

УДК 612.133+611.133.3+616.133.3

ИЗМЕНЕНИЕ ГЕМОДИНАМИКИ ПО ВНУТРЕННИМ СОННЫМ АРТЕРИЯМ ПРИ ИХ ПАТОЛОГИЧЕСКОЙ ИЗВИТОСТИ В СОЧЕТАНИИ С ДИСЦИРКУЛЯТОРНОЙ ОЧАГОВОЙ ПАТОЛОГИЕЙ ГОЛОВНОГО МОЗГА ПО ДАННЫМ МРТ

¹Ю. А. Станкевич, ¹О. Б. Богомякова, ¹Л. М. Василькив, ^{1,2}А. А. Тулунов¹Институт «Международный томографический центр» Сибирского отделения Российской академии наук, г. Новосибирск, Россия²Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, г. Новосибирск, Россия

FEATURES OF THE ICA BLOOD FLOW RATES AT THE PATHOLOGICAL TORTUOSITY WITH DYSCIRCULATORY FOCAL BRAIN LESIONS BY MAGNETIC RESONANCE TOMOGRAPHY

¹Ju. A. Stankevich, ¹O. B. Bogomyakova, ¹L. M. Vasilkiv, ^{1,2}A. A. Tulunov¹The Institute International Tomography Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of the Sciences, Novosibirsk, Russia²Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia

© Коллектив авторов, 2016 г.

Патологическая извитость внутренних сонных артерий (ВСА) является второй по частоте после атеросклеротического поражения причиной возникновения сосудисто-мозговой недостаточности. Цель исследования: определить изменение скоростных показателей кровотока по ВСА в случае их патологической извитости при дисциркуляторной очаговой патологии головного мозга разной степени выраженности с помощью количественной двумерной фазо-контрастной ангиографии. На МР-томографе 1,5 Т проведено комплексное исследование головного мозга и церебральной сосудистой системы 120 добровольцам (группа контроля 63 человека, n=126; группа патологии 57 человек, n=99). С помощью тестов Манна–Уитни и Краскела–Уоллиса (p<0,05) проведена оценка достоверности влияния факторов патологической извитости ВСА и выраженности дисциркуляторной очаговой патологии головного мозга на полученные количественные характеристики кровотока. В результате определены значения скоростных характеристик кровотока при деформации ВСА, сопровождающиеся появлением МР-признаков сосудисто-мозговой недостаточности.

Ключевые слова: гемодинамика, внутренние сонные артерии, патологическая извитость, сосудисто-мозговая недостаточность, фазо-контрастная магнитно-резонансная ангиография.

Pathological deformation of the internal carotid artery (ICA) is the second most common after atherosclerotic lesions cause of cerebrovascular insufficiency. The purpose of this study was to quantify the blood flow rates of the ICA in case of pathological tortuosity and discirculatory focal brain lesions of varying degrees of severity by quantitative two-dimensional phase-contrast angiography. The comprehensive investigation of the brain and brachiocephalic arteries of the 120 volunteers (control group 63, n=126; pathological group 57, n=99) was performed by 1,5T MR-scanner. The Mann-Whitney test and Kruskal-Wallis test (p<0,05) were used for the determine the significance influence of the ICA deformation and discirculatory focal brain lesions on the ICA blood flow rates. As a result, the values of the blood flow rates accompanied MR-signs of the discirculatory focal brain lesions at the ICA deformation were obtained.

Key words: hemodynamics, internal carotid artery deformation, morphofunctional features, phase-contrast magnetic resonance angiography.

