеты и журналы» агентства  
 Роспечать в любом отделении связи.

Подписной индекс:

**37353**