



ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)

<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1224>

МРТ в оценке церебрального поражения и церебропротективных эффектов ренальной денервации при резистентной артериальной гипертонии

© Сухарева А.Е. *, Фальковская А.Ю., Усов В.Ю., Мордовин В.Ф., Манукян М.А., Баев А.Е., Солонская Е.И., Зюбанова И.В., Максимова А.С., Рюмшина Н.И., Шелковникова Т.А., Мочула О.В., Завадовский К.В.

НИИ кардиологии Томского НИМЦ РАН; 634012 Томск, ул. Киевская, 111-А, Российская Федерация

Цель проспективного одноцентрового сравнительного исследования: анализ характера и эксплицированности структурных изменений головного мозга (ГМ) у больных резистентной артериальной гипертензией (РАГ) по данным МРТ-исследований и их изменения через год после ренальной денервации (РДН).

Материал и методы. В исследование включено 53 человека с РАГ в возрасте $52,1 \pm 9,1$ года, которым была выполнена процедура РДН согласно правилам надлежащей клинической практики. Пациентам проводились измерение «офисных» значений АД, суточное мониторирование АД, оценка показателей МРТ ГМ. При МРТ ГМ оценивались объем ликвора ГМ; наличие и степень повреждения перивентрикулярного белого вещества и очаговых изменений белого вещества ГМ.

Результаты. Исходно у больных РАГ была отмечена высокая частота структурных изменений ГМ: с мелкофокальными повреждениями – 43 (81%) человека, с расширением ликворных пространств – 43 (81%), с повреждением перивентрикулярного белого вещества – 48 (90%). После РДН был отмечен значимый гипотензивный эффект. По данным МРТ ГМ количество пациентов без расширения ликворных пространств значительно не изменилось: исходно – 15 (25%) человек, через год – 12 (20%) ($\chi^2 = 0,63$ $p = 0,43$ и $\chi^2 = 0,72$ $p = 0,40$). Через год после РДН частота встречаемости повреждения перивентрикулярного белого вещества ГМ значительно не изменилась, однако было отмечено существенное уменьшение частоты мелкофокальных повреждений ГМ у 21 человека (с 81 до 60%, $p = 0,02$).

Заключение. Таким образом, было выявлено, что больные РАГ характеризуются достаточно высокой частотой структурных изменений ГМ по данным МРТ-исследований. Проведение двусторонней РДН через год наблюдения сопровождается снижением частоты встречаемости пациентов с мелкофокальными повреждениями ГМ без значимого изменения объема ликвора головного мозга.

Ключевые слова: МРТ, головной мозг, артериальная гипертензия, ренальная денервация

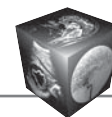
Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Сухарева А.Е., Фальковская А.Ю., Усов В.Ю., Мордовин В.Ф., Манукян М.А., Баев А.Е., Солонская Е.И., Зюбанова И.В., Максимова А.С., Рюмшина Н.И., Шелковникова Т.А., Мочула О.В., Завадовский К.В. МРТ в оценке церебрального поражения и церебропротективных эффектов ренальной денервации при резистентной артериальной гипертонии. *Медицинская визуализация*. 2023; 27 (3): 12–23. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1224>

Поступила в редакцию: 22.06.2022.

Принята к печати: 19.12.2022.

Опубликована online: 28.06.2023.



MRI in the assessment of cerebral injury and cerebroprotective effects of renal denervation in resistant hypertension

© Anna E. Sukhareva*, Alla Yu. Falkovskaya, Vladimir Yu. Usov, Viktor F. Mordovin, Musheg A. Manukyan, Andrey E. Baev, Ekaterina I. Solonskaya, Irina V. Zyubanova, Alexandra S. Maksimova, Nadezhda I. Ryumshina, Tatiana A. Shelkovnikova, Olga V. Mochula, Konstantin V. Zavadovsky

Institute of Cardiology of the Tomsk National medical research center of the Russian Academy of Sciences; 111-A, Kievskaya str., Tomsk 634012, Russian Federation

The purpose of this single-centre, prospective, comparative study was to evaluate the pattern and severity of the brain structural changes in patients with resistant hypertension based on MRI assessments and their changes one year after renal denervation.

Material and Methods. The study comprised 53 patients with resistant hypertension (RH), aged 52.1 ± 9.1 years, who underwent renal denervation (RDN) following the Good Clinical Practice guidelines. Patients underwent office blood pressure measurements, 24-hour blood pressure monitoring (BPM), and brain MRI scanning. Using brain MRI, the cerebrospinal fluid (CSF) system measurements, the presence and severity of periventricular white matter lesion and focal changes in the brain white matter were evaluated.

Results. Initially, patients with RH had a high incidence of the structural brain alterations: 43 (81%) patients with fine focal brain lesions, 43 (81%) patients with enlarged CSF spaces, and 48 (90%) patients with periventricular white matter lesions. After renal denervation, a significant hypotensive effect was noted. According to brain MRI, the number of patients without enlarged CSF spaces did not change significantly: 15 (25%) patients initially, and 12 (20%) patients a year later ($\chi^2 = 0.63$, $p = 0.43$ и $\chi^2 = 0.72$, $p = 0.40$). The incidence of periventricular white matter lesion did not significantly change one year after RDN; however, the incidence of fine focal brain lesions significantly decreased in 21 patients (81% to 60%, $p = 0.02$).

Conclusion. Thus, it has been revealed that patients with resistant hypertension are characterised by a high incidence of structural brain alterations based on MRI assessments. Bilateral renal denervation is followed by a significant decrease in the incidence of fine focal brain lesions, without a significant change in the cerebrospinal fluid volume one year after the procedure.

Keywords: MRI, brain, hypertension, renal denervation

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest. The study had no sponsorship.

For citation: Sukhareva A.E., Falkovskaya A.Yu., Usov V.Yu., Mordovin V.F., Manukyan M.A., Baev A.E., Solonskaya E.I., Zyubanova I.V., Maksimova A.S., Ryumshina N.I., Shelkovnikova T.A., Mochula O.V., Zavadovsky K.V. MRI in the assessment of cerebral injury and cerebroprotective effects of renal denervation in resistant hypertension. *Medical Visualization*. 2023; 27 (3): 12–23. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1224>

Received: 22.06.2022.

Accepted for publication: 19.12.2022.

Published online: 28.06.2023.

Актуальность

Артериальная гипертония (АГ) – это наиболее распространенное заболевание среди всех болезней сердечно-сосудистой системы [1–3]. Защитно-компенсаторной реакцией на повышение артериального давления (АД) является сужение мелких артериол, предотвращающее их разрыв и выравнивающее пульсовое давление. Стабильное, а также длительно существующее транзиторное повышение АД является причиной гипертрофии мышечного слоя стенок артериол. В результате этих изменений происходит сосудистое ремоделирование, заключающееся в увеличении толщины сосудистой стенки и уменьшении просвета сосуда

[4]. Негативными последствиями сужения просвета церебральных артериол являются падение мозговой перфузии и развитие хронической ишемии головного мозга. Постоянный дефицит кислорода и питательных веществ в церебральных структурах запускает процессы дегенеративных изменений церебральных структур [5]. В последнее время появились сообщения о том, что после процедуры интраваскулярной радиочастотной ренальной денервации (РДН) не только снижается уровень АД, что уменьшает повреждающее действие гемодинамической нагрузки на органы-мишени, но и отмечается целый комплекс органопротективных эффектов [6–9].