Введение. Патологическая извитость внутренних сонных артерий (ВСА) впервые описывается как отдельная патология в 1901–1902 гг. [1]. Однако взгляды на ее значение в формировании цереброваскулярной недостаточности неоднозначны и до сих пор обсуждаются [2]. Большая часть авторов утвер-

ждают, что патологическая деформация ВСА является причиной симптомов сосудисто-мозговой недостаточности, транзиторных ишемических атак и ишемических инсультов и имеет постепенно прогрессирующий характер течения [3]. При этом показания к хирургическому лечению основаны на опре-

делении выраженности сосудисто-мозговой недостаточности, наличия атеросклеротического поражения и гемодинамической значимости выявленной извитости [4]. Критерии гемодинамической значимости стенозирования и патологической извитости ВСА разработаны для ультразвукового метода исследования [5]. Однако есть ограничения, не позволяющие провести адекватное доплерографическое исследование брахицефальных артерий, связанные с анатомическими и физиологическими особенностями пациента (короткие и толстые шеи, сложный ход артерии, наличие повышенного артериального давления, гетерогенность потока, наличие кальцифицированных бляшек по ходу сосуда) и операторозависимостью самого метода [6, 7]. Наряду с этим количественная двумерная фазо-контрастная магнитно-резонансная ангиография (2D-PCA) широко используется в мире для оценки выраженности гемодинамических нарушений при различных врожденных и приобретенных пороках сердца, а также крупных артериальных сосудов и их брахицефальных ветвей [8–11].

Материалы и методы исследования. Проведенное исследование проходило при поддержке локального этического комитета ФГБУН Института «Международный томографический центр» СО РАН и согласно принципам Хельсинкской декларации всемирной медицинской ассоциации. На МР-томографе 1,5 Т проведено обследование головного мозга и брахицефальных артерий 120 добровольцам с различным ходом внутренних сонных артерий и МР-признаками хронической ишемии головного мозга. Отбор пациентов в исследование происходило по результатам рутинного протокола, включающего получение изображений с использованием последовательностей T1-, T2-ВИ, FLAIR, DWI, MEYLO, 3D-PCA. В группу контроля включены 63 добровольца ($n=126$) без признаков неврологического дефицита и эпизодов сосудисто-мозговой недостаточности в анамнезе, без МР-признаков объемно-очаговой патологии головного мозга, с нормальным прямолинейным ходом внутренних сонных артерий в возрасте от 17 до 75 лет. В группу патологии включены 57 человек ($n=99$) с патологической извитостью ВСА на фоне МР-при-

