



ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

Оригинальная статья

УДК 616.711-021

<https://doi.org/10.52560/2713-0118-2025-1-27-41>

Изучение параметров диффузионно-тензорной МРТ плечевых сплетений и их взаимосвязи с биометрическими и демографическими показателями в норме

В. В. Синькова¹, С. Н. Морозова², Д. А. Гришина³, Т. А. Тумилович⁴, Н. А. Супонева⁵

^{1, 2, 3, 4, 5} Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Научный центр неврологии», Москва, Россия

¹ <https://orcid.org/0000-0003-2285-2725>

² <https://orcid.org/0000-0002-9093-344X>

³ <https://orcid.org/0000-0002-7924-3405>

⁴ <https://orcid.org/0000-0002-9538-9690>

⁵ <https://orcid.org/0000-0003-3956-6362>

Автор, ответственный за переписку: Виктория Викторовна Синькова, 000564321@gmail.ru

Аннотация

Знания числовых значений параметров диффузионно-тензорной магнитно-резонансной томографии (ДТ-МРТ) в норме, а также их взаимосвязь с демографическими, биометрическими показателями и основными параметрами стандартной МРТ важны для диагностики патологических изменений плечевых сплетений, особенно в случае неспецифичных или неоднозначных изменений по данным стандартной МРТ.

Цель исследования. Оценка возможности применения ДТ-МРТ для исследования плечевых сплетений, формирование алгоритма обработки данных и оценка распределения значений параметров в норме, а также исследование наличия их взаимосвязи с социально-демографическими и антропометрическими показателями.

Материалы и методы. В исследование были включены 50 здоровых добровольцев без признаков поражения периферической нервной системы (НС). Параметры ДТ-МРТ регистрировались на расстоянии 1–2 см от спинального ганглия с обеих сторон с помощью рабочей станции Siemens с ручным выставлением зоны интереса. Регистрировались такие параметры, как фракционная анизотропия, средняя диффузионная способность, аксиальный и радиальный коэффициенты диффузии. Кроме того, измерялся коэффициент интенсивности в той же точке при помощи стандартной трехмерной последовательности с подавлением сигнала от жировой ткани STIR.

Результаты. Были получены средние значения для каждого оцениваемого параметра. Статистически значимым оказалось различие фракционной анизотропии (ФА) между

© Синькова В. В., Морозова С. Н., Гришина Д. А., Тумилович Т. А., Супонева Н. А., 2025.

сторонами: справа существенно выше, чем слева. Также при корреляционном анализе отмечалась обратная взаимосвязь аксиальной диффузии (АД) с возрастом испытуемых с обеих сторон. А при разделении испытуемых по полу у мужчин были выявлены достоверно закономерно большие диаметр нерва, диаметр подключичной артерии, рост и вес.

Заключение. Наличие значимой отрицательной связи между АД с обеих сторон и возрастом может свидетельствовать о постепенном истончении нервного волокна с возрастом, различие измеряемых показателей у испытуемых разного пола и их зависимость от биометрических показателей закономерны, и это следует учитывать при интерпретации исследований у пациентов с различными патологическими состояниями, а существенное отличие ФА по сторонам не позволяет интерпретировать полученные данные по типу смешанной модели и требует рассмотрения числовых параметров для каждой из сторон отдельно.

Ключевые слова: магнитно-резонансная томография, диффузионно-тензорная МРТ, плечевые сплетения, количественные методики

Для цитирования: Синькова В. В., Морозова С. Н., Гришина Д. А., Тумилович Т. А., Супонева Н. А. Изучение параметров диффузионно-тензорной МРТ плечевых сплетений и их взаимосвязи с биометрическими и демографическими показателями в норме // Радиология — практика. 2025;1:27-41. <https://doi.org/10.52560/2713-0118-2025-1-27-41>

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 research

The Study of the Parameters of Diffusion Tensor MRI of Brachial Plexuses and Parameters Correlations with Demographic and Anthropometric Data

**Viktoriya V. Sin'kova¹, Sofya N. Morozova², Darya A. Grishina³,
Taisiya A. Tumilovich⁴, Natalya A. Suponeva⁵**

^{1, 2, 3, 4, 5} Research Center of Neurology, Moscow, Russia

¹ <https://orcid.org/0000-0003-2285-2725>

²<https://orcid.org/0000-0002-9093-344X>

³ <https://orcid.org/0000-0002-7924-3405>;

⁴<https://orcid.org/0000-0002-9538-9690>

⁵<https://orcid.org/0000-0003-3956-6362>

Corresponding author: Viktoriya V. Sin'kova, 000564321@mail.ru

Abstract

It is crucial to know the numerical values of diffusion tensor magnetic resonance imaging (DT-MRI) parameters in healthy subjects, as well as their correlation with demographic, biometric data and the key parameters of standard MRI, for the purpose of diagnosing pathological changes in brachial plexuses, especially when dealing with non-specific or unclear alterations according to standard magnetic resonance imaging finding.

Aim. Assessing the potential of using diffusion tensor magnetic resonance imaging (DT-MRI) to study brachial plexuses, developing an algorithm for data processing and evaluating the distribution of parameter values in normal conditions, as well as exploring whether they correlate with socio-demographic and anthropometric indicators.

Materials and Methods. The study included 50 healthy volunteers without signs of damage to the peripheral nervous system. The diffusion tensor MRI parameters were recorded at a distance of 1–2 cm from the spinal ganglion on both sides using the Siemens workstation with manual setting of the area of interest. Parameters such as fractional anisotropy, mean diffusivity, axial and radial diffusion coefficients were recorded. In addition, the intensity coefficient was measured at the same point using a standard three-dimensional sequence STIR images.

Results. The average values for each assessed parameter were obtained. A statistically significant difference in FA was found between the sides, with the right side being significantly higher than the left. Additionally, a negative correlation was observed between AD and the age of the subjects on both sides. When the subjects were categorized by gender, men exhibited significantly larger nerve diameter, subclavian artery diameter, height, and weight.

Conclusion. The presence of a significant negative correlation between AD on both sides and age may indicate a gradual thinning of nerve fibers as one ages. The differences in measured parameters among subjects of different genders and their dependence on biometric indicators are consistent and should be taken into account when interpreting studies in patients with various pathological conditions. Furthermore, the substantial difference in the functional asymmetry between sides prevents the interpretation of the obtained data using a mixed model and necessitates the examination of numerical parameters for each side separately.