Результаты патогистологических исследований показали, что выявляемые при МРТ повреждения белого вещества являются не только очагами ишемии, глиоза и немых инфарктов, но и зонами экстрацеллюлярного накопления жидкости в тканях головного мозга [10]. Ограниченность анастомозов и коллатералей, обеспечивающих питание кортикальных и перивентрикулярных областей, а также базальных ганглиев белого вещества, определяет уязвимость этих зон к гемодинамическим изменениям, возникающим при уменьшении мозгового кровотока и колебаниях системного АД.

Имеются единичные сообщения о возможности уменьшения степени выраженности МР-признаков структурных изменений головного мозга под влиянием медикаментозной терапии. Известно также, что у значительного числа пациентов с АГ медикаментозное лечение является недостаточно эффективным, причем именно у этих больных в наибольшей степени повышен риск возникновения церебральных осложнений. В последние годы для лечения данной категории пациентов успешно используются эндоваскулярные методы лечения, позволяющие достигнуть выраженного и длительно сохраняющегося снижения уровней АД [11–17]. Результаты экспериментальных исследований обнаружили достаточно выраженное церебропротективное действие РДН, патогенетической основой которого является угнетение локальной активности ренин-ангиотензиновой системы, выраженности оксидативного стресса и уменьшение проницаемости гематоэнцефалического барьера. Именно этими эффектами, согласно исследованиям японских ученых, была обусловлена обнаруженная ими способность РДН предотвращать развитие инсульта и повреждение мозга, а также повышать выживаемость у спонтанно-гипертензивных крыс, склонных к инсульту [18].

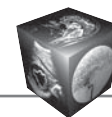
Следует, однако, отметить, что имеющиеся к настоящему времени данные о церебропротективных эффектах РДН носят единичный характер и, они, как правило, основаны на результатах экспериментальных исследований [19–21]. Клинические исследования, посвященные изучению этой проблемы исчерпываются работой, в которой было обнаружено уменьшение степени выраженности структурных признаков гипертензивной энцефалопатии через 6 мес после проведения РДН [22]. Полученные результаты определяют перспективность дальнейших исследований в этом направлении, но имеют определенные ограничения, поскольку более длительные результаты вмешательства в этом исследовании не анализировались.

Цель исследования: оценка протективных эффектов, касающихся состояния головного мозга по данным МРТ на фоне динамического прогрессирующего снижения АД после РДН с резистентной АГ (РАГ).

Материал и методы

Исследование выполнено в соответствии со всеми правилами надлежащей клинической практики и принципами Хельсинской декларации. Протокол исследования одобрен локальным Этическим комитетом НИИ кардиологии ТНИМЦ. Участники подписали информированное согласие до начала исследования. Согласно законодательству РФ, вся информация сохраняется строго конфиденциальной. У всех участников проспективного одноцентрового сравнительного исследования ($n = 53$) диагностирована АГ, резистентная к медикаментозной терапии, в связи с сохранением высоких цифр АД на фоне постоянного приема трех и более антигипертензивных препаратов, один из которых диуретик. Пациенты были инструктированы не менять состав антигипертензивной терапии. Всем пациентам проводилась транскатетерная двусторонняя РДН, среднее количество наносимых радиочастотных воздействий на каждую сторону составило $13 \pm 1,8$ аппликаций. Каких-либо нежелательных побочных эффектов, связанных непосредственно с проведением радиочастотной абляции (РЧА), ни у одного пациента, подвергшегося абляции, отмечено не было. Для оценки состояния головного мозга как органа-мишени при АГ всем пациентам была выполнена МРТ головного мозга при поступлении (до проведения РДН), через полгода и год после РДН. Все пациенты осматривались неврологом. Неврологический дефицит у пациентов отсутствовал.

Исследование выполнялось на высокопольном магнитно-резонансном томографе с напряженностью поля 1,5 Тл. Каждому пациенту проводилась МРТ в аксиальной, сагиттальной и коронарной проекциях в режимах T1, T2, T2 FLAIR, DWI. Но для решения поставленных задач наиболее информативными, по нашему мнению, являются режимы T1, T2, T2 FLAIR. Для получения T1- и T2-взвешенных изображений использовалась импульсная последовательность Spin-Echo. Для T1-взвешенных изображений, выполненных в аксиальной и сагиттальной плоскостях, применялись параметры: TR = 450 мс, TE = 15 мс, угол $\alpha = 70^\circ$. Изображения в режиме T2 имели следующие параметры: TR = 6000 мс, TE = 117 мс и проводились в аксиальной плоскости. Толщина срезов составляла 4 мм. Во всех случаях протокол проведения МРТ головного мозга был неизменным.



При анализе томограмм головного мозга оценивались объем ликвора, наличие очагов дисциркуляторного характера, лакунарных инфарктов, повреждений перивентрикулярного белого вещества.

Постпроцессинговая обработка изображений и измерения проводились с использованием пакета программ eFilm 3.4 (MergeHealth, 2010) и 3D Slicer 4.9.0. Обведение ликворных пространств было автоматическим, согласно заданному диапазону интенсивности МР-сигнала, соответствующего ликвору, и при необходимости проводилась корректировка. После этого подсчитывали объем (см³) всех выделенных вокселей. Для оценки степени выраженности и распространенности перивентрикулярного лейкоареоза использовалась визуальная шкала Fazekas.

Очаговые повреждения белого вещества определяли как точечные участки размером не менее 3 мм, гиперинтенсивные в режиме T2 и без снижения интенсивности МР-сигнала в T1-изображениях. Локализацию дисциркуляторных очагов оценивали по следующим областям мозга: I – субкортикальная область (мозжечок, подкорковое белое вещество, кора); II – область базальных ганглиев (базальные ганглии, внутренняя капсула, таламус); III – область ствола мозга (продолговатый мозг, мост, ножки мозга).

Статистический анализ данных был выполнен с помощью программы Statistica 10.0. При статистическом описании результатов исследо-

вания для количественных признаков вычисляли медиану и квартилей (Me (Q₁; Q₃), так как, согласно критерию Шапиро–Уилка (W), распределение закона в выборках отлично от нормального. Качественные и порядковые признаки представлены в виде абсолютных и относительных частот (n (%)). Сравнение характеристик в исследовании "до-после" лечения проводилось с помощью следующих критериев: количественный и порядковые признаки – критерий Вилкоксона (Z); качественные признаки – критерий Хи-квадрат Мак-Немара (χ^2_{NM}).

Различия считались достоверно значимыми при уровне значимости $p < 0,05$.

Результаты

В исследование было включено 53 пациента с РАГ, которым была проведена РДН. Средний возраст пациентов составил $52,1 \pm 9,1$ года.

После проведения РДН отмечалось значимое снижение уровней АД по данным 24-часового мониторингирования АД (табл. 1).

Исходно у больных РАГ была отмечена высокая частота структурных изменений головного мозга: с мелкофокальными повреждениями – 43 (81%) человека, с расширением ликворных пространств – 43 (81%), с повреждением перивентрикулярного белого вещества – 48 (90%), с лакунарными инфарктами – 10 (20%), с перенесенным ОНМК – 10 (20%) человек.