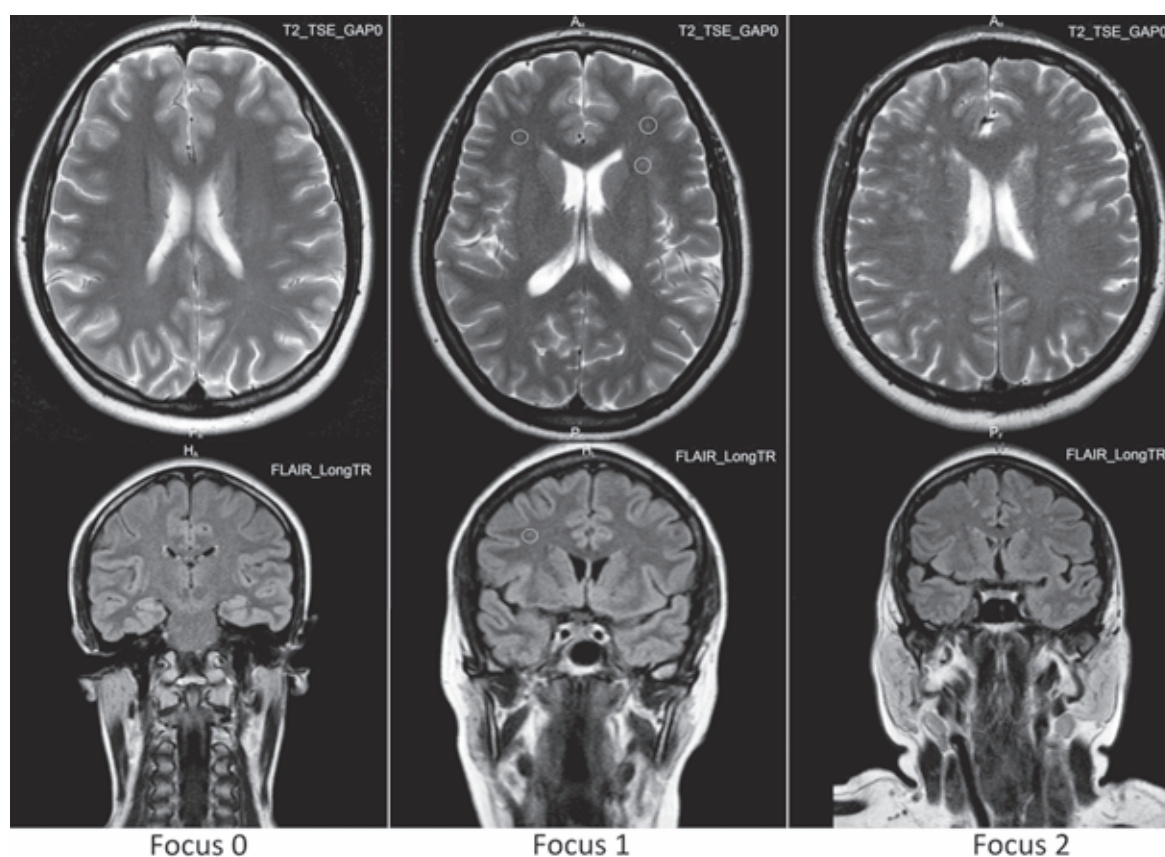


Рис. 1. Выраженность дисциркуляторной очаговой патологии головного мозга на T2-ВИ и FLAIR изображениях в группе с патологической извитостью ВСА. Focus 0 — отсутствуют дисциркуляторные очаговые изменения; Focus 1 — единичные мелкие дисциркуляторные очаги (обозначены белыми кольцами); Focus 2 — множественные дисциркуляторные очаги как проявления хронической ишемии головного мозга.

Цель работы: определение изменений скоростных показателей кровотока по ВСА в случае их патологической извитости при дисциркуляторной очаговой патологии головного мозга разной степени выраженности с помощью количественной 2D-PCA.

знаков дисциркуляторной очаговой патологии головного мозга разной степени выраженности. Вторая группа была разделена на три подгруппы в зависимости от степени выраженности дисциркуляторной очаговой патологии головного мозга (рис. 1).

Половозрастное распределение пациентов групп контроля и патологии представлено в табл. 1.

Далее всем исследуемым добровольцам проводилась количественная 2D-РСА с кардиосинхрониза-

а также стандартное отклонение и доверительный интервал при $p=0,05$. Значимость влияния фактора патологической извитости оценивалось с помощью U-критерия Манна–Уитни, а фактора дисциркуля-

Таблица 1

Половозрастное распределение пациентов групп контроля и патологии

Группа	Абс. число	Пол		Возраст*				Дисциркуляторная очаговая патология головного мозга**		
		жен.	муж.	1	2	3	4	0	1	2
Контроль	126	62	64	12	104	8	2	—		
Патология	99	62	37	6	29	43	21	34	43	22
Всего	225	124	101	18	133	51	23	34	43	22

* Возраст: 1 — мужчины 17–21 лет, женщины 16–20 лет; 2 — мужчины 22–35 лет, женщины 21–35 лет; 3 — мужчины 36–60 лет, женщины 36–55 лет; 4 — мужчины старше 61 года, женщины старше 56 лет. ** Выраженность дисциркуляторной очаговой патологии головного мозга: 0 — нет, 1 — единичные мелкие очаги, 2 — множественные очаги.

цией в ретроспективном режиме. С ее помощью измерялись значения объемной, пиковой, линейной скоростей кровотока, а также площадь поперечного сечения сосуда на 5 уровнях внутренних сонных артерий. Срезы устанавливались наиболее перпендикулярно ходу артерий с одновременным захватом правого и левого сосуда, за исключением каменистого сегмента. Для каждого из исследованного уровня ВСА высчитывались значения среднее значение для объемной, пиковой, линейной скоростей потока и площади поперечного сечения,

торной очаговой патологии — с помощью рангового дисперсионного анализа Краскела–Уоллиса.

