

EDN: CDGTVG

DOI 10.56618/2071-2693_2023_15_4_28

УДК 76.29.42



ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИФФУЗИОННО-ТЕНЗОРНОЙ МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОЙ ТОМОГРАФИИ ПРИ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКЕ МИЕЛОПАТИИ НА ШЕЙНОМ УРОВНЕ

А. В. Басков^{1,2}, И. Ф. Байгильдина¹, В. А. Басков^{1,2}, Г. А. Ширяев³, В. Э. Ким^{1,2}

¹ФГБОУ ДПО РМАПО Минздрава России, ул. Баррикадная, 2/1 стр.1., Москва, 125993

²НУЗ «Научный клинический центр» ОАО «РЖД», ул. Часовая, 20, Москва, 125315

³ООО «ОММУС» Диагностический центр МРТ в Тушино,

Волоколамское шоссе, 95, Москва, 125310

РЕЗЮМЕ. Шейная миелопатия представляет собой достаточно серьезную проблему современного мира и требует пристального внимания. Клинические проявления шейной миелопатии весьма разнообразны: от легких неврологических расстройств до тетраплегии. Это приводит к снижению точности и своевременности диагностики, следовательно, к плохим результатам лечения. На сегодняшний день магнитно-резонансная томография является основным методом диагностики шейной миелопатии. Наибольший интерес вызывает диффузионно-тензорная магнитно-резонансная томография с трактографией по причине более детального исследования структуры спинного мозга. Нами в НУЗ НКЦ ОАО «РЖД» совместно с Диагностическим центром МРТ в Тушино проведены исследования у пациентов с шейной миелопатией. Впервые оценены такие параметры, как фракционная анизотропия и коэффициент диффузии, выполнена оценка проводящих путей и их трехмерная реконструкция. В результате проведенного исследования выявлено, что эти данные коррелируют с тяжестью клинических проявлений миелопатии. Это дает возможность развития ранней и точной топической диагностики миелопатического процесса, дифференциальной диагностики с демиелинизирующими заболеваниями спинного мозга и может быть использовано для улучшения качества и результатов лечения больных.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: спинной мозг, шейная миелопатия, цервикальная миелопатия, диффузионно-тензорная МРТ (DTI МРТ), трактография, трехмерная реконструкция (3D), фракционная анизотропия (FA), коэффициент диффузии (ADC), проводящие пути, дифференциальная диагностика.

Для цитирования: Басков А. В., Байгильдина И. Ф., Басков В. А., Ширяев Г. А., Ким В. Э. Использование диффузионно-тензорной магнитно-резонансной томографии при дифференциальной диагностике миелопатии на шейном уровне. Российский нейрохирургический журнал им. проф. А. Л. Поленова. 2023;15(4):28–34. DOI 10.56618/2071-2693_2023_15_4_28

THE USE OF DIFFUSION TENSOR MAGNETIC RESONANCE IMAGING IN DIFFERENTIAL DIAGNOSIS OF CERVICAL MYELOPATHY

A. V. Baskov^{1,2}, I. F. Baygildina¹, V. A. Baskov^{1,2}, G. A. Shiryayev³, V. E. Kim²

¹Russian Medical Academy of Postgraduate Education, 2/1, bld.1, Barrikadnaya st., Moscow, 125993, Russia

²Scientific clinical center of Russian Railways, 20, Chasovaya st., Moscow, 125315, Russia

³Diagnostic center MRI in Tushino, 95, Volokolamskoe highway, Moscow, Russian Federation, 125310, Russia

SUMMARY. Cervical myelopathy is a serious modern challenge that requires careful attention. Clinical manifestations of cervical myelopathy are variable, from mild neurological disorders to tetraplegia. This results in the decrease of accuracy and delayed diagnosis, and therefore, poor treatment results. Currently, magnetic resonance imaging is the main method for diagnosing cervical myelopathy. Diffusion tensor imaging tractography is the most appealing method because of the more detailed visualization of spinal cord structure. Together with MRI Diagnostic Center in Tushino, we studied patients with cervical myelopathy in NGHCI NCC OJSC RZhD. For the first time, such parameters as fractional anisotropy and apparent diffusion coefficient were used to evaluate tracts and perform their 3D reconstruction. Our research showed that these data correlated with the severity of clinical symptoms of myelopathy. This provided an opportunity for development of early and precise topical diagnosis of myelopathy, differential diagnosis with spinal cord demyelination, and could be used to improve the quality and results of patient management.

KEY WORDS: spinal cord, cervical myelopathy, diffusion tensor imaging (DTI), tractography, 3D reconstruction, fractional anisotropy (FA), apparent diffusion coefficient (ADC), tracts, differential diagnosis.