Keywords: Magnetic Resonance Imaging, Diffusion Tensor MRI, Brachial Plexus, Quantitative Methods

For citation: Sin'kova V. V., Morozova S. N., Grishina D. A., Tumilovich T. A., Suponeva N. A. The study of the parameters of diffusion tensor MRI of brachial plexuses and parameters correlations with demographic and anthropometric data. *Radiology – Practice*. 2025;1:27-41. (In Russ.). <https://doi.org/10.52560/2713-0118-2025-1-27-41>

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.

Актуальность

Спектр известных на сегодня заболеваний периферической нервной системы (ПНС) очень широк, на их долю приходится больше половины из общего числа болезней нервной системы [1, 19].

Современная медицинская диагностика располагает рядом хорошо зарекомендовавших себя методик исследования периферических нервов, среди которых на первом месте стоит стимуляционная электронейромиография (ЭНМГ), позволяющая оценить проводящую функцию нервных волокон, определить распространенность и характер невралного поражения. К основным ограничениям ЭНМГ относятся методологическая сложность выполнения самого исследования, невозможность оценки проксимальных сегментов ПНС, а также оператор-зависимая интерпретация полученных данных [5, 6, 28]. Ультразвуковое исследование (УЗИ) также является одной из методик выбора в диагностике поражений периферических нервов разного генеза. Однако и УЗИ имеет некоторые ограничения, которые не позволяют решить ряд практических задач. Так, имеется сложность УЗИ структур плечевых сплетений в связи с близостью костных анатомических образований, небольшая глубина исследования при необходимом высоком разрешении [8, 19]. В этой связи проблемы диагностики и дифференциальной диагностики заболеваний ПНС с вовлечением плечевых сплетений сохраняются.

Все более широкое распространение в связи с техническим совершенствованием метода получает магнитно-резонансная томография (МРТ) плечевых сплетений, позволяющая в настоящее время добиться хорошего разрешения с минимальной толщиной срезов и большей контрастностью [19]. Стандартная МРТ плечевых сплетений, превосходно зарекомендовавшая себя в диагностике травм и объемных образований, дисиммунных нейропатий [10, 27] тем не менее предоставляет в основном неспецифичные (качественные) характеристики в виде утолщения и изменения сигнала от нервных структур. При этом в случае двусторонних симметричных изменений даже отличие патологии от нормы может быть затруднено [11, 13, 14].

В связи с этим исследователи начали обращаться к более сложным методикам нейровизуализации, позволяющим получить количественные данные для оценки структур плечевых сплетений. Среди них одной из наиболее перспективных является диффузионно-тензорная МРТ (ДТ-МРТ), с помощью которой возможно количественно оценить диффузию воды в биологических тканях [4, 9, 13].

К метрикам, рассчитываемым по данным тензора диффузии, относят среднюю диффузионную способность (mean diffusivity, СД) и фракционную анизотропию (fractional anisotropy, ФА), отражающих среднюю величину диффузии воды и степень ее направленности, а также наиболее важные для микроструктурной характеристики тканей

аксиальный (АД) и радиальный (РД) коэффициенты диффузии, характеризующие диффузионную способность вдоль основного направления диффузии и перпендикулярно ему соответственно. Упомянутые параметры оказались по-разному чувствительными к различным патологическим изменениям в веществе головного мозга [13, 15, 23].

Совершенствование технических характеристик МР-томографов сделало ДТ-МРТ применимой также для оценки спинного мозга и периферических нервных структур, обеспечив исследователей уникальной перспективной неинвазивной методикой количественной визуальной оценки состояния плечевых сплетений *in vivo*.

Очевидно, что для адекватного анализа патологических изменений плечевых сплетений по данным ДТ-МРТ первично необходимо определить нормальные показатели. Проведен ряд исследований, которые показали, что параметры ДТ-МРТ в передних ветвях спинномозговых нервов (СМН), формирующих плечевое сплетение, на разных уровнях на одной стороне не имеют значимых различий [18, 29], а полученные данные о наличии различий на одном уровне в зависимости от стороны противоречивы: ряд авторов отмечают, что справа показатели ФА, МД и РД больше [29], была также выявлена связь показателей с доминантной рукой, в то время как другие заявляют об отсутствии различий в зависимости от стороны тела [21]. Проводились исследования показателей ДТ-МРТ плечевых сплетений в норме в зависимости от количества используемых направлений [29], в различных исследованиях изучалась их взаимосвязь с полом, возрастом, поверхностью тела, массой тела и ростом [18]. Полученные данные также противоречивы и требуют уточнения.

Цель: изучение показателей ДТ-МРТ структур плечевых сплетений в норме; определение взаимосвязи харак-

теристик ДТ-МРТ с демографическими (пол, возраст), биометрическими (рост, вес, индекс массы тела) и стандартными нейрорадиологическими (толщина, интенсивность сигнала) параметрами.

Материалы и методы

В исследование были включены 50 здоровых добровольцев в возрасте от 23 до 75 лет без клинических симптомов и наличия в анамнезе поражения плечевых сплетений. Сканирование проводилось на МРТ-томографе Siemens Magnetom Prisma с величиной магнитной индукции 3 Тл по стандартному протоколу исследования плечевых сплетений, включавшему в том числе трехмерную последовательность STIR (TR = 3000 мс; TE = 281 мс; TI = 230 мс, размер реконструированного вокселя $0,4 \times 0,4 \times 0,9$ мм, FOV = 350 мм, количество срезов 144, длительность сканирования 7 мин 27 с), с добавлением последовательности для получения данных ДТ-МРТ (TR = 4900 мс, TE = 52,0 мс, FoV = 305 мм, количество направлений — 20, b-факторы — 0 и 1000×10^{-3} с/мм², размер реконструированного вокселя $1,3 \times 1,3 \times 2,5$ мм, толщина среза — 2,5 мм, длительность сканирования 7 мин 47 с).