Результаты и их обсуждение. Визуализирован кровотока в аксиальном сечении в шейном, каменистом и пещеристом сегментах ВСА в группах контроля и патологии. Отмечена неравномерность распределения потока в просвете артерии с деформацией и латерализацией быстрых центральных потоков в просвете артерии, более выраженная в участках дистальнее физиологических и патологических изгибов (рис. 2).

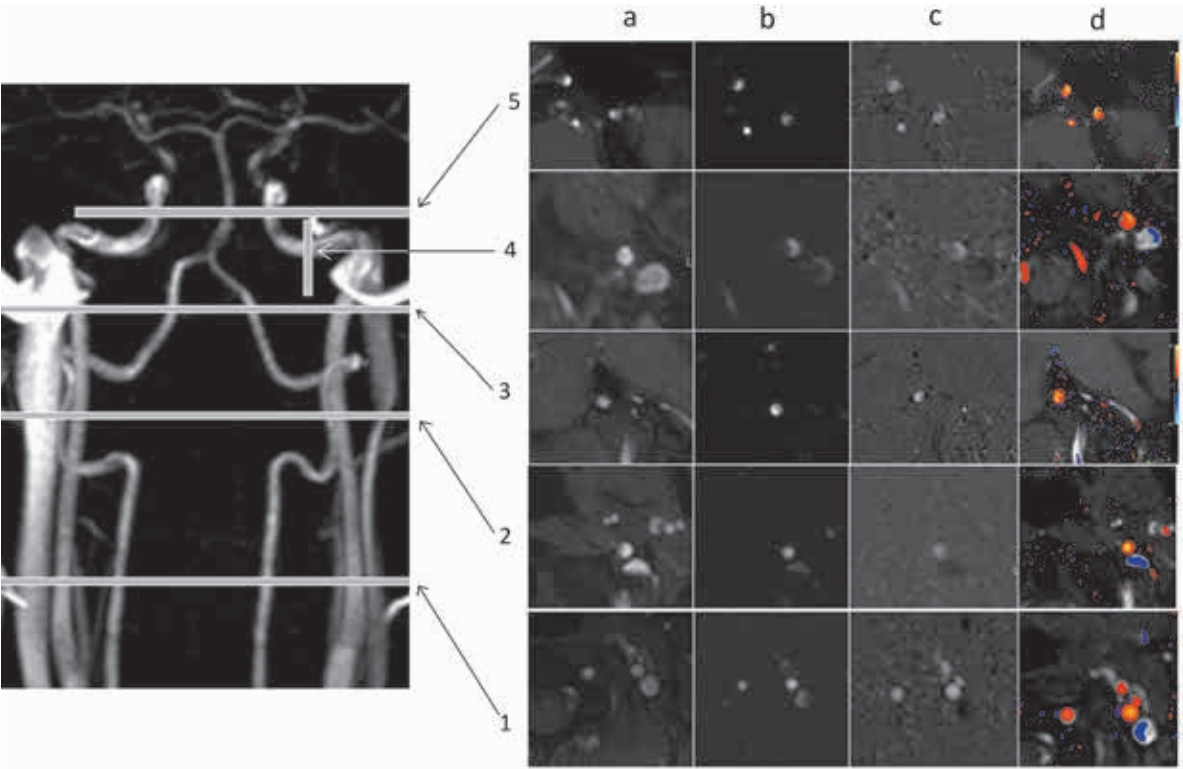


Рис. 2. Результаты 2D-РСА с неравномерностью потока в артериальном просвете на разных уровнях ВСА. 1 — проксимальная часть шейного сегмента; 2 — средняя треть шейного сегмента; 3 — дистальная часть шейного сегмента/вертикальная порция каменистого сегмента; 4 — горизонтальная часть каменистого сегмента; 5 — вертикальная часть пещеристого сегмента. а — FFE/М — изображения полученные в режиме FFE (быстрое полевое эхо); б — РСА/М — изображения, полученные методом фазового контраста; в — РСА/Р — изображения с фазовыми различиями; д — FFE-М-Color — изображения, отражающие пульсацию артерий в кино-режиме с цветовым картированием потока в зависимости от его направления и скорости.