Таблица 1. Динамика показателей артериального давления после ренальной денервации

Table 1. Dynamics of changes in blood pressure indicators after renal denervation

Параметр Parameters	Исходно At baseline	24 нед после РДН 24 weeks after RDN n = 48	p	48 нед после РДН 48 weeks after RDN n=41	p
Среднее суточное САД, мм рт.ст. Average 24h SBP, mm Hg	160.84 ± 19.38	147.92 ± 18.42	<0.01	145.00 ± 15.54	<0.01
Среднее суточное ДАД, мм рт.ст. Average 24h DBP, mm Hg	97.38 ± 15.50	89.02 ± 14.72	<0.01	86.78 ± 11.96	<0.01
Индекс день/ночь САД, % Day-night SBP index, %	6.74 ± 6.75	5.84 ± 7.91	0.849	7.45 ± 7.28	0.304
Индекс день/ночь ДАД, % Day-night DBP index, %	10.94 ± 7.87	10.20 ± 8.49	0.745	12.36 ± 8.75	0.237
Нагрузка давлением САД, % SBP load, %	88.35 ± 13.40	70.08 ± 24.92	<0.01	68.72 ± 25.94	<0.01
Нагрузка давлением ДАД, % DBP load, %	70.82 ± 27.56	54.82 ± 29.93	<0.01	49.91 ± 31.95	<0.01

Примечание. САД – систолическое АД, ДАД – диастолическое АД.

Note. SBP – systolic blood pressure; DBP – diastolic blood pressure.



Таблица 2. Изменения степени тяжести расширения ликворных пространств головного мозга по данным МРТ головного мозга после ренальной денервации, выраженные в % от числа участников

Table 2. Changes in the severity of cerebrospinal fluid dynamics according to the MRI of the brain after renal denervation, expressed in% of the number of participants

Степень тяжести нарушений ликвородинамики Severity of CSF disorders	До ренальной денервации Before RDN	Через 6 мес после процедуры 6 months after RDN	p	Через 12 мес после процедуры 12 months after RDN	p
Нет нарушений / No disorders	25	30	0.72	20 (60)	0.02
I степень / Grade I	50	45	0.22	64 (0)	0.25
II степень / Grade II	25	25	0.60	16 (5)	0.38

Таблица 3. Изменения частоты встречаемости повреждением перивентрикулярного белого вещества до ренальной денервации и через 24, 48 нед после процедуры

Table 3. Changes in the incidence of periventricular edema before renal denervation and 24, 48 weeks after the procedure

Степень повреждений перивентрикулярного белого вещества Grades of periventricular white matter lesion	До процедуры РДН, % Before RDN, %	Через 6 мес (24 нед) после РДН, % Through (6 months) 24 weeks after RDN, %	p	Через 12 мес (48 нед) после РДН, % Through 12 months (48 weeks) after RDN, %	p
0	10	7	0.31	4	0.08
1	50	50	1.00	48	0.78
2	20	25	0.40	28	0.19
3	20	18	0.71	20	0.72

Таблица 4. Изменения частоты встречаемости мелкофокальных повреждений головного мозга через 48 нед после процедуры

Table 4. Changes in the incidence of fine focal brain injuries 48 weeks after the procedure

Изменения после ренальной денервации / After renal denervation	n	p
0 – без динамики / no changes	29	0,02
1 – увеличение количества или размеров очагов / increase in number or size of the foci	3	0,25
2 – уменьшение количества или размеров очагов / decrease in number or size of the foci	21	0,38
Всего пациентов / Total number of subjects	53	

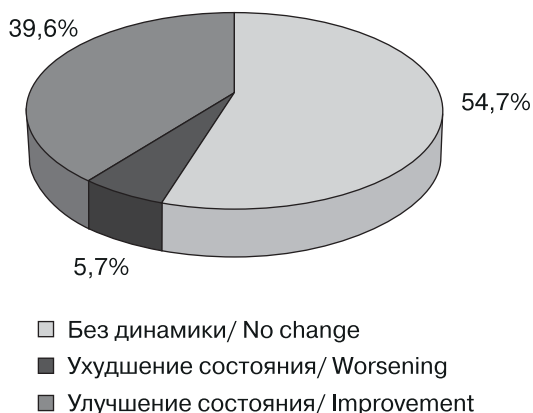


Рис. 1. Изменения на МРТ-картине после применения РЧА.

Под улучшением состояния принималась МР-картина, при которой отмечалось уменьшение количества и/или размеров очагов. Под ухудшением состояния принималась МР-картина, при которой отмечалось увеличение количества и/или размеров очагов.

Fig. 1. Changes in the MRI picture after the application of RFA.

An MRI-detected decrease in the number and/or size of foci was considered as an improvement. An MRI-detected increase in the number and/or size of foci was considered as a worsening. Under the improvement of the condition, an MRI picture was taken, in which a decrease in the number and / or size of foci was noted. Under the deterioration of the condition, an MRI picture was taken, in which an increase in the number and / or size of foci was noted.

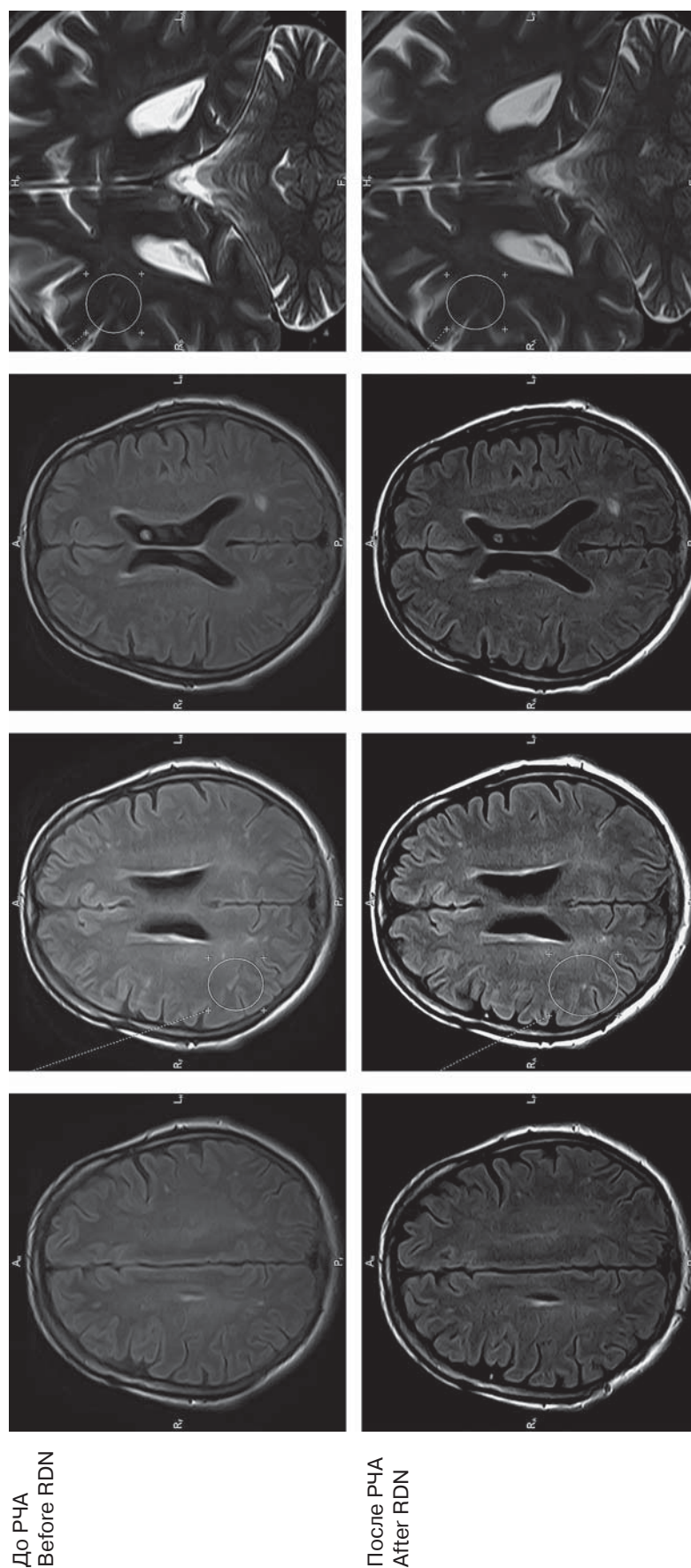
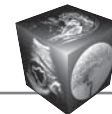