Измерение толщины, интенсивности сигнала и параметров ДТ-МРТ проводилось на передних ветвях С7 спинномозговых нервов на расстоянии 1–2 см от спинального ганглия с обеих сторон. Ограничение измерений данным уровнем связано с тем, что ни в одном известном исследовании по ДТ-МРТ плечевых сплетений не было выявлено различий показателей в зависимости от уровня [18, 29], при этом передняя ветвь С7 имеет среди всех наибольшую толщину, так как формирует изолированный ствол, и наиболее удобна для измерения. Кроме того, передние ветви С5 и С6 спинномозговых нервов отходят под более острым углом и могут быть подвержены ложному повышению интенсивности сигнала в связи с эффектом

«магического угла», что может повлиять на значение коэффициента интенсивности (КИ), о котором будет сказано ниже; а передние ветви C8 и Th1 расположены ближе к верхушкам легких, сосудистым и костным структурам, что делает их более подверженными артефактам.

На цифровой рабочей станции рентгенолога Siemens с использованием встроенного стандартного программного обеспечения Neuro3D на аксиальных изображениях на расстоянии 1–2 см от спинального ганглия передней ветви C7 спинномозгового нерва с обеих сторон вручную выделялись области интереса площадью 3–4 мм² и регистрировались средние значения параметров ДТ-МРТ: фракционной анизотропии, средней диффузионной способности, радиального и аксиального коэффициентов диффузии (рис.).

Кроме того, по данным стандартной трехмерной последовательности STIR в той же точке измеряли толщину (перпендикулярно длинной оси) и интенсивность МР-сигнала для последующего расчета коэффициента интенсивности сигнала по формуле $КИ = (ИН - ИМ) / ИМ$, где ИН — интенсивность сигнала от нерва, ИМ — интенсивность сигнала от левой надостной мышцы согласно методике, предложенной ранее [3].

В анализ также были включены биометрические (рост, вес, индекс массы тела (ИМТ), рассчитанный по формуле $ИМТ = \text{вес (кг)} / \text{рост (м)}^2$) и демо-

графические (пол, возраст) показатели, а также диаметр подключичных артерий с обеих сторон (измерение проводилось на уровне границы передней и средней трети ключицы).

Статистический анализ проводился с использованием пакетов программ MS Excel и Statistica. Для описания количественных переменных использовалось среднее и стандартное отклонение ($M \pm SD$). Сравнение двух независимых групп проводилось с использованием U-критерия Манна — Уитни, сравнение двух зависимых групп (права и левая стороны) проводилось с использованием критерия Вилкоксона. Корреляционный анализ был выполнен с использованием коэффициента Спирмена. Нулевая гипотеза отвергалась при $p < 0,05$.

Результаты

В результате обработки выполненных на 50 здоровых добровольцах измерений параметров ДТ-МРТ и диаметров передних ветвей C7 были получены средние значения, представленные в табл. 1 в формате «среднее $\pm$ стандартное отклонение». При сравнении показателей на разных сторонах тела с использованием критерия Вилкоксона фракционная анизотропия справа ($0,47 \pm 0,068$) оказалась достоверно выше, чем слева ($0,45 \pm 0,064$), $p = 0,015$, иных отличий показателей ДТ-МРТ, а также диаметров нервных элементов между сторонами выявлено не было (табл. 1).

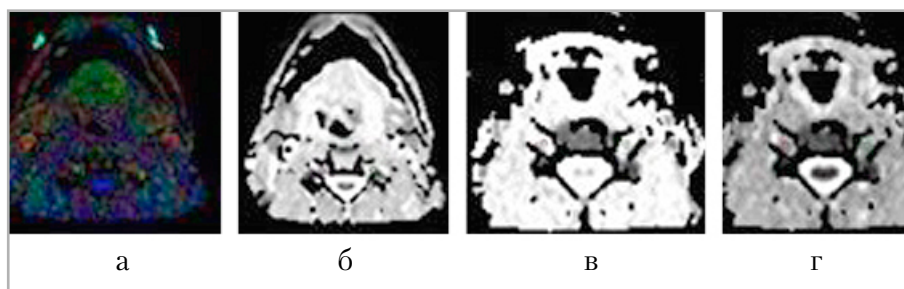


Рис. Регистрируемые параметры ДТ-МРТ. Выделенные вручную зоны интереса на передних ветвях спинномозгового нерва C7 с обеих сторон на картах ДТ-МРТ: а — цветная фракционная анизотропия; б — средняя диффузионная способность; в — аксиальный коэффициент диффузии; г — радиальный коэффициент диффузии

Таблица 1

**Сравнение показателей диаметра передней ветви С7 СМН
и параметров ДТ-МРТ слева и справа**

Измеряемые параметры	Сторона		Уровень значимости (p)*
	Справа	Слева	
Диаметр, М ± SD, мм	5,1 ± 0,8	5,1 ± 0,9	0,462
ФА, М ± SD	0,47 ± 0,068	0,45 ± 0,064	0,015
СД, М ± SD, 10 ⁻³ мм ² /с	1404,6 ± 143,5	1389,0 ± 120,7	0,487
АД, М ± SD, 10 ⁻³ мм ² /с	2152,3 ± 150,7	2115,2 ± 121,0	0,141
РД, М ± SD, 10 ⁻³ мм ² /с	1002,4 ± 94,3	983,9 ± 113,3	0,294

Примечание: данные представлены в виде среднего ± стандартное отклонение; * – сравнение показателей выполнялось по критерию Вилкоксона.

В качестве следующего этапа работы был проведен корреляционный анализ по Спирмену (табл. 2) между всеми регистрируемыми показателями: при исследовании связи параметров ДТ-МРТ с демографическими показателями была выявлена отрицательная взаимосвязь между возрастом и АД с обеих сторон, других достоверных корреляций параметров ДТ-МРТ с рассматриваемыми показателями (рост, масса, ИМТ, диаметр нерва, диаметр подключичной артерии, пол, КИ) выявлено не было. При анализе с помощью смешанной линейной модели (при совместном анализе двух сторон) также выявлена только значимая связь между возрастом и АД ($p = 0,001$).

Диаметр нерва с обеих сторон положительно коррелировал с ИМТ испытуемых при оценке с помощью коэффициента корреляции Спирмена (r_o): справа $r_o = 0,413$ и $0,396$, слева $r_o = 0,476$ и $0,440$ соответственно для всех $p < 0,05$.