Полученные качественные данные о характере потока подтверждают гипотезу о вращательно-поступательном характере движения крови вследствие активного сокращения спиралеобразно ориентированного мышечного слоя сердца и сосудов, распространяющуюся в последнее время [12].

Полученные количественные значения гемодинамических характеристик кровотока по ВСА и результаты статистического анализа на изученных уровнях в группе контроля и патологической извитости представлена на рис. 3.

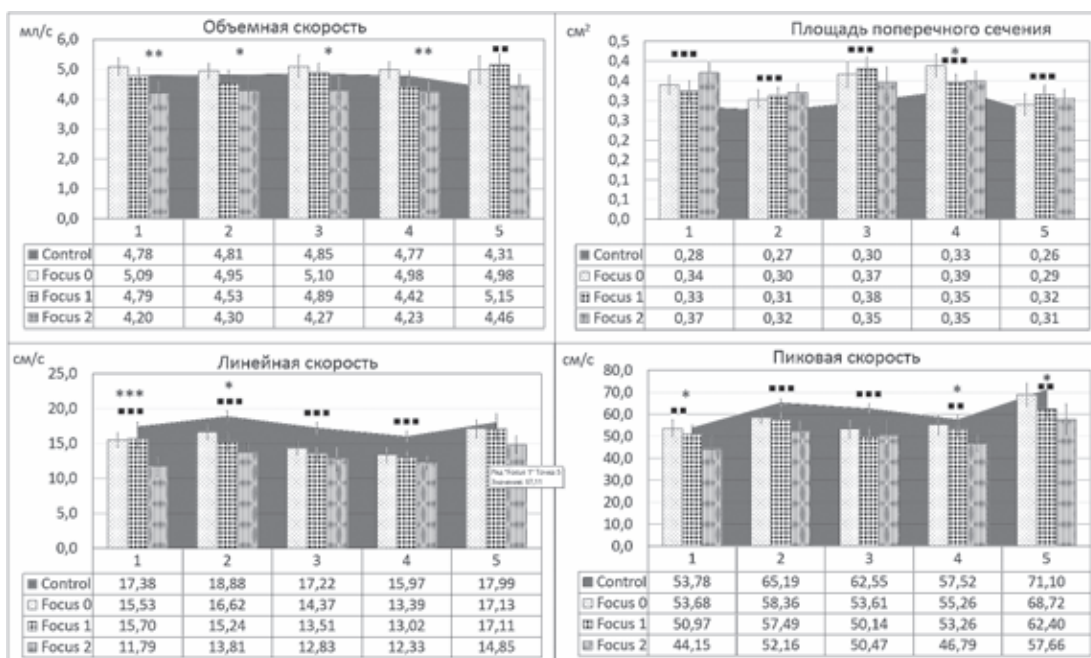


Рис. 3. Средние значения и доверительные интервалы скоростных показателей потока и площади поперечного сечения в разных частях ВСА в норме (Control) и при патологической извитости и на фоне дисциркуляторной очаговой патологии разной степени выраженности: Focus 0 — нет МР-признаков дисциркуляторной очаговой патологии; Focus 1 — единичные мелкие дисциркуляторные очаги; Focus 2 — множественные разнокалиберные дисциркуляторные очаги и признаки хронического и МР-признаки хронического нарушения мозгового кровообращения. По оси абсцисс указаны изученные части ВСА: 1 — проксимальные отделы шейного сегмента; 2 — средняя треть шейного сегмента; 3 — дистальная треть шейного сегмента/вертикальная порция каменистого сегмента; 4 — горизонтальная порция каменистого сегмента; 5 — вертикальная порция пещеристого сегмента. Достоверные отличия между контрольной группой и группой с патологической извитостью по результатам U-теста Манна–Уитни: ■■ $p < 0,01$; ■■■ $p < 0,001$. Достоверное влияние фактора дисциркуляторной очаговой патологии в группе с патологической извитостью, по результатам дисперсионного анализа Краскела–Уоллиса: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$.