For citation: Baskov A. V., Baygildina I. F., Baskov V. A., Shiryayev G. A., Kim V. E. The use of diffusion tensor magnetic resonance imaging in differential diagnosis of cervical myelopathy. Rossiiskii neurokhirurgicheskii zhurnal imeni professora A. L. Polenova. 2023;15(4):28–34. DOI 10.56618/2071-2693_2023_15_4_28

Введение. Анализ современных научных источников показал, что шейная миелопатия — это распространенное поражение спинного мозга, которое характеризуется тем, что начинается незаметно и проявляется неспецифичными симптомами. Атипичная клиническая картина, затрудняет установку точного диагноза и приводит к выбору неверной тактики ведения и оперативного лечения пациента.

На сегодняшний день патофизиология шейной миелопатии остается плохо изученной. Единственным диагностическим методом, позволяющим объективно выявить очаг поражения спинного мозга при миелопатии, является магнитно-резонансная томография (МРТ). Стандартная МРТ на ранней стадии заболевания не дает возможности количественно проанализировать степень повреждения спинного мозга. При этом наличие очага в спинном мозге на T2-взвешенных изображениях не всегда коррелирует с клиническими проявлениями у больных. Кроме того, есть ряд заболеваний, в том числе опухоли, артериовенозные фистулы, демиелинизирующие заболевания, которые имеют схожую клиническую и диагностическую картину, однако тактика лечения и прогноз кардинально различаются. Все вышеперечисленное в настоящее время затрудняет дифференциальную диагностику и ведет к неточности и несвоевременности постановки диагноза и выбора тактики лечения. Существует растущий интерес среди исследователей к использованию диффузионно-тензорной МРТ (ДТ-МРТ) с трактографией в качестве средства визуализации и оценки микроструктурных изменений в спинном мозге.

ДТ-МРТ — метод прижизненной количественной и качественной оценки направленности диффузии воды в головном и спинном мозге человека, позволяющий изучать микроскопическую структуру проводящих путей белого вещества, неопределяемую другими последовательностями МРТ и КТ. ДТ-МРТ была введена в 1985 году и берет свое начало от хорошо разработанной методики диффузионно-взвешенной МРТ, принцип которой основан на оценке свободной диффузии молекул воды (броуновское движение) во внеклеточном пространстве живой ткани. Наиболее известно применение диффузионно-взвешенной МРТ в визуализации острого ишемического инсульта, абсцессов мозга, эпидермоидных кист и опухолей головного мозга [3, 6, 8, 11, 12].

ДТ-МРТ позволяет конструировать трехмерные изображения комиссуральных, ассоциативных и проекционных трактов, обеспечивающих нормальную функцию мозга. В России впервые это исследование начали применять в НИИ нейрохирургии им. Н. Н. Бурденко под руководством А. А. Потапова для диагностики нарушения проводящих путей при патологии головного мозга [3, 6].

Цель. Оценка диагностических возможностей диффузионно-тензорной МРТ при шейной миелопатии для проведения дифференциального диагноза с демиелинизирующими заболеваниями спинного мозга.

Материалы и методы. В НУЗ НКЦ ОАО «РЖД» совместно с Диагностическим центром МРТ в Тушино были обследованы 19 пациентов с шейной миелопатией различной этиологии с декабря 2014 г. по июль 2016 г. Распределение по полу и возрасту: 11 мужчин (n=11), 8 женщин (n=8), от 25 до 79 лет (средний возраст $52 \pm 13,5$).

Все пациенты имели клинические проявления шейной миелопатии, в различных комбинациях: двигательные — повышение тонуса и спастичность, снижение силы; чувствительные — снижение болевой и температурной чувствительности; нарушение глубокой чувствительности; рефлекторные нарушения — повышение, снижение сухожильных рефлексов, патологические симптомы (Таблица 1).

Таблица 1. Уровень поражения, распределение по полу.
Table 1. The level of lesion and gender distribution.

Уровень поражения	Мужчины	Женщины
C1-C2	0	0
C2-C3	0	1
C3-C4	2	2
C4-C5	2	1
C5-C6	3	3
C6-C7	3	1
C7-Th1	1	0

Всем 19 пациентам проводилось стандартное МРТ и ДТ-МРТ на аппарате Philips Achieva 1.5T. Параметры сканирования: толщина среза — 2 мм, fov (171x171x120 мм), 60 срезов, 2 накопления, матрица 128, параметры диффузии 2 b фактора, высокое разрешение по направлению диффузии (32 направления). В нашем исследовании состояние проводящих путей оценивалось с помощью измерения фракционной анизотропии (fractional anisotropy, FA) и коэффициента диффузии (apparent diffusion coefficient, ADC). Предполагается, что фракционная анизотропия (FA) коррелирует с тяжестью миелопатии и дает возможность судить о степени выраженности миелопатии [13, 11, 12, 4]. Референсными параметрами здоровых тканей спинного мозга для ADC и FA являются $1,06 \pm 0,09 \times 10^{-3}$ мм²/с и $0,68 \pm 0,05$ соответственно [15].