При разделении испытуемых по полу у мужчин выявлены достоверно большие диаметры нерва и подключичной артерии, рост, вес и соответственно ИМТ ($p < 0,01$ по критерию Манна – Уитни) (табл. 3).

Обсуждение

В настоящем исследовании впервые на российской популяции взрослых здо-

ровых добровольцев было проведено измерение основных параметров ДТ-МРТ в структурах передних ветвей С7 спинномозгового нерва, а также проанализирована их взаимосвязь с совокупностью демографических (пол, возраст), биометрических (рост, вес, индекс массы тела) и нейрорентгенологических (толщина, коэффициент интенсивности сигнала) показателей, ранее не встретившаяся авторам в таком объеме по данным анализа опубликованных мировых исследований.

В результате настоящей работы были определены средние значения параметров ДТ-МРТ в передних ветвях С7 спинномозговых нервов с обеих сторон, представленные в табл. 1. Полученные числовые значения в целом сопоставимы с данными аналогичных исследований по ДТ-МРТ плечевых сплетений в норме. Они примерно соответствуют параметрам в глубоком белом веществе головного мозга, занимая промежуточную позицию между серым веществом головного мозга и показателями в мозолистом теле, что связано, вероятно, с менее плотным расположением волокон в периферических нервах по сравнению с мозолистым телом и обширным интраневральным перекрещиванием пучков [30].

При более тщательном изучении существующих данных о нормативных

Таблица 2

Результаты корреляционного анализа по Спирмену

Показатели ДТИ с двух сторон		Возраст, $p < 0,05^*$
ФА	справа	$r_o = -0,007$
	слева	$r_o = 0,037$
СД	справа	$r_o = -0,242$
	слева	$r_o = -0,166$
АД	справа	$r_o = -0,433^*$
	слева	$r_o = -0,318^*$
РД	справа	$r_o = 0,084$
	слева	$r_o = -0,051$

Примечание: * — корреляционный анализ по Спирмену.

Таблица 3

Различие измеряемых показателей по полу

Изменяемые параметры		Мужчины (n = 16)	Женщины (n = 34)
Диаметр нерва, мм	справа	$5,53 \pm 0,91$	$4,89 \pm 0,65$
	слева	$5,68 \pm 0,93$	$4,86 \pm 0,70$
Диаметр подклю- чичной артерии, мм	справа	$8,41 \pm 0,99$	$7,34 \pm 1,47$
	слева	$8,43 \pm 1,09$	$7,53 \pm 1,68$
Масса тела, кг		$69,57 \pm 12,06$	$64,73 \pm 10,1$
ИМТ		$25,38 \pm 3,29$	$24,03 \pm 3,25$

Примечание: данные представлены в виде среднего $\pm$ стандартное отклонение.

показателях диффузионно-тензорной МРТ плечевых сплетений в норме обращает на себя внимание, что в части исследований были получены аналогичные параметры: так, в исследовании Su X. et al. (2019) [21] суммарная ФА передних ветвей С7 СМН по двум сторонам составила $0,479 \pm 0,08$, СД — $1,4 \pm 0,13 \times 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}$. В указанной работе исследователи использовали последовательность со сбором данных по 20 направлениям [21], так же, как и в настоящей работе, на аппарате того же вендора, однако b-фактор был равен $900 \times 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}$.

При этом существуют данные о более низких показателях параметров ДТ-МРТ в норме: так, в исследовании

Oudemans J. et al. (2018) [19] были определены следующие значения параметров ДТ-МРТ суммарно по двум сторонам: ФА = $0,34 \pm 0,03$, СД = $1,35 \pm 0,09 \times 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}$, РД = $1,09 \pm 0,09 \times 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}$, АД = $1,86 \pm 0,11 \times 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}$, рассчитанных по данным последовательности со сбором данных по 15 направлениям на 3 Тл МР-томографе другого производителя с b-фактором $800 \times 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}$.

В одной из первых работ по применению ДТ-МРТ при исследованиях плечевых сплетений на 3 Тл томографах Tagliafico A. et al. (2011) [22] также были получены более низкие значения ФА (передняя ветвь С7 справа $0,321 \pm 0,05$, слева — $0,319 \pm 0,06$) с выраженной асимметрией значений СД (передняя

ветвь С7 справа $1,49 \pm 0,04 \times 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}$, слева $1,34 \pm 0,03 \times 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}$), исследование проводилось на томографе, отличном от предыдущих производителей, со сбором данных по 32 направлениям с b-фактором $1000 \times 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}$. По данным метаанализа нормативных значений параметров ДТ-МРТ плечевых сплетений исследований, проведенных Wade R. G. и соавт. (2020) [29] на различных МР-сканерах (производитель, величина магнитной индукции) с различными параметрами сканирования (количество направлений, b-фактор), куда вошли и упомянутые выше исследования, были определены объединенные средние значения параметров ДТ-МРТ, которые составили для ФА 0,36 [95% доверительный интервал 0,34, 0,38], для СД $1,51 \times 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}$ [95% доверительный интервал 1,45, 1,56], при этом каждые дополнительные 10 направлений в среднем снижали ФА на 0,01, а СД на $0,03 \times 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}$. Среди всех вошедших в метаанализ исследований сопоставимым по числу испытуемых с данной работой было только исследование Su X. et al. (2019) [21]. Таким образом, очевидным становится факт, что на характеристики ДТ-МРТ влияют условия и параметры сканирования, и для проведения исследований пациентов с различными патологическими состояниями плечевых сплетений предпочтительным является набор группы здоровых добровольцев для объективного сравнения показателей.

Кроме того, в проведенной работе был наибольший разброс респондентов по возрасту по сравнению с данными проанализированных опубликованных работ по ДТ-МРТ плечевых сплетений, что в том числе может объяснить полученную отрицательную взаимосвязь между возрастом и аксиальным коэффициентом диффузии как с правой, так и с левой стороны.

Существуют данные о снижении ФА в белом веществе головного моз-

га [20], снижении ФА и увеличении СД в белом веществе спинного мозга [26] с возрастом, а также о постепенном снижении ФА большеберцовых нервов у испытуемых старше 45 лет [24]. В представленной работе достоверной корреляции ФА с возрастом выявлено не было, однако формула расчета фракционной анизотропии такова, что уменьшение аксиального коэффициента диффузии неизбежно приведет к снижению фракционной анизотропии. Таким образом, полученные данные согласуются с результатами предыдущих исследований, а аксиальный коэффициент диффузии можно рассматривать как параметр, более чувствительный к постепенно происходящей с возрастом (в рамках нормального старения) аксональной дегенерации [16, 17, 25].