Рис. 2. Пациентка Т., 55 лет, диагноз: РАГ II стадии, резистентная к медикаментозной терапии. Исходно АД-24ч 148/77 мм рт.ст. МРТ в режиме T2-FLAIR, аксиальная проекция и в режиме T2, фронтальная проекция. В верхнем ряду представлены МР-томограммы, выполненные до РДН. В севомальном центре, в лучистом венце, в лобных и затылочных щипцах лучистости мозолистого тела визуализируются очаговые изменения в исходе дисциркуляторных нарушений. В нижнем ряду – МР-томограммы, проведенные через 48 нед после РДН, сопровождающейся снижением АД-24 ч на 21/10 мм рт.ст. до уровня АД 127/67 мм рт.ст. Очаг, локализованный в задних отделах лучистого венца справа, уменьшился в размерах. Отмечено выделение в круг.

Fig. 2. Patient T., female, 55 years old, diagnosed with grade II resistant RH. Baseline 24-hour blood pressure was 148/77 mm Hg. MRI was performed using T2-FLAIR sequence in the axial plane and T2 sequence in the coronal plane. The top row shows the MRI scans obtained before the RDN. Focal changes due to dyscirculatory disorders are visualised in the semioval centre, the radiant crown, and the frontal and occipital forceps of the radiation of the corpus callosum. The bottom row shows the tomography results obtained 48 weeks after RDN, accompanied by a decrease in 24-hour blood pressure by 21/10 mm Hg (up to the level of 127/67 mm Hg). One lesion localised in the occipital sections of the radiant crown has decreased in size. Indicated by a circle.



Расширение ликворных пространств оценивались по трем степеням: 0 – нарушения отсутствуют, I степень – есть расширение (увеличение объемов) боковых желудочков головного мозга или наружных субарахноидальных пространств, II степень – расширение (увеличение объемов) боковых желудочков головного мозга и наружных субарахноидальных пространств.

При оценке состояния головного мозга после РДН количество пациентов без расширения ликворных пространств значимо не изменилось: исходно 25%, через год – 20% ($\chi^2 = 0,63$ $p = 0,43$). Количество пациентов с расширением ликворных пространств I степени через 6 мес незначимо уменьшилось – исходно 50 и 45% ($\chi^2 = 0,50$, $p = 0,49$) и значимо повышалось через 12 мес с 50 до 64% ($\chi^2 = 4,00$, $p = 0,046$) за счет уменьшения количества пациентов без расширения ликворных пространств и числа пациентов со II степенью расширения ликворных пространств головного мозга до 16% ($\chi^2 = 1,56$ $p = 0,21$) при исходном значении 25%. Динамика изменения объема ликворных пространств головного мозга после радиочастотной денервации почечных артерий представлено в табл. 2.

Как следует из табл. 3, частота встречаемости повреждения перивентрикулярного белого вещества головного мозга после через год после РДН значимо не изменилась.

Однако было отмечено существенное уменьшение частоты мелкофокальных повреждений головного мозга (с 81 до 60%, $p = 0,02$).

Через 1 год после процедуры РДН статистически значимо уменьшались число и размеры мелкофокальных повреждений головного мозга (табл. 4, рис. 1).

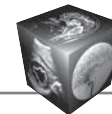
На рис. 2 представлен клинический пример уменьшения количества мелкофокальных повреждений головного мозга после РДН.

Обсуждение

В настоящее время вопросы, касающиеся безопасности РДН, как уже относительно не нового инвазивного метода лечения резистентной АГ, закрыты и интересы большинства исследователей сместились в область эффективности данного вмешательства. Следует отметить, что достаточное количество исследований доказали ее безопасность для почек и почечного кровотока [23], а результаты 5 sham-контролируемых исследований убедительно продемонстрировали превосходство РДН в отношении снижения АД над процедурой ее имитации. Но внедрение метода в практику требует накопления данных об эффективности РДН и ее органопротективных свойствах.

При анализе исходной МРТ-картины головного мозга у больных РАГ нами обнаружено, что у подавляющего числа пациентов имелись мелкофокальные повреждения, расширение ликворных пространств и повреждения перивентрикулярного белого вещества (ПВБВ), что может отображать характерный МРТ-паттерн церебральных изменений. После РДН уменьшения частоты ППБВ и расширения ликворных пространств отмечено не было, что может свидетельствовать о малой обратимости этих изменений. При этом церебропротективное влияние РДН выражалось, главным образом, в уменьшении встречаемости мелкофокальных повреждений. По нашему мнению, этот эффект можно объяснить потенциальной зависимостью данных очагов от состояния микроциркуляции. Как известно, при постоянном повышении уровня АД клетки головного мозга испытывают кислородное голодание. В анаэробных условиях клетка стремится выполнить энергетический дефицит за счет активации процессов гликолиза. В результате этих процессов происходит выработка лактата и углекислого газа, что в свою очередь увеличивает проницаемость сосудистой стенки. Данные изменения головного мозга на МРТ-томограммах видны в виде очагов усиления в режиме T2 за счет повышенного содержания воды. При нормализации АД и снижении явлений оксидативного стресса кислородное обеспечение тканей головного мозга улучшается, что уменьшает степень проницаемости сосудистой стенки. Дополнительное значение может иметь уменьшение степени симпатически обусловленной вазоконстрикции и улучшение микроциркуляции. На МРТ-изображениях проявляется уменьшением размеров очагов мелкофокальных повреждений либо их исчезновением при визуализации в режиме T2.