В результате обследования пациентов на основании полученных данных были оценены: фракционная анизотропия, коэффициент диффузии на уровне патологического очага, также была выполнена трехмерная реконструкция проводящих путей. В своих исследованиях мы получили результаты близкие к референсным значениям здоровых тканей спинного мозга, однако мы считаем более целесообразным проводить сравнение показателей ADC и FA патологического очага со здоровыми тканями индивидуально для каждого пациента.

Результаты. На стандартных снимках МРТ у 17 пациентов был выявлен визуальный очаг поражения, у 2 пациентов видимый очаг на стандартных МРТ отсутствовал. После проведения ДТ-МРТ с трактографией пациенты поделались на 3 клинические группы: 8 человек имели сосудистый характер миелопатии с очагом поражения и без очага поражения на стандартных снимках МРТ, компрессия спинного мозга отсутствовала. У 9 человек имелась спондилогенная компрессия спинного мозга с развитием миелопатического очага. У 2 пациентов было диагностировано демиелинизирующее заболевание. Полученные результаты представлены на основании клинических примеров для каждой из групп пациентов.

Клинический пример 1. Сосудистая миелопатия с очагом поражения на МРТ снимках.

Мужчина 46 лет, поступил с жалобами на боль в шее, отдающую в руки, слабость в руках, слабость в левой ноге, нарушение походки. При осмотре выявлено сегментарное нарушение поверхностной и болевой чувствительности в руках по С6-Th1, больше слева. Сила мышц в руках в сгибателях предплечья, кистей — до 3 баллов, в левой ноге — до 3 баллов во всех группах.

При стандартной МРТ в T1, T2 режимах обнаружен визуальный очаг гипоинтенсивной зоны на уровне С6-С7. Учитывая отсутствие компрессии спинного мозга за счет измененного межпозвоночного диска, можно предположить, что миелопатический очаг сформирован за счет компрессии спинальных артерий. На основании этого пациенту установлен диагноз «шейная миелопатия сосудистого генеза».

Таблица 2. Показатели фракционной анизотропии (FA) и коэффициента диффузии (ADC) для группы пациентов с сосудистой миелопатией с видимым очагом поражения на МРТ (красным выделен уровень визуального поражения; индексы 1 и 2 обозначают, что замер происходил на разных уровнях одного и того же позвонка; ниже приведен график распределения показателей). Table 2. The parameters of fractional anisotropy (FA) and apparent diffusion coefficient (ADC) in a group of patients with vascular myelopathy and apparent lesion on MRI (the level of visual lesion is marked with red; indices 1 and 2 suggest that the measurement was performed on different levels of the same vertebra; the chart of parameter distribution is given below).

	FA	ADC
С3	0,75±0,11	0,77±0,17
С4	0,89±0,14	1,18±0,56
С6	0,28±0,16	1,28±0,7
С7 ¹	0,39±0,10	1,18±0,60
С7 ²	0,37±0,17	1,11±0,66
Th1	0,38±0,15	1,14±0,86

У полученных изображений ДТ-МРТ визуальному очагу миелопатии на стандартных снимках МРТ соответствует значительное снижение показателей FA и повышение показателей ADC. Кроме того, при оценке выше- и нижележащих «здоровых тканей», соответствующих стандартным МРТ снимкам, отмечалось также уменьшение FA показателей и повышение ADC, что соответствовало неврологическим проявлениям. При оценке здоровых тканей вдали от очага показатель FA был намного выше, а ADC значительно меньше в сравнении с очагом поражения (Таблица 2, Рисунок 1). При построении трактографии с трехмерной реконструкцией проводящих путей проводящие пути полностью визуализировались (Рисунок 2).