В работе Wade R. G. et al. (2021) [24] были выявлены различия в значениях фракционной анизотропии относительно стороны тела: выше справа, что также подтверждается и данными настоящего исследования. Тем не менее различия невелики и труднообъяснимы с биологической точки зрения, что требует дальнейших исследований на больших выборках, в том числе у испытуемых с доминантной левой рукой.

Других значимых различий и корреляций параметров ДТ-МРТ в настоящей работе выявлено не было, однако наблюдались закономерные различия морфометрических показателей в зависимости от пола испытуемых (у мужчин толщина нервов, артерий, масса тела и рост оказались выше).

Заключение

В заключение следует отметить, что, несмотря на полученные близкие к литературным данным значения параметров ДТ-МРТ элементов плечевых сплетений, существующие незначительные различия в настоящее время не позволяют опираться на уже опубликованные данные в плане определения нормы

и требуют набора контрольной группы для каждого исследования патологии плечевых сплетений, а также более крупных исследований параметров в зависимости от производителя аппаратуры, параметров сканирования, методов постобработки. Выявленное различие фракционной анизотропии в зависимости от стороны тела, хотя и может являться статистической ошибкой, не позволяет интерпретировать полученные данные по типу смешанной модели и требует рассмотрения числовых параметров для каждой из сторон отдельно. Обнаруженная корреляция аксиального коэффициента диффузии с возрастом свидетельствует о необходимости учитывать это параметр при оценке значений ДТ-МРТ при исследовании патологий плечевых сплетений.

Список источников

1. Варакин Ю. Я., Горностаева Г. В., Манвелов Л. С., Константинов В. В., Суслина З. А. Клинико-эпидемиологическое исследование патологии нервной системы по данным скрининга открытой популяции // *Анналы клинической и экспериментальной неврологии*. 2012. Т. 6, № 1. С. 6–13.
2. Морозова С. Н., Синькова В. В., Гришина Д. А., Тумилович Т. А., Четкин А. О., Кротенкова М. В., Супонева Н. А. Основы стандартной визуализации периферической нервной системы: МР-нейрография // *Digital Diagnostics*. 2023. Т. 4, № 3. С. 356–368. <https://doi.org/10.17816/DD430292>
3. Синькова В. В., Морозова С. Н., Гришина Д. А., Тумилович Т. А., Кротенкова М. В., Супонева Н. А. Роль коэффициента интенсивности МР-сигнала в дифференциальной диагностике мультифокальной моторной нейропатии и синдрома Льюиса — Самнера // *Анналы клинической и экспериментальной неврологии*. 2025 (принята в печать, № 3).
4. Aoki S., Masutani Y., Abe O. Magnetic resonance diffusion tractography in the brain — its application and limitation. *Brain Nerve*. 2007;59(5):467-76. Japanese. PMID: 17533972.
5. Chhabra A., Thakkar R. S., Andreisek G., Chalian M., Belzberg A. J., Blakeley J., Hoke A., Thawait G. K., Eng J., Carrino J. A. Anatomic MR Imaging and Functional Diffusion Tensor Imaging of Peripheral Nerve Tumors and Tumorlike Conditions. *Am. J. Neuroradiol.* 2013;34:802-807. PMID: 23124644
6. Gooch C. L., Weimer L. H. The electrodiagnosis of neuropathy: basic principles and common pitfalls. *Neurol. Clin.* 2007;25:1-28. <https://doi.org/10.1016/j.ncl.2007.01.011>
7. Hammi C., Yeung B. Neuropathy. StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing. 2023. Free Books & Documents. PMID: 31194377.
8. Haun D. W., Cho J. C. S. S., Kettner N. W. Normative cross-sectional area of the C5-C8 nerve roots using ultrasonography. *Ultrasound Med. Biol.* 2010;36:1422-30. <https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2010.05.012>
9. Jellison B. J., Field A. S., Medow J., Lazar M., Salamat M. S., Alexander A. L. Diffusion tensor imaging of cerebral white matter: a pictorial review of physics, fiber tract anatomy, and tumor imaging patterns. *AJNR Am. J. Neuroradiol.* 2004;25(3):356-69. PMID: 15037456; PMCID: PMC8158568.
10. Joint Task Force of the EFNS and the PNS. European Federation of Neurological Societies / Peripheral Nerve Society guideline on management of multifocal motor neuropathy. Report of a joint task force of the European Federation of Neurological Societies and the Peripheral Nerve Society — first revision. *Journal of the Peripheral Nervous System*. 2010;15(4):295-301. <https://doi.org/10.1111/j.1529-8027.2010.00290.x>
11. Kwee R. M., Chhabra A., Wang K. C., Marker D. R., Carrino J. A. Accuracy of MRI in Diagnosing Peripheral Nerve Disease: A Systematic Review of the