К механизмам церебропротективных свойств РДН в настоящее время относят снижение локальной активности ренин-ангиотензиновой системы и оксидативного стресса в головном мозге, супрессию повреждений гематоэнцефалического барьера, а также ослабление процессов церебрального воспаления. Именно с этими эффектами, согласно сообщениям японских ученых, была связана способность РДН предотвращать развитие инсульта и повреждение мозга, а также повышать выживаемость у спонтанно-гипертензивных крыс, склонных к инсульту [24]. В другой экспериментальной работе после РДН у крыс с реноваскулярной гипертензией в головном мозге также наблюдалось снижение оксидативного стресса [25]. Более того, именно уменьшение церебрального оксидативного стресса авторы отнесли к ключе-



вым механизмам антигипертензивного эффекта РДН [26, 27].

Безусловной ценностью данного исследования является сравнительно большая выборка пациентов после РДН и оценка изменения параметров МРТ головного мозга после вмешательства. Исследования, посвященные изучению этой проблемы, весьма немногочисленны и, учитывая, что активный интерес к новым, в том числе инвазивным, методам лечения АГ в мире очень высок, именно эти методы нуждаются в активном накоплении данных по безопасности и эффективности процедуры. Тем не менее данное исследование имеет ряд ограничений – это простое проспективное одноцентровое исследование с оценкой динамики изменений до и после проведения РДН без группы контроля с симуляцией процедуры. Поэтому полученные данные должны быть подтверждены дальнейшими исследованиями в сопоставлении с группой sham-control, а также в сопоставлении с фармакотерапией.

Заключение

Согласно полученным данным, больные РАГ характеризуются достаточно высокой частотой структурных изменений головного мозга по данным МРТ-исследований. К характерному МРТ-паттерну церебральных изменений у больных РАГ относятся высокая частота ППБВ, расширения ликворных пространств и мелкофокальных повреждений. Через год после проведения двусторонней ренальной денервации, сопровождавшейся выраженным антигипертензивным эффектом, отмечается снижение частоты встречаемости мелкофокальных повреждений головного мозга без значимого изменения частоты ППБВ и расширения ликворных пространств.

Полученные данные нуждаются в подтверждении в контролируемых и более многочисленных исследованиях.

Участие авторов

Сухарева А.Е. – участие в разработке общей концепции и дизайна исследования, проведение МРТ головного мозга, статистическая обработка результатов исследования, их интерпретация, анализ литературы, написание текста рукописи.

Фальковская А.Ю. – участие в разработке общей концепции и дизайна исследования, обеспечение набора клинического материала, взаимодействие с пациен-

тами, поиск литературы, анализ и интерпретация полученных данных, редактирование текста, утверждение окончательного варианта статьи.

Усов В.Ю. – формирование идеи исследования, консультирование по вопросам его планирования и интерпретации результатов, корректировка рукописи статьи.

Мордовин В.Ф. – разработка общей концепции и дизайна исследования, проверка критически важного интеллектуального содержания.

Манукян М.А. – проведение исследования, взаимодействие с пациентами, обеспечение клинического материала, сбор и обработка данных.

Баев А.Е. – выполнение ренальной денервации.

Солонская Е.И. – проведение исследования, сбор и обработка данных.

Зюбанова И.В. – проведение исследования, сбор и обработка данных.

Максимова А.С. – статистическая обработка данных.

Рюмшина Н.И. – статистическая обработка данных.

Шелковникова Т.А. – анализ и интерпретация полученных данных.

Мочула О.В. – обзор публикаций по теме статьи.

Завадовский К.В. – получение клинических и инструментальных данных; окончательное утверждение содержания для публикации рукописи.

Authors' participation

Sukhareva A.E. – conceptualization, methodology, investigation–brain MRI scanning, formal analysis, literature review, writing–original draft.

Falkovskaya A.Yu. – conceptualization, methodology, investigation–clinical data selection & interaction with patients, literature review, formal analysis, writing–review & editing.

Mordovin V.F. – conceptualization, methodology, writing–review.

Usov V.Yu. – conceptualization, consultation regarding planning stage and study findings interpretation, writing–editing.

Manukyan M.A. – investigation–clinical data selection, interaction with patients, formal analysis.

Baev A.E. – investigation–renal denervation procedure.

Solonskaya E.I. – investigation, formal analysis.

Zyubanova I.V. – investigation, formal analysis.

Maksimova A.S. – formal analysis.

Ryumshina N.I. – formal analysis.

Shelkovnikova T.A. – formal analysis.

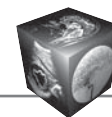
Mochula O.V. – literature review.

Zavadovsky K.V. – investigation–clinical and instrumental data acquisition; writing–review & editing.