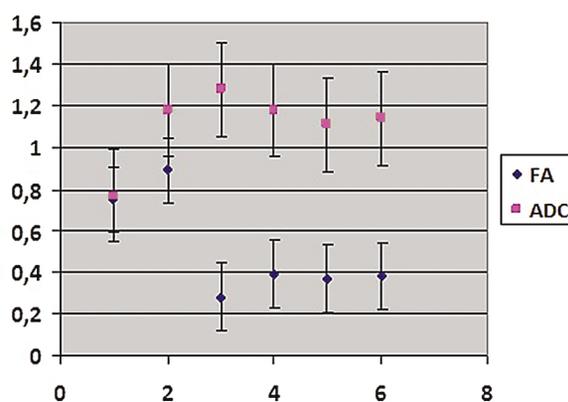


Рисунок 1. Распределение показателей фракционной анизотропии (FA) и коэффициента диффузии (ADC) при сосудистой миелопатии. Ось абсцисс — уровень поражения, ось ординат — числовые значения показателей.

Figure 1. The distribution of parameters of fractional anisotropy (FA) and apparent diffusion coefficient (ADC) in vascular myelopathy. X-axis represents the lesion level, y-axis — the numerical values of parameters.

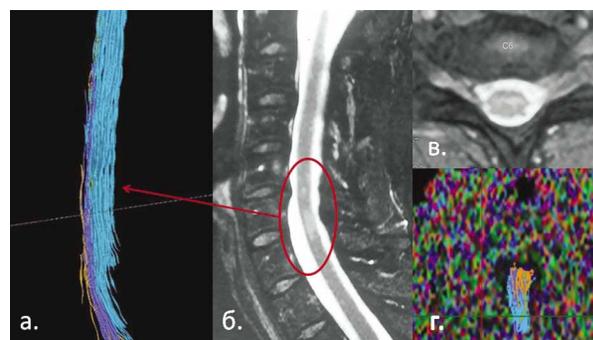


Рисунок 2. а, б — 3D реконструкция проводящих путей; в, г — очаг сосудистой миелопатии на стандартных МРТ. Figure 2. а, б — 3D reconstruction of tracts; в, г — focus of vascular myelopathy in conventional MRI.

Клинический пример 2. Сосудистая миелопатия без очага поражения на МРТ снимках.

Мужчина 51 года, поступил с жалобами на боль в шее, боль в плечах, слабость, нарушение чувствительности в левой руке, нарушение чувствительности в левой ноге. Клинически уровень поражения на уровне С3-С4. При рутинной МРТ в T1, T2 режимах визуальный очаг не обнаружен. При измерении показателей на ДТ-МРТ на уровне С2-С5 наблюдаем значительное снижение показателей FA и повышение показателей ADC, наибольшее уменьшение FA показателей и повышение ADC наблюдалось на уровне С3-С4, что полностью соответствовало клинической картине у пациента (Таблица 3, Рисунок 3). При построении трактографии с трехмерной реконструкцией проводящих путей, проводящие пути полностью визуализировались (Рисунок 4). При сравнении с первым клиническим примером у данного пациента при стандартной МРТ визуализации очага миелопатии не выявлено, однако показатели ДТ МРТ соответствуют наличию миелопатического очага.

В данном случае отсутствие компрессии спинного мозга в месте формирования миелопатического очага позволяет заподозрить, что данный очаг вызван компрессией спинальных артерий. Пациенту установлен диагноз шейная миелопатия сосудистого генеза.

Обоим пациентам проведен курс консервативной терапии с положительным клиническим эффектом.

Клинический пример 3. Спондилогенная миелопатия.

Женщина 42 лет, жалобы на боль в шее, слабость в руках, больше справа, слабость в ногах, нарушение походки, нарушение чувствительности в правой руке. Клинически уровень поражения на уровне С5-Th1 сегментов спинного мозга. При классической МРТ в T1, T2 режимах обнаружен визуальный очаг на уровне С6-С7, ниже зоны дегенеративно разрушенного диска с признаками передней компрессии спинного мозга. При оценке показателей диффузии визуальному очагу миелопатии соответствует снижение фракционной анизотропии (FA) и повышение коэффициента диффузии (ADC). При оценке выше- и нижележащих «здоровых тканей», соответствующих стандартным МРТ снимкам, отмечалось уменьшение фракционной анизотропии (FA) и повышение коэффициента диффузии (ADC), что полностью соответствовало клинической картине у данного пациента (Таблица 4, Рисунок 5). При построении трактографии с трехмерной реконструкцией проводящих путей проводящие пути полностью визуализировались (Рисунок 6). Пациенту установлен диагноз «спондилогенная шейная миелопатия». Пациент прооперирован по поводу дегенеративно измененного диска С6-С7, устранена компрессия спинного мозга, восстановлена ось позвоночника. В послеоперационном периоде гладкое течение с регрессом неврологической симптоматики.