- Literature. *Am. J. Roentgenol.* 2014;203:1303-1309. <https://doi.org/10.2214/AJR.13.12403>
12. Le Bihan D., Breton E., Lallemand D., Grenier P., Cabanis E., Laval-Jeantet M. MR imaging of intravoxel incoherent motions: application to diffusion and perfusion in neurologic disorders. *Radiology.* 1986;161:401-407. <https://doi.org/10.1148/radiology.161.2.3763909>
13. Lehmann H. C., Zhang J., Mori S., Sheikh K. A. Diffusion tensor imaging to assess axonal regeneration in peripheral nerves. *Exp. Neurol.* Elsevier Inc. 2010;223:238-244. <https://doi.org/10.1016/j.expneurol.2009.10.012>
14. Lozeron P., Lacour M-C., Vandendries C., Théaudin M., Cauquil C., Denier C. Lacroix C., Adams D. Contribution of plexus MRI in the diagnosis of atypical chronic inflammatory demyelinating polyneuropathies. *J. Neurol. Sci.* 2016;360:170-5. <https://doi.org/10.1016/j.jns.2015.11.048>
15. Mathys C., Aissa J., Zu Hörste G. M., Reichelt D. C., Antoch G., Turowski B., Hartung H. P., Sheikh K. A., Lehmann H. C. Peripheral neuropathy: assessment of proximal nerve integrity by diffusion tensor imaging. *Muscle Nerve.* 2013;48:889-96. <https://doi.org/10.1002/mus.23855>
16. Matsumoto H., Konoma Y., Shimizu T. Okabe S., Shiota Y., Hanajima R., Terao Y., Ugawa Y. Aging influences central motor conduction less than peripheral motor conduction: a transcranial magnetic stimulation study. *Muscle Nerve.* 2012;46:932-936. <https://doi.org/10.1002/mus.23430>
17. Moriyama H., Amano K., Itoh M., Shimada K., Otsuka N. Morphometric aspects of peripheral nerves in adults and the elderly. *J. Peripher. Nerv. Syst.* 2007;12(3):205-209. <https://doi.org/10.1111/j.1529-8027.2007.00140.x>
18. Oudeman J., Verhamme C., Engbersen M. P., Caan M. W. A., Maas M., Froeling M., Nederveen A. J., Strijkers G. J. Diffusion tensor MRI of the healthy brachial plexus. *PLoS One.* 2018;9;13(5):e0196975. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0196975>
19. Padua L., Hobson-Webb L. D. Ultrasound as the first choice for peripheral nerve imaging? *Neurology.* 2013;80:1626-7. <https://doi.org/10.1212/WNL.0b013e3182905017>
20. Pfefferbaum A., Sullivan E. V. Increased brain white matter diffusivity in normal adult aging: relationship to anisotropy and partial voluming. *Magn. Reson. Med.* 2003;49(5):953-61. <https://doi.org/10.1002/mrm.10452>
21. Su X., Kong X., Liu D., Kong X., Alwalid O., Wang J., Shu S., Zheng C. Multimodal magnetic resonance imaging of peripheral nerves: Establishment and validation of brachial and lumbosacral plexi measurements in 163 healthy subjects. *Eur. J. Radiol.* 2019;117:41-48. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2019.05.017>
22. Tagliafico A., Calabrese M., Puntoni M., Pace D., Baio G., Neumaier C. E., Martinoli C. Brachial plexus MR imaging: accuracy and reproducibility of DTI-derived measurements and fibre tractography at 3.0-T. *Eur. Radiol.* 2011;21(8):1764-71. <https://doi.org/10.1007/s00330-011-2100-z>
23. Takagi T., Nakamura M., Yamada M., Hishikawa K., Momoshima S., Fujiyoshi K., Shibata S., Okano H. J., Toyama Y., Okano H. Visualization of peripheral nerve degeneration and regeneration: Monitoring with diffusion tensor tractography. *Neuroimage.* Elsevier Inc. 2009;44(3):884-892. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2008.09.022>
24. Tanitame K., Iwakado Y., Akiyama Y., Ueno H., Ochi K., Otani K., Takasu M., Date S., Awai K. Effect of age on the fractional anisotropy (FA) value of peripheral nerves and clinical significance of the age-corrected FA value for evaluating polyneuropathies. *Neuroradiology.* 2012;54(8):815-21. <https://doi.org/10.1007/s00234-011-0981-9>
25. Ugrenović S., Jovanović I., Vasović L., Kundalić B., Čukuranović R., Stefanović V.

- Morphometric analysis of the diameter and g-ratio of the myelinated nerve fibers of the human sciatic nerve during the aging process. *Anat. Sci. Int.* 2016;91(3): 238-245. <https://doi.org/10.1007/s12565-015-0287-9>
26. Van Hecke W., Leemans A., Sijbers J., Vandervliet E., Van Goethem J., Parizel P. M. A tracking-based diffusion tensor imaging segmentation method for the detection of diffusion-related changes of the cervical spinal cord with aging. *J. Magn. Reson. Imaging.* 2008;27(5):978-91. <https://doi.org/10.1002/jmri.21338>
 27. Van den Bergh P. Y. K., van Doorn P. A., Hadden R. D. M., Avau B., Vankrunkelsven P., Allen J. A., Attarian S., Blomkwist-Markens P. H., Cornblath D. R., Eftimov F., Goedee H. S., Harbo T., Kuwabara S., Lewis R. A., Lunn M. P., Nobile-Orazio E., Querol L., Rajabally Y. A., Sommer C., Topaloglu H. A. European Academy of Neurology / Peripheral Nerve Society guideline on diagnosis and treatment of chronic inflammatory demyelinating polyradiculoneuropathy: Report of a joint Task Force — Second revision. *J. Peripher. Nerv. Syst.* 2021;26(3):242-268. <https://doi.org/10.1111/jns.12455>
 28. Vargas M., Gariani J., Delattre B., Dietemann J-L., Lovblad K., Becker M. Three-Dimensional MR Imaging of the Brachial Plexus. *Semin Musculoskelet Radiol.* 2015;19(2):137-148. <https://doi.org/10.1055/s-0035-1546300>
 29. Wade R. G., Whittam A., Teh I., Andersson G., Yeh F. C., Wiberg M., Bourke G. Diffusion tensor imaging of the roots of the brachial plexus: a systematic review and meta-analysis of normative values. *Clin. Transl. Imaging.* 2020;8(6):419-431. <https://doi.org/10.1007/s40336-020-00393-x>
 30. Wade R. G., Teh I., Andersson G., Yeh F. C., Wiberg M., Bourke G. Fractional anisotropy thresholding for deterministic tractography of the roots of the brachial plexus. *Sci. Rep.* 2021;11(1):80. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-79840-8>
- ## References
1. Varakin Yu. Ya., Gornostaeva G. V., Manvelov L. S., Konstantinov V. V., Suslina Z. A. Clinical and epidemiological study of the nervous system diseases according to screening of the open population. *Annals of Clinical and Experimental Neurology.* 2012;6(1):6-13. (In Russ.).
 2. Morozova S. N., Sin'kova V. V., Grishina D. A., Tumilovich T. A., Chechetkin A. O., Krotenkova M. V., Suponeva N. A. Conventional magnetic resonance imaging of peripheral nerves: MR-neurography. *Digital Diagnostics.* 2023;4(3):356-368. (In Russ.). <https://doi.org/10.17816/DD430292>
 3. Sin'kova V. V., Morozova S. N., Grishina D. A., Tumilovich T. A., Krotenkova M. V., Suponeva N. A. The Role of Quantitative Approach in Evaluating Standard MRI of Brachial Plexus in the Diagnosis of Multifocal Motor Neuropathy and Lewis-Sumner Syndrome. *Annals of Clinical and Experimental Neurology.* 2025;3. (accepted for publication) (In Russ.).
 4. Aoki S., Masutani Y., Abe O. Magnetic resonance diffusion tractography in the brain — its application and limitation. *Brain Nerve.* 2007;59(5):467-76. Japanese. PMID: 17533972.
 5. Chhabra A., Thakkar R. S., Andreisek G., Chalian M., Belzberg A. J., Blakeley J., Hoke A., Thawait G. K., Eng J., Carrino J. A. Anatomic MR Imaging and Functional Diffusion Tensor Imaging of Peripheral Nerve Tumors and Tumorlike Conditions. *Am. J. Neuroradiol.* 2013;34: 802-807. PMID: 23124644.
 6. Gooch C. L., Weimer L. H. The electrodiagnosis of neuropathy: basic principles and common pitfalls. *Neurol. Clin.* 2007; 25:1-28. <https://doi.org/10.1016/j.ncl.2007.01.011>
 7. Hammi C., Yeung B. Neuropathy. StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing. 2023. Free Books & Documents. PMID: 31194377.
 8. Haun D. W., Cho J. C. S. S., Kettner N. W. Normative cross-sectional area of the C5-