Список литературы

1. Williams B., Mancia G., Spiering W. 2018 ESC/ESH Guidelines for the management of arterial hypertension. *Eur. Heart J.* 2018; 39: 3021–3104. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehy339>
2. Барбараш О.Л., Цыганкова Д.П., Артамонова Г.В. Распространенность артериальной гипертензии и других факторов риска сердечно-сосудистых заболеваний в Сибири. *Сибирский журнал клинической и экспериментальной медицины.* 2019; 34 (3):60–65. <https://doi.org/10.29001/2073-8552-2019-34-3-60-65>
3. Гринштейн Ю.И., Петрова М.М., Шабалин В.В., Руф Р.Р., Баланова Ю.А., Евстифеева С.Е., Евсюков А.А., Данилова Л.К., Топольская Н.В., Косинова А.А., Штрих А.Ю., Шульмин А.В. Распространенность артериальной гипертензии в Красноярском крае по данным эпидемиологического исследования ЭССЕ-РФ. *Артериальная гипертензия.* 2016; 22 (6): 551–559. <https://doi.org/10.18705/1607-419X-2016-22-6-551-559>
4. Куликов В.П. Основы ультразвукового исследования сосудов. М.: Видар, 2015. 387 с.
5. Miller K.B., Howery A.J., Harvey R.E. et al. Cerebrovascular Reactivity and Central Arterial Stiffness in Habitually Exercising Healthy Adults. *Front. Physiol.* 2018; 9: 1096. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.01096>. eCollection 2018.
6. Гапон Л.И., Микова Е.В., Криночкин Д.В., Савельева Н.Ю., Жержова А.Ю., Александрович Е.Л. Ренальная денервация почечных артерий при резистентной артериальной гипертензии: клинический и органопротективный эффект. *Системные гипертензии.* 2021; 18 (3): 153–160. <https://doi.org/10.26442/2075082X.2021.3.201090>
7. Зюбанова И.В., Мордовин В.Ф., Пекарский С.Е., Рипп Т.М., Фальковская А.Ю., Личикаки В.А., Ситкова Е.С., Баев А.Е., Гусакова А.М., Рябова Т.Р. Возможные механизмы отдаленных кардиальных эффектов ренальной денервации. *Артериальная гипертензия.* 2019;25(4):423–432. <https://doi.org/10.18705/1607-419X-2019-25-4-423-432>
8. Kordalis A., Tsiachris D., Pietri P. et al. Regression of organ damage following renal denervation in resistant hypertension: a meta-analysis. *J. Hypertens.* 2018; 36 (8): 1614–1621. <https://doi.org/10.1097/HJH.0000000000001798>
9. Ситкова Е.С., Мордовин В.Ф., Пекарский С.Е., Рипп Т.М., Фальковская А.Ю., Личикаки В.А., Зюбанова И.В., Баев А.Е., Рябова Т.Р., Мочула О.В., Усов В.Ю. Дистальная ренальная денервация: возможности кардиопротекции у пациентов с резистентной артериальной гипертензией. *Кардиоваскулярная терапия и профилактика.* 2020; 19 (4): 2225. <https://doi.org/10.15829/1728-8800-2019-2225>
10. MacLulich A.M., Ferguson K.J., Reid L.M. et al. Higher systolic blood pressure is associated with increased water diffusivity in normal-appearing white matter. *Stroke.* 2009; 40: 3869–3871. <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.109.547877>
11. Пекарский С.Е., Мордовин В.Ф., Рипп Т.М., Фальковская А.Ю. Ренальная денервация в 2019 году. *Сибирский журнал клинической и экспериментальной медицины.* 2019; 34 (3): 21–32. <https://doi.org/10.29001/2073-8552-2019-34-3-21-32>
12. Ионов М.В., Емельянов И.В., Юдина Ю.С., Панарина С.А., Зверев Д.А., Авдоница Н.Г., Звартау Н.Э., Конради А.О. Результаты длительного проспективного наблюдения пациентов с резистентной артериальной гипертензией, прошедших процедуру радиочастотной абляции симпатических почечных нервов. *Артериальная гипертензия.* 2021; 27 (3): 318–332. <https://doi.org/10.18705/1607-419X-2021-27-3-318-332>
13. Глыбочко П.В., Светанкова А.А., Родионов А.В., Мальцева А.С., Сулимов В.А., Фомин В.В. Ренальная денервация при резистентной артериальной гипертензии: результаты 5-летнего наблюдения. *Терапевтический архив.* 2018; 90 (9) 88–91. <https://doi.org/10.26442/terarkh201890988-91>
14. Ионов М.В., Емельянов И.В., Вахрушев А.Д., Алиева А.С., Авдоница Н.Г., Юдина Ю.С., Лебедев Д.С., Михайлов Е.Н., Конради А.О. Опыт применения многоконтактных катетерных систем для проведения радиочастотной симпатической денервации почечных артерий у пациентов с резистентной артериальной гипертензией: непосредственные результаты вмешательства. *Российский кардиологический журнал.* 2022; 27 (2): 4794. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2022-4794>
15. Агаева Р.А., Данилов Н.М., Щелкова Г.В., Матчин Ю.Г., Чазова И.Е. Новые возможности ренальной денервации. *Терапевтический архив.* 2020. 92 (6): 84–88. <https://doi.org/10.26442/00403660.2020.06.000588>
16. Чичкова Т.Ю., Мамчур С.Е., Романова М.П., Хоменко Е.А. Влияние ренальной денервации на показатели суточного профиля артериального давления у пациентов с резистентной гипертензией. *Фундаментальная и клиническая медицина.* 2019; 4 (4): 78–88. <https://doi.org/10.23946/2500-0764-2019-4-4-78-88>
17. Чепурной А.Г., Шугушев З.Х., Максимкин Д.А., Корсунский Д.В. Влияние различных методик радиочастотной симпатической денервации почечных артерий на эффективность процедуры. *Кардиология и сердечно-сосудистая хирургия.* 2021; 14 (5): 428–433. <https://doi.org/10.17116/kardio202114051428>
18. Nakagawa T., Hasegawa Y., Uekawa K. et al. Renal denervation prevents stroke and brain injury via attenuation of oxidative stress in hypertensive rats. *J. Am. Heart Assoc.* 2013; 2 (5): e000375. <https://doi.org/10.1161/JAHA.113.000375>
19. Takemoto Y., Hasegawa Y., Hayashi K. et al. The stabilization of central sympathetic nerve activation by renal denervation prevents cerebral vasospasm after subarachnoid hemorrhage in rats. *Transl. Stroke Res.* 2020; 11: 528–540. <https://doi.org/10.1007/s12975-019-00740-9>
20. Veiga A.C., Milanez M.I.O., Ferreira G.R. et al. Selective afferent renal denervation mitigates renal and splanchnic sympathetic nerve overactivity and renal function in chronic kidney disease-induced hypertension. *J. Hypertens.* 2019. <https://doi.org/10.1097/HJH.0000000000002304>
21. Heradien M., Mahfoud F., Hettrick D., Brink P. Renal denervation: dark past, bright future? *Cardiovasc. J. Afr.* 2019; 30 (5): 290–296. <https://doi.org/10.5830/CVJA-2019-045>
22. Афанасьева Н.Л., Пекарский С.Е., Мордовин В.Ф., Семке Г.В., Рипп Т.М., Личикаки В.А., Винтизенко С.И., Лукьяненко П.И., Карпов Р.С. Влияние транскатетерной денервации почечных артерий на уровень артери-



ального давления и структурные изменения головного мозга у пациентов с резистентной артериальной гипертензией. *Артериальная гипертензия*. 2013; 19 (3): 256–262. <https://doi.org/10.18705/1607-419X-2013-19-3-256-262>