Таблица 3. Показатели фракционной анизотропии (FA) и коэффициента диффузии (ADC) для группы пациентов с сосудистой миелопатией без видимого очага поражения на МРТ. Table 3. The parameters of fractional anisotropy (FA) and apparent diffusion coefficient (ADC) in a group of patients with vascular myelopathy and no apparent lesion on MRI.

	FA	ADC
C2	0,59±0,27	1,428±0,72
C3	0,26±0,14	2,34±0,42
C4	0,17±0,05	2,36±0,20
C5	0,38±0,32	1,36±0,72
C6	0,54±0,15	0,74±0,17
C7	0,68±0,10	0,76±0,33

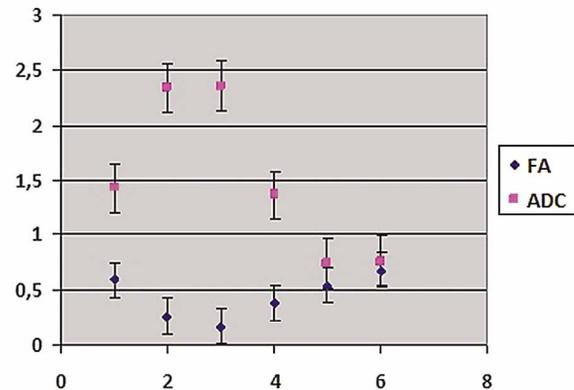


Рисунок 3. Распределение показателей фракционной анизотропии (FA) и коэффициента диффузии (ADC) при сосудистой миелопатии без видимого очага. Figure 3. The distribution of parameters of fractional anisotropy (FA) and apparent diffusion coefficient (ADC) in vascular myelopathy with no apparent lesion on MRI.



Рисунок 4. а, б — 3D реконструкция проводящих путей; в, г — очаг сосудистой миелопатии на стандартных МРТ без видимого очага. Figure 4. а, б — 3D reconstruction of tracts; в, г — focus of vascular myelopathy in conventional MRI with no apparent lesion.

Таблица 4. Показатели фракционной анизотропии (FA) и коэффициента диффузии (ADC) для группы пациентов с компрессионной миелопатией.

Table 4. The parameters of fractional anisotropy (FA) and apparent diffusion coefficient (ADC) in a group of patients with compressive myelopathy.

	FA	ADC
C4	0,26±0,14	2,34±0,42
C5	0,17±0,05	2,36±0,20
C6	0,38±0,32	1,36±0,72
C7	0,54±0,15	0,74±0,17
Th1	0,68±0,10	0,76±0,33

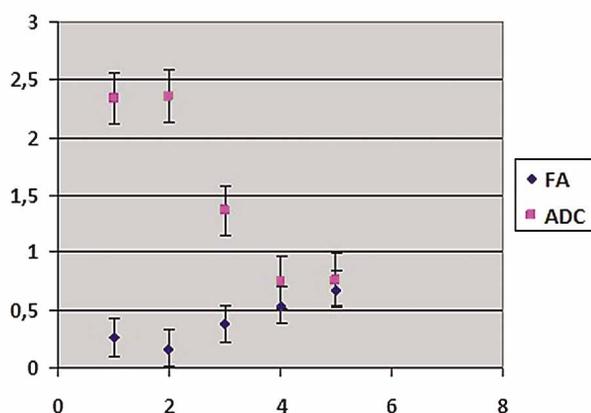


Рисунок 5. Распределение показателей фракционной анизотропии (FA) и коэффициента диффузии (ADC) при компрессионной миелопатии. Ось абсцисс — уровень поражения, ось ординат — числовые значения показателей.
Figure 5. The distribution of parameters of fractional anisotropy (FA) and apparent diffusion coefficient (ADC) in compressive myelopathy. X-axis represents the lesion level, y-axis — the numerical values of parameters.

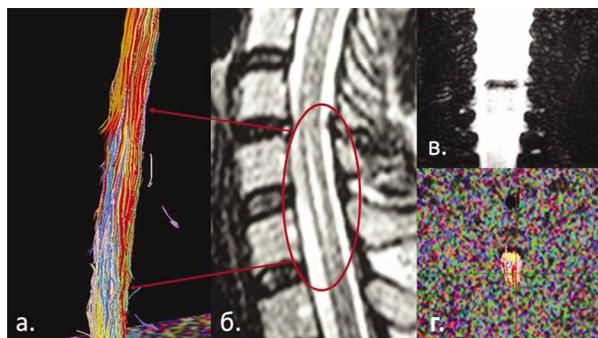


Рисунок 6. а, б — 3D реконструкция проводящих путей; в, г — очаг компрессионной миелопатии на стандартных МРТ.