- C8 nerve roots using ultrasonography. *Ultrasound Med. Biol.* 2010;36:1422-30. <https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2010.05.012>
9. Jellison B. J., Field A. S., Medow J., Lazar M., Salamat M. S., Alexander A. L. Diffusion tensor imaging of cerebral white matter: a pictorial review of physics, fiber tract anatomy, and tumor imaging patterns. *AJNR Am. J. Neuroradiol.* 2004;25(3):356-69. PMID: 15037456; PMCID: PMC8158568.
10. Joint Task Force of the EFNS and the PNS. European Federation of Neurological Societies / Peripheral Nerve Society guideline on management of multifocal motor neuropathy. Report of a joint task force of the European Federation of Neurological Societies and the Peripheral Nerve Society — first revision. *Journal of the Peripheral Nervous System.* 2010;15(4):295-301. <https://doi.org/10.1111/j.1529-8027.2010.00290.x>
11. Kwee R. M., Chhabra A., Wang K. C., Marker D. R., Carrino J. A. Accuracy of MRI in Diagnosing Peripheral Nerve Disease: A Systematic Review of the Literature. *Am. J. Roentgenol.* 2014;203:1303-1309. <https://doi.org/10.2214/AJR.13.12403>
12. Le Bihan D., Breton E., Lallemand D., Grenier P., Cabanis E., Laval-Jeantet M. MR imaging of intravoxel incoherent motions: application to diffusion and perfusion in neurologic disorders. *Radiology.* 1986;161:401-407. <https://doi.org/10.1148/radiology.161.2.3763909>
13. Lehmann H. C., Zhang J., Mori S., Sheikh K. A. Diffusion tensor imaging to assess axonal regeneration in peripheral nerves. *Exp. Neurol. Elsevier Inc.* 2010;223:238-244. <https://doi.org/10.1016/j.expneurol.2009.10.012>
14. Lozeron P., Lacour M-C., Vandendries C., Théaudin M., Cauquil C., Denier C., Lacroix C., Adams D. Contribution of plexus MRI in the diagnosis of atypical chronic inflammatory demyelinating polyneuropathies. *J. Neurol. Sci.* 2016;360:170-5. <https://doi.org/10.1016/j.jns.2015.11.048>
15. Mathys C., Aissa J., Zu Hörste G. M., Reichelt D. C., Antoch G., Turowski B., Hartung H. P., Sheikh K. A., Lehmann H. C. Peripheral neuropathy: assessment of proximal nerve integrity by diffusion tensor imaging. *Muscle Nerve.* 2013;48:889-96. <https://doi.org/10.1002/mus.23855>
16. Matsumoto H., Konoma Y., Shimizu T., Okabe S., Shiota Y., Hanajima R., Terao Y., Ugawa Y. Aging influences central motor conduction less than peripheral motor conduction: a transcranial magnetic stimulation study. *Muscle Nerve.* 2012;46:932-936. <https://doi.org/10.1002/mus.23430>
17. Moriyama H., Amano K., Itoh M., Shimada K., Otsuka N. Morphometric aspects of peripheral nerves in adults and the elderly. *J. Peripher. Nerv. Syst.* 2007;12(3):205-209. <https://doi.org/10.1111/j.1529-8027.2007.00140.x>
18. Oudeman J., Verhamme C., Engbersen M. P., Caan M. W. A., Maas M., Froeling M., Nederveen A. J., Strijkers G. J. Diffusion tensor MRI of the healthy brachial plexus. *PLoS One.* 2018;9;13(5):e0196975. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0196975>
19. Padua L., Hobson-Webb L. D. Ultrasound as the first choice for peripheral nerve imaging? *Neurology.* 2013;80:1626-7. <https://doi.org/10.1212/WNL.0b013e3182905017>
20. Pfefferbaum A., Sullivan E. V. Increased brain white matter diffusivity in normal adult aging: relationship to anisotropy and partial voluming. *Magn. Reson. Med.* 2003;49(5):953-61. <https://doi.org/10.1002/mrm.10452>
21. Su X., Kong X., Liu D., Kong X., Alwalid O., Wang J., Shu S., Zheng C. Multimodal magnetic resonance imaging of peripheral nerves: Establishment and validation of brachial and lumbosacral plexi measurements in 163 healthy subjects. *Eur. J. Radiol.* 2019;117:41-48. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2019.05.017>