23. Abramova N.N. Clinical application of magnetic resonance angiography for the diagnosis of lesions of extra- and intracranial arteries in hypertensive patients: Abstract of the thesis. ... Holder of an advanced Doctorate in Medicine: 14.00.06, 14.00.19 / .M, 1994: 27.
24. Schmieder R.E., Mahfoud F., Mancia G. et al. European Society of Hypertension position paper on renal denervation 2021. *J. of Hypertens.* 2021; 39 (9): 1733–1741. <https://doi.org/10.1097/HJH.0000000000002933>
25. Nishi E.E., Lopes N.R., Gomes G.N. et al. Renal denervation reduces sympathetic overactivation, brain oxidative stress, and renal injury in rats with renovascular hypertension independent of its effects on reducing blood pressure. *Hypertens. Res.* 2019; 42: 628–640. <https://doi.org/10.1038/s41440-018-0171-9>
26. Jun-Yu H., Wan-Ying J., Yi-Ting L. et al. Renal denervation attenuates neuroinflammation in the brain by regulating gut-brain axis in rats with myocardial infarction. *Front. Cardiovasc. Med.* 2021; 8. <https://doi.org/10.3389/fcvm.2021.650140>
27. Hasegawa Y., Nakagawa T., Matsui K., Kim-Mitsuyama S. Renal denervation in the acute phase of ischemic stroke provides brain protection in hypertensive rats. *Stroke*. 2017; 48: 1104–1107. <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.116.015782>
8. Kordalis A., Tsiachris D., Pietri P. et al. Regression of organ damage following renal denervation in resistant hypertension: a meta-analysis. *J. Hypertens.* 2018; 36 (8): 1614–1621. <https://doi.org/10.1097/HJH.0000000000001798>
9. Sitkova E.S., Mordovin V.F., Pekarsky S.E. et al. Distal renal denervation: cardioprotection in patients with resistant hypertension. *Cardiovasc. Therapy Prevent.* 2020; 19 (4): 2225. <https://doi.org/10.15829/1728-8800-2019-2225> (In Russian)
10. MacLulich A.M., Ferguson K.J., Reid L.M. et al. Higher systolic blood pressure is associated with increased water diffusivity in normal-appearing white matter. *Stroke*. 2009; 40: 3869–3871. <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.109.547877>
11. Pekarskiy S.E., Mordovin V.F., Ripp T.M., Falkovskaya A.Yu. Renal denervation in 2019. *The Siberian Medical Journal*. 2019; 34 (3): 21–32. <https://doi.org/10.29001/2073-8552-2019-34-3-21-32> (In Russian)
12. Ionov M.V., Emelyanov I.V., Yudina Yu.S. et al. Renal sympathetic denervation in patients with resistant hypertension. Results of long-term prospective follow-up. *Arterial Hypertension*. 2021; 27 (3): 318–332. <https://doi.org/10.18705/1607-419X-2021-27-3-318-332> (In Russian)
13. Glybochko P.V., Svetankova A.A., Rodionov A.V. et al. Renal denervation in resistant hypertension: the results of a five-year follow-up. *Terapevticheskii Arkhiv*. 2018; 90 (9): 88–91. <https://doi.org/10.26442/terarkh201890988-91> (In Russian)
14. Ionov M.V., Emelyanov I.V., Vakhrushev A.D. et al. Experience of using multielectrode catheter systems to perform radiofrequency renal sympathetic denervation in patients with resistant hypertension: immediate procedural effects. *Russian Journal of Cardiology*. 2022; 27 (2): 4794. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2022-4794> (In Russian)
15. Agaeva R.A., Danilov N.M., Shelkova G.V. et al. New opportunities of renal denervation. *Therapeutic Archive*. 2020; 92 (6): 84–88. <https://doi.org/10.26442/00403660.2020.06.000588> (In Russian)
16. Chichkova T.Yu., Mamchur S.E., Romanova M.P., Khomenko E.A. Impact of renal denervation on 24-hour blood pressure pattern in patients with resistant hypertension. *Fundamental and Clinical Medicine*. 2019; 4 (4): 78–88. <https://doi.org/10.23946/2500-0764-2019-4-4-78-88> (In Russian)
17. Chepurnoy A.G., Shugushev Z.Kh., Maksimkin D.A., Korsunskiy D.V. Influence of various techniques of radiofrequency sympathetic denervation of the renal arteries on effectiveness of this procedure. *The Russian Journal of Cardiology & Cardiovascular Surgery = Kardiologiya i Serdechno-Sosudistaya Khirurgiya*. 2021; 14 (5): 428–433. <https://doi.org/10.17116/kardio202114051428> (In Russian)
18. Nakagawa T., Hasegawa Y., Uekawa K. et al. Renal denervation prevents stroke and brain injury via attenuation of oxidative stress in hypertensive rats. *J. Am. Heart Assoc.* 2013; 2 (5): e000375. <https://doi.org/10.1161/JAHA.113.000375>

References

1. Williams B., Mancia G., Spiering W. 2018 ESC/ESH Guidelines for the management of arterial hypertension. *Eur. Heart J.* 2018; 39: 3021–3104. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehy339>
2. Barbarash O.L., Tsygankova D.P., Artamonova G.V. Prevalence of arterial hypertension and other risk factors for cardiovascular diseases in Siberia. *The Siberian Journal of Clinical and Experimental Medicine*. 2019; 34 (3): 60–65. <https://doi.org/10.29001/2073-8552-2019-34-3-60-65> (In Russian)
3. Grinshtein Yu.I., Petrova M.M., Shabalin V.V. et al. The prevalence of arterial hypertension in the Krasnoyarsk Territory according to the ESSE-RF epidemiological study. *Arterial Hypertension*. 2016; 22 (6): 551–559. <https://doi.org/10.18705/1607-419X-2016-22-6-551-559> (In Russian)
4. Kulikov V.P. Fundamentals of vascular ultrasound: guidelines. Moscow: Vidar, 2015. 387 p. (In Russian)
5. Miller K.B., Howery A.J., Harvey R.E. et al. Cerebrovascular Reactivity and Central Arterial Stiffness in Habitually Exercising Healthy Adults. *Front. Physiol.* 2018; 9: 1096. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.01096>. eCollection 2018.
6. Gapon L.I., Mikova E.V., Krinochkin D.V. et al. Renal artery denervation in patients with resistant hypertension: clinical and organ-protective effect. *Systemic Hypertension*. 2021; 18 (3): 153–160. <https://doi.org/10.26442/2075082X.2021.3.201090> (In Russian)
7. Zyubanova I.V., Mordovin V.F., Pekarskiy S.E., Ripp T.M., Falkovskaya A.Yu., Lichikaki V.A., Sitkova E.S., Baev A.E., Gusakova A.M., Ryabova T.R. Possible mechanisms of renal denervation long-term cardiac effects. *Arterial*



19. Takemoto Y., Hasegawa Y., Hayashi K. et al. The stabilization of central sympathetic nerve activation by renal denervation prevents cerebral vasospasm after subarachnoid hemorrhage in rats. *Transl. Stroke Res.* 2020; 11: 528–540. <https://doi.org/10.1007/s12975-019-00740-9>
20. Veiga A.C., Milanez M.I.O., Ferreira G.R. et al. Selective afferent renal denervation mitigates renal and splanchnic sympathetic nerve overactivity and renal function in chronic kidney disease-induced hypertension. *J. Hypertens.* 2019. <https://doi.org/10.1097/HJH.0000000000002304>
21. Heradien M., Mahfoud F., Hettrick D., Brink P. Renal denervation: dark past, bright future? *Cardiovasc. J. Afr.* 2019; 30 (5): 290–296. <https://doi.org/10.5830/CVJA-2019-045>
22. Afanasieva N.L., Pekarskiy S.E., Mordovin V.F. et al. The effects of transcatheter renal denervation on blood pressure and brain structural changes in resistant hypertension. *Arterial Hypertension.* 2013; 19 (3): 256–262. <https://doi.org/10.18705/1607-419X-2013-19-3-256-262> (In Russian)
23. Abramova N.N. Clinical application of magnetic resonance angiography for the diagnosis of lesions of extra- and intracranial arteries in hypertensive patients: Abstract of the thesis. ... Holder of an advanced Doctorate in Medicine: 14.00.06, 14.00.19 /M, 1994: 27.
24. Schmieder R.E., Mahfoud F., Mancia G. et al. European Society of Hypertension position paper on renal denervation 2021. *J. of Hypertens.* 2021; 39 (9): 1733–1741. <https://doi.org/10.1097/HJH.0000000000002933>
25. Nishi E.E., Lopes N.R., Gomes G.N. et al. Renal denervation reduces sympathetic overactivation, brain oxidative stress, and renal injury in rats with renovascular hypertension independent of its effects on reducing blood pressure. *Hypertens. Res.* 2019; 42: 628–640. <https://doi.org/10.1038/s41440-018-0171-9>
26. Jun-Yu H., Wan-Ying J., Yi-Ting L. et al. Renal denervation attenuates neuroinflammation in the brain by regulating gut-brain axis in rats with myocardial infarction. *Front. Cardiovasc. Med.* 2021; 8. <https://doi.org/10.3389/fcvm.2021.650140>
27. Hasegawa Y., Nakagawa T., Matsui K., Kim-Mitsuyama S. Renal denervation in the acute phase of ischemic stroke provides brain protection in hypertensive rats. *Stroke.* 2017; 48: 1104–1107. <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.116.015782>