Figure 6. а, б — 3D reconstruction of tracts; с, d — focus of compressive myelopathy in conventional MRI.

Клинический пример 4. Демиелинизирующее заболевание.

Женщина 30 лет, жалобы на боль в шее, боль в левом плече, слабость, нарушение чувствительности в левой руке, нарушение чувствительности в левой ноге. При проведении классической МРТ в T1, T2 режимах обнаружен визуальный очаг гипоинтенсивной зоны. У полученных изображений наблюдалось снижение показателей FA и повышение ADC на уровне визуального очага, однако при оценке здоровых тканей увеличение показателя FA было незначительным, а коэффициент ADC достоверно снизился до уровня здоровых тканей (Таблица 5, Рисунок 7). При построении трактографии с трехмерной реконструкцией проводящих путей выстроить пути на уровне очага и ниже не удалось (Рисунок 8). Данные факты позволили заподозрить наличие демиелинизирующего процесса, было принято решение о дополнительном клиническом и инструментальном обследовании, в ходе которого пациентке достоверно установлен диагноз «демиелинизирующее заболевание». Начат курс специфической консервативной терапии с положительным эффектом.

Таблица 5. Показатели фракционной анизотропии (FA) и коэффициента диффузии (ADC), для группы пациентов с демиелинизирующим процессом.
Table 5. The parameters of fractional anisotropy (FA) and apparent diffusion coefficient (ADC) in a group of patients with demyelinating disease.

	FA	ADC
C2	0,47±0,35	2,316±0,62
C3	0,16±0,14	2,41±0,38
C4	0,29±0,05	1,21±0,51
C5	0,38±0,32	1,44±0,25
C6	0,66±0,24	0,83±0,67
C7	0,74±0,18	0,86±0,56

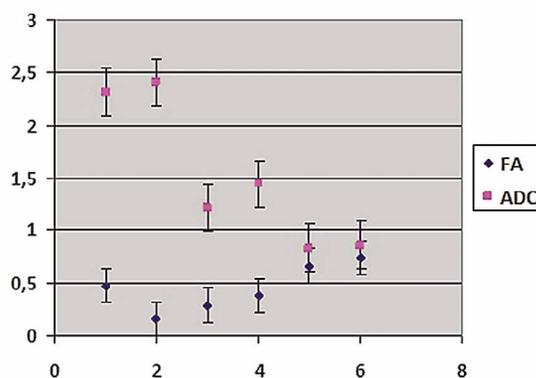


Рисунок 7. Распределение показателей фракционной анизотропии (FA) и коэффициента диффузии (ADC) при демиелинизирующем процессе. Ось абсцисс — уровень поражения, ось ординат — числовые значения показателей.
Figure 7. The distribution of parameters of fractional anisotropy (FA) and apparent diffusion coefficient (ADC) in demyelinating disease. X-axis represents the lesion level, y-axis — the numerical values of parameters.

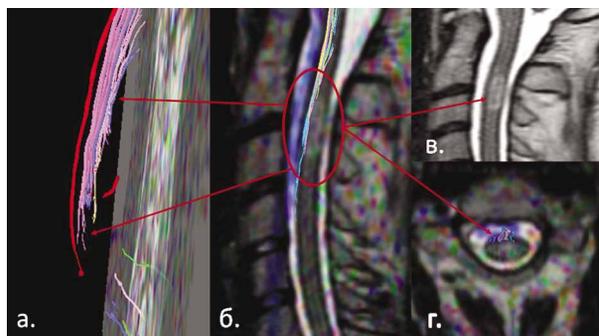


Рисунок 8. а, б — 3D реконструкция проводящих путей;
в, г — очаг демиелинизирующего процесса.
Figure 8. а, б — 3D reconstruction of tracts;
с, d — focus of demyelination.

Обсуждение.

На сегодняшний день в мире ДТ-МРТ спинного мозга выполняется редко, результаты пока не совсем однозначны, несмотря на существование исследований, посвященных оценке здоровых тканей спинного мозга с помощью ДТ-МРТ. Полученные нами значения FA и ADC для здоровых тканей шейного отдела спинного мозга совпадают с результатами других исследователей. Однако имеющихся на данный момент данных недостаточно, чтобы вывести референсные значения FA и ADC для разных возрастных групп [15, 16]. Как и в нашем случае, при изучении различных патологий спинного мозга с помощью ДТ-МРТ, исследователи сравнивают значения интактных участков спинного мозга с участками, вовлеченными в патологический процесс [16]. Также актуальным вопросом остается интерпретация показателей FA при многоуровневом поражении шейного отдела спинного отдела, вызванном стенозом позвоночного канала.