22. Tagliafico A., Calabrese M., Puntoni M., Pace D., Baio G., Neumaier C. E., Martinoli C. Brachial plexus MR imaging: accuracy and reproducibility of DTI-derived measurements and fibre tractography at 3.0-T. *Eur. Radiol.* 2011;21(8):1764-71. <https://doi.org/10.1007/s00330-011-2100-z>
23. Takagi T., Nakamura M., Yamada M., Hikishima K., Momoshima S., Fujiyoshi K., Shibata S., Okano H. J., Toyama Y., Okano H. Visualization of peripheral nerve degeneration and regeneration: Monitoring with diffusion tensor tractography. *Neuroimage*. Elsevier Inc. 2009; 44(3):884-892. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2008.09.022>
24. Tanitame K., Iwakado Y., Akiyama Y., Ueno H., Ochi K., Otani K., Takasu M., Date S., Awai K. Effect of age on the fractional anisotropy (FA) value of peripheral nerves and clinical significance of the age-corrected FA value for evaluating polyneuropathies. *Neuroradiology*. 2012;54(8): 815-21. <https://doi.org/10.1007/s00234-011-0981-9>
25. Ugrenović S., Jovanović I., Vasović L., Kundalić B., Čukuranović R., Stefanović V. Morphometric analysis of the diameter and g-ratio of the myelinated nerve fibers of the human sciatic nerve during the aging process. *Anat. Sci. Int.* 2016;91(3): 238-245. <https://doi.org/10.1007/s12565-015-0287-9>
26. Van Hecke W., Leemans A., Sijbers J., Vandervliet E., Van Goethem J., Parizel P. M. A tracking-based diffusion tensor imaging segmentation method for the detection of diffusion-related changes of the cervical spinal cord with aging. *J. Magn. Reson. Imaging*. 2008;27(5):978-91. <https://doi.org/10.1002/jmri.21338>
27. Van den Bergh P. Y. K., van Doorn P. A., Hadden R. D. M., Avau B., Vankrunkelsven P., Allen J. A., Attarian S., Blomkwist-Markens P. H., Cornblath D. R., Eftimov F., Goedee H. S., Harbo T., Kuwabara S., Lewis R. A., Lunn M. P., Nobile-Orazio E., Querol L., Rajabally Y. A., Sommer C., Topaloglu H. A. European Academy of Neurology / Peripheral Nerve Society guideline on diagnosis and treatment of chronic inflammatory demyelinating polyradiculoneuropathy: Report of a joint Task Force – Second revision. *J. Peripher. Nerv. Syst.* 2021;26(3):242-268. <https://doi.org/10.1111/jns.12455>
28. Vargas M., Gariani J., Delattre B., Dietemann J-L., Lovblad K., Becker M. Three-Dimensional MR Imaging of the Brachial Plexus. *Semin Musculoskelet Radiol.* 2015;19(2):137-148. <https://doi.org/10.1055/s-0035-1546300>
29. Wade R. G., Whittam A., Teh I., Andersson G., Yeh F. C., Wiberg M., Bourke G. Diffusion tensor imaging of the roots of the brachial plexus: a systematic review and meta-analysis of normative values. *Clin. Transl. Imaging*. 2020;8(6):419-431. <https://doi.org/10.1007/s40336-020-00393-x>
30. Wade R. G., Teh I., Andersson G., Yeh F. C., Wiberg M., Bourke G. Fractional anisotropy thresholding for deterministic tractography of the roots of the brachial plexus. *Sci. Rep.* 2021;11(1):80. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-79840-8>

Сведения об авторах / Information about the authors

Синькова Виктория Викторовна, врач-рентгенолог, аспирант отдела лучевой диагностики Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Научный центр неврологии», Москва, Россия. Вклад автора: нейровизуализационное обследование испытуемых, обзор публикаций по теме статьи, разметка обработанных данных для получения количественных параметров, статистический анализ данных, написание статьи, подготовка иллюстраций.

Sin'kova Viktoriya Viktorovna, Postgraduate, Radiologist of the Department of Neuroradiology, Research Center of Neurology, Moscow, Russia.

Author's contribution: MRI examination, review of publications on the topic of the article, ROI placement and data collection, statistical analysis, writing the article, illustrations preparing.

Морозова Софья Николаевна, врач-рентгенолог, кандидат медицинских наук, научный сотрудник отделения лучевой диагностики ФГБНУ «Научный центр неврологии», Москва, Россия.

Вклад автора: нейровизуализационное обследование испытуемых, обзор публикаций по теме статьи.

Morozova Sofya Nikolaevna, Cand. Sci. (Med.), researcher, Neuroradiology department, Research Center of Neurology, Moscow, Russia.

Author's contribution: MRI examination, review of publications on the topic of the article.

Гришина Дарья Александровна, кандидат медицинских наук, руководитель Центра заболеваний периферической нервной системы Института клинической и профилактической неврологии Научного центра неврологии, Москва, Россия.

Вклад автора: обзор публикаций по теме статьи, научная консультация, контроль отсутствия поражения плечевых сплетений у здоровых добровольцев.

Grishina Daria Aleksandrovna, Cand. Sci. (Med.), Head, Center for Peripheral Nervous System Diseases, Institute of Clinical and Preventive Neurology, Research Center of Neurology, Moscow, Russia.

Author's contribution: review of publications on the topic of the article, confirmation of absence of brachial plexus damage in volunteers, scientific consultation, text editing.

Тумилович Таисия Александровна, врач-невролог Центра заболеваний периферической нервной системы Института клинической и профилактической неврологии Научного центра неврологии, Москва, Россия.

Вклад автора: подбор испытуемых для включения в исследование.

Tumilovich Taisiya Aleksandrovna, Neurologist, Center for Peripheral Nervous System Diseases, Institute of Clinical and Preventive Neurology, Research Center of Neurology, Moscow, Russia.

Author's contribution: healthy controls recruitment.

Супонева Наталья Александровна, доктор медицинских наук, член-корреспондент РАН, профессор, директор Института нейрореабилитации и восстановительной медицины Научного центра неврологии, Москва, Россия.

Вклад автора: научная консультация, концептуализация исследования, написание статьи.

Suponeva Natalia Aleksandrovna, D. Sci. (Med.), Corresponding Member of RAS, Director, Institute of Neuro-rehabilitation and Rehabilitation Medicine, Research Center of Neurology, Moscow, Russia.

Author's contribution: scientific consultation, review conceptualization, text editing.

Статья поступила в редакцию 27.08.2024;
одобрена после рецензирования 26.09.2024;
принята к публикации 26.09.2024.

The article was submitted 27.08.2024;
approved after reviewing 26.09.2024;
accepted for publication 26.09.2024.