Для корреспонденции*: Сухарева Анна Евгеньевна – 634012 Томск, ул. Киевская 111а. Отделение рентгеновских и томографических методов диагностики НИИ кардиологии Томского НИМЦ. Тел.: +7-3822-55-43-74. E-mail: doctor-Anyuta@mail.ru

Сухарева Анна Евгеньевна – канд. мед. наук, младший научный сотрудник отделения рентгеновских и томографических методов диагностики НИИ кардиологии Томского НИМЦ РАМН, Томск. <https://orcid.org/0000-0003-4807-3762>

Фальковская Алла Юрьевна – доктор мед. наук, руководитель отделения артериальных гипертензий НИИ кардиологии Томского НИМЦ РАМН, Томск. <https://orcid.org/0000-0002-5638-3034>

Усов Владимир Юрьевич – доктор мед. наук, руководитель отделения рентгеновских и томографических методов диагностики НИИ кардиологии Томского НИМЦ РАМН, Томск. <https://orcid.org/0000-0001-7978-5514>

Мордовин Виктор Фёдорович – доктор мед. наук, ведущий научный сотрудник отделения артериальных гипертензий НИИ кардиологии Томского НИМЦ РАМН, Томск. <https://orcid.org/0000-0002-2238-4573>

Манукян Мушег Айкович – младший научный сотрудник отделения артериальных гипертензий НИИ кардиологии Томского НИМЦ РАМН, Томск. <https://orcid.org/0000-0003-3577-1895>

Баев Андрей Евгеньевич – канд. мед. наук, заведующий ОРМДил НИИ кардиологии Томского НИМЦ РАМН, Томск. <https://orcid.org/0000-0002-8163-1618>

Солонская Екатерина Игоревна – канд. мед. наук, младший научный сотрудник отделения артериальных гипертензий НИИ кардиологии Томского НИМЦ РАМН, Томск. <https://orcid.org/0000-0001-9857-4368>

Зюбанова Ирина Владимировна – канд. мед. наук, научный сотрудник отделения артериальных гипертензий НИИ кардиологии Томского НИМЦ РАМН, Томск. <https://orcid.org/0000-0001-6995-9875>

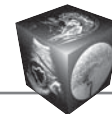
Максимова Александра Сергеевна – канд. мед. наук, научный сотрудник отделения рентгеновских и томографических методов диагностики НИИ кардиологии Томского НИМЦ РАМН, Томск. <https://orcid.org/0000-0002-4871-3283>

Рюшина Надежда Игоревна – канд. мед. наук, научный сотрудник отделения рентгеновских и томографических методов диагностики НИИ кардиологии Томского НИМЦ РАМН, Томск. <https://orcid.org/0000-0002-6158-026X>

Шелковникова Татьяна Александровна – канд. мед. наук, старший научный сотрудник отделения рентгеновских и томографических методов диагностики НИИ кардиологии Томского НИМЦ РАМН, Томск. <https://orcid.org/0000-0001-8089-2851>

Мочула Ольга Витальевна – канд. мед. наук, младший научный сотрудник отделения рентгеновских и томографических методов диагностики НИИ кардиологии Томского НИМЦ РАМН, Томск. <https://orcid.org/0000-0002-7502-7502>

Завадовский Константин Валерьевич – доктор мед. наук, руководитель отдела лучевой диагностики НИИ кардиологии Томского НИМЦ РАМН, Томск. <https://orcid.org/0000-0002-1513-8614>. E-mail: konstz@cardio-tomsk.ru



Contact*: Anna E. Sukhareva – 111a, Kievskaya Str., Tomsk 634012, Russian Federation. Department of Radiology and Tomography Diagnostic Techniques of the Cardiology Research Institute, Tomsk National Research Medical Centre. Phone: +7-3822-55-43-74. E-mail: doctor-Anyuta@mail.ru

Anna E. Sukhareva – Cand. of Sci. (Med.), Junior Researcher of the Department of Radiology and Tomography Diagnostic Techniques of the Cardiology Research Institute, Tomsk National Research Medical Centre, Tomsk. <https://orcid.org/0000-0003-4807-3762>

Alla Yu. Falkovskaya – Doct. of Sci. (Med.), Head of the Department of Arterial Hypertension of the Cardiology Research Institute, Tomsk National Research Medical Centre, Tomsk. <https://orcid.org/0000-0002-5638-3034>

Vladimir Yu. Usov – Doct. of Sci. (Med.), Head of the Department of Radiology and Tomography Diagnostic Techniques of the Cardiology Research Institute, Tomsk National Research Medical Centre, Tomsk. <https://orcid.org/0000-0001-7978-5514>

Viktor F. Mordovin – Doct. of Sci. (Med.), Leading Researcher of the Department of Arterial Hypertension of the Cardiology Research Institute, Tomsk National Research Medical Centre, Tomsk. <https://orcid.org/0000-0002-2238-4573>

Musheg A. Manukyan – Junior Researcher of the Department of Arterial Hypertension of the Cardiology Research Institute, Tomsk National Research Medical Centre, Tomsk. <https://orcid.org/0000-0003-3577-1895>

Andrey E. Baev – MD PhD, Head of the Department of X-Ray Surgical Diagnostic Methods and Treatment of the Cardiology Research Institute, Tomsk National Research Medical Centre, Tomsk. <https://orcid.org/0000-0002-8163-1618>

Ekaterina I. Solonskaya – Cand. of Sci. (Med.), Junior Researcher of the Department of Arterial Hypertension of the Cardiology Research Institute, Tomsk National Research Medical Centre, Tomsk. <https://orcid.org/0000-0001-9857-4368>

Irina V. Zyubanova – Cand. of Sci. (Med.), Research Associate of the Department of Arterial Hypertension of the Cardiology Research Institute, Tomsk National Research Medical Centre, Tomsk. <https://orcid.org/0000-0001-6995-9875>

Alexandra S. Maksimova – Cand. of Sci. (Med.), Research Associate of the Department of Radiology and Tomography Diagnostic Techniques of the Cardiology Research Institute, Tomsk National Research Medical Centre, Tomsk. <https://orcid.org/0000-0002-4871-3283>

Nadezhda I. Ryumshina – Cand. of Sci. (Med.), Research Associate of the Department of Radiology and Tomography Diagnostic Techniques of the Cardiology Research Institute, Tomsk National Research Medical Centre, Tomsk. <https://orcid.org/0000-0002-6158-026X>

Tatiana A. Shelkovnikova – Cand. of Sci. (Med.), Senior Researcher, of the Department of Radiology and Tomography Diagnostic Techniques of the Cardiology Research Institute, Tomsk National Research Medical Centre, Tomsk. <https://orcid.org/0000-0001-8089-2851>

Olga V. Mochula – Cand. of Sci. (Med.), Junior Researcher of the Department of Radiology and Tomography Diagnostic Techniques of the Cardiology Research Institute, Tomsk National Research Medical Centre, Tomsk. <https://orcid.org/0000-0002-7502-7502>

Konstantin V. Zavadovsky – Doct. of Sci. (Med.), Head of the radiology department, Cardiology research Institute, Tomsk National medical research Center of the Russian Academy of Sciences, Tomsk. <https://orcid.org/0000-0002-1513-8614>. E-mail: konstz@cardio-tomsk.ru