В отличие от рутинной МРТ, ДТ-МРТ визуализирует изменения кортикоспинальных трактов под воздействием различных патологических процессов, например, таких как объемное образование. Информация, полученная во время исследования, может быть использована при планировании оперативного вмешательства [6].

Приведенные предварительные данные нашего исследования позволяют позитивно оценить данный метод (ДТ-МРТ) для визуализации уровня миелопатии шейного отдела позвоночника, определения его распространенности и отношения к окружающим структурам позвоночного канала. Эти данные могут быть полезны для определения показаний к операции по декомпрессии спинного мозга, особенно при множественном поражении межпозвонковых дисков.

ДТ-МРТ, в отличие от обычных T2-взвешенных изображений, обладает более высокой специфичностью, особенность данного метода применяется для

дифференциальной диагностики демиелинизирующих заболеваний головного мозга [9]. Как показало наше исследование, ДТ-МРТ спинного мозга не требует введение контраста, при дифференциальной диагностике миелопатического очага с демиелинизирующими заболеваниями.

Существующий диапазон возможных применений визуализации ДТ-МРТ достаточно широк и требует дальнейших исследований, однако первоначальные результаты клинических исследований выглядят многообещающими.

Заключение.

При исследовании пациентов с клиникой шейной миелопатии с использованием ДТ-МРТ с трактографией показатели фракционной анизотропии (FA) были снижены, а показатели коэффициента диффузии (ADC) повышены, что говорит о возможности выявить «невидимую» зону повреждения нервной ткани на рутинных МРТ.

При трехмерной реконструкции у пациентов с демиелинизирующим процессом, проводящие пути спинного мозга на уровне и ниже очага поражения не визуализируются, при этом у пациентов с миелопатией проводящие пути визуализируются без видимых изменений и деформаций.

Таким образом, ДТ-МРТ с трактографией дает возможность судить о степени выраженности миелопатического процесса и может быть использован для ранней и дифференциальной диагностики миелопатии.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. **Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки. **Financing.** The study was performed without external funding.

Соблюдение прав пациентов и правил биоэтики: Все пациенты подписали информированное согласие на участие в исследовании. **Compliance with patient rights and principles of bioethics.** All patients gave written informed consent to participate in the study

ORCID авторов / ORCID of authors

Басков Андрей Владимирович/
Baskov Andrey Vladimirovich
<https://orcid.org/0000-0002-7542-6300>

Байгильдина Ирина Фасхутдиновна/
Baygildina Irina Faskhutdinovna

Басков Владимир Андреевич/
Baskov Vladimir Andreevich
<https://orcid.org/0000-0002-8801-9755>

Ширяев Григорий Андреевич/
Shiryayev Grigoriy Andreevich

Ким Виктор Эдуардович/
Kim Viktor Eduardovich

Литература/References

1. Гуша А. О., Корепина О. С., Древал М. Д. и др. Случай хирургического лечения многоуровневой шейной миелопатии на фоне дегенеративной компрессии. *Нервные болезни*. 2013;(3):39–43. doi: 10.14531/ss2015.2.44–50 [Gushcha AO, Korepina OS, Dreval MD, Kireeva NS. A case of surgical treatment of multilevel cervical myelopathy associated with degenerative compression. *Nervnye Bolezni*. 2013;(3):39–43. (In Russ.). doi: 10.14531/ss2015.2.44–50.]
2. Древал М. Д., Гуша А. О. Хирургическое лечение шейной спондилогенной миелопатии методом ламинопластики: обзор литературы. *Хирургия позвоночника*. 2015;12(2):44–50. doi: 10.14531/ss2015.2.44–50. [Dreval M, Gushcha A. Laminoplasty in surgical treatment of cervical spondylotic myelopathy: literature review. *Russian journal spine surgery*. 2015;12(2):44–50. (In Russ.). doi: 10.14531/ss2015.2.44–50.]
3. Захарова Н. Е., Потапов А. А., Корниенко В. Н., Пронин И. Н. и др. Оценка состояния проводящих путей головного мозга при диффузных повреждениях с помощью диффузионной тензорной магнитно-резонансной томографии. *Журнал вопросы нейрохирургии им.Н.Н.Бурденко*. 2010;(2):3–9. [Zakharova N, Potapov A, Kornienko V, Pronin I, Fadeeva L, Gavrilov A, Oshorov A, Gorshkov K, Takush S. Assessment of brain neural pathways in diffuse axonal injuries using diffusion-tensor magnetic resonance tomography. *Problems of neurosurgery named after N. N. Burdenko*. 2010;(2):3–9. (In Russ.).]
4. Куликова С. Н., Брюхов В. В., Переседова А. В. и др. Диффузионная тензорная магнитно-резонансная томография и трактография при рассеянном склерозе: обзор литературы. *Журнал неврологии и психиатрии им. С. С. Корсакова*. 2012;112(2 Pt 2):52–9. [Kulikova S, Bryukhov V, Peresedova A, Krotenkova M, Zavalishin I. Diffusion-tensor magnetic resonance tomography and tractography in multiple sclerosis: a review. *Journal Nevrol Psikhiatr Im SS Korsakova*. 2012;112(2 Pt 2):52–9. (In Russ.).]
5. Луцик А. А., Карпенко В. С. Клинико-патогенетические варианты и оперативное лечение шейной миелопатии. *Нейрохирургия*. 2014;4:44–50. [Lutsik A, Karpenko V, Bondarenko G. The clinicopathological variants and operative treatment of cervical myelopathy. *Russian journal of neurosurgery*. 2014;4:44–50. (In Russ.)]
6. Потапов А. А., Горяинов С. А., Жуков В. Ю., Пицхелаури Д. И., Кобяков Г. А. др. Длинные ассоциативные пути белого вещества головного мозга: современный взгляд с позиции нейронаук. *Журнал вопросы нейрохирургии им.Н.Н.Бурденко*. 2014;78(5):66–77. [Potapov A, Goryainov S, Journalukov V, Pitskhelauri D, Kobyakov G, Pronin I, Zakharova N, Tanoyan A, Ogurtsova A, Buklina S, Melikyan Z. The long-associative pathway of the white matter: modern view from the perspective of neuroscience. *Problems of neurosurgery named after N. N. Burdenko*. 2014;78(5):66–77. (In Russ.).]
7. Шевелев И. Н., Гуша А. О. Дегенеративно-дистрофические заболевания шейного отдела позвоночника. 2008. [Shevelev IN, Gushcha AO. Degenerative Dystrophic Diseases of the Cervical Spine. 2008. (In Russ.).]
8. Barkhof F, Calabresi P.A., Miller D. H., Reingold S. C. Imaging outcomes for neuroprotection and repair in multiple sclerosis trials. *Nat Rev Neurol*. 2009;5:5:256–266. doi:10.1038/nrneuro.2009.41.
9. Ciccarelli O, Werring D, Wheeler-Kingshott C. et al. Investigation of MS normal-appearing brain using diffusion tensor MRI with clinical correlations. *Neurology*. 2001;56:926–933. doi:10.1212/WNL.56.7.926.
10. Cook C, Wilhelm M, Cook A, Petrosino C, Isaacs R. Clinical tests for screening and diagnosis of cervical spine myelopathy: a systematic review. *Manipulative Physiol Ther*. 2011;34(8):539–46. doi:10.1016/j.jmpt.2011.08.008.
11. Guan X, Fan G, Wu X, Gu G, Gu X, Journalang H, He S. Diffusion tensor imaging studies of cervical spondylotic myelopathy: a systemic review and meta-analysis. *PLoS One*. 2015;10(2): e0117707. doi:10.1371/journal.pone.0117707.
12. Hochman M, Tuli S. Cervical Spondylotic Myelopathy: A Review. *Journal Article published in The Internet Journal of Neurology*. 2005;4(1). doi.org/10.5580/2414.
13. LeBihan D. Looking into the functional architecture of the brain with diffusion MRI. *Nat Rev Neurosci*. 2003;4:469–80. doi:10.1016/j.ics.2006.04.006
14. William F, Young, M. Cervical Spondylotic Myelopathy: A Common Cause of Spinal Cord Dysfunction in Older Persons. *Am Fam Physician*. 2000;62(5):1064–1070.
15. Kazuki Chagawa, Shunka Nishijima, Tsukasa Kanchiku, Yasuaki Imajo, Hidenori Suzuki, Yuichiro Yoshida1, Toshihiko Taguchi: Normal Values of Diffusion Tensor Magnetic Resonance Imaging Parameters in the Cervical Spinal Cord. *Asian Spine Journal*. 2015;9(4):541–547.
16. Rima S. Rindler, Falgun H. Chokshi, James G. Malcolm1, Sheila R. Eshraghi, Mahmud Mossa-Basha, Jason K. Chu1, Shekar N. Kurpad, Faiz U. Ahmad. Spinal Diffusion Tensor Imaging in Evaluation of Preoperative and Postoperative Severity of Cervical Spondylotic Myelopathy: Systematic Review of Literature. *World Neurosurg*. (2017) 99:150–158. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wneu.2016.11.141>