Результаты определения достоверности различий гемодинамических характеристик ВСА групп контроля и подгрупп патологии представлены в табл. 2.

Полученные количественные значения объемной и пиковой скоростей кровотока в группе контроля в целом соотносятся с опубликованными ранее работами, в которых колеблются в диапазоне от 3,41 мл/с до 7,7 мл/с в зависимости от условий проведения экспериментов [13], а увеличение площади поперечного сечения сосуда, вероятно, является следствием нарушением строения эластического каркаса сосуда [14]. В случае патологической деформации сосуда получено достоверное снижение показателей пиковой скорости кровотока на всем протяжении ВСА, линейной скорости кровотока в шейном и каменистом сегментах на фоне

увеличения площади поперечного сечения сосуда. При этом нарастание выраженности дисциркуляторной очаговой патологии сопровождается снижением объемной скорости кровотока, в то время как снижение пиковой и линейной скоростей не зависит от наличия дисциркуляторных изменений головного мозга и связано с фактом деформации самого сосуда. Похожие данные, полученные с помощью фазо-контрастной МРА встречаются и в литературе — в сообщении W. W. Lam [15] также указывается на достоверное снижение объемной скорости

кровотока у пациентов с признаками неврологического дефицита. Таким образом, снижение объемной скорости кровотока по данным 2D-РСА в шейном сегменте ВСА дистальнее извитости более чем на 10% (ниже 4,34 мл/с) может быть использовано в качестве критерия гемодинамической значимости патологической извитости. Необходимо отметить, что приведенное выше снижение скоростных характеристик определено относительно группы контроля, которая имеет свои возрастные особенности — большая часть пациентов 82,5% в возрасте от 21 до 35 лет, поэтому указанное выше пороговое значение объемной скорости должно применяться именно для этой возрастной группы.

Выводы. Показано достоверное влияние гемодинамики на выраженность дисциркуляторной очаго-

Таблица 2

Межгрупповые различия гемодинамических характеристик ВСА

Часть ВСА	Проксимальная треть шейного сегмента	Средняя треть шейного сегмента	Дистальная треть шейного сегмента	Каменистый сегмент	Пещеристый сегмент
Подгруппы*	Объемная скорость кровотока				
0	↑6,5	↑2,9	↑5,3	↑4,5	↑15,7/p<0,05
1	↑0,1	↓5,8	↑0,9	↓7,2	↑19,6/p<0,001
2	↓12,1/p<0,05	↓10,7/p<0,05	↓11,9/p<0,05	↓11,5/p<0,05	↑3,5
	Площадь поперечного сечения				
0	↑19,9/p<0,001	↑10,5/p<0,05	↑23,4/p<0,001	↑18,9/p<0,001	↑10,3
1	↑14,7/p<0,01	↑13,7/p<0,01	↑28,3/p<0,001	↑5,6	↑20,3/p<0,001
2	↑30,5/p<0,001	↑16,7/p<0,001	↑16,6/p<0,05	↑7,1	↑16,6/p<0,01
	Линейная скорость кровотока				
0	↓10,6/p<0,01	↓12,0/p<0,001	↓16,1/p<0,001	↓16,1/p<0,01	↓4,8
1	↓9,7/p<0,05	↓19,3/p<0,001	↓21,5/p<0,001	↓18,5/p<0,001	↓4,9
2	↓32,1/p<0,001	↓26,9/p<0,001	↓25,5/p<0,001	↓22,8/p<0,001	↓17,5/p<0,001
	Пиковая скорость кровотока				
0	↓0,2	↓10,5/p<0,001	↓14,3/p<0,01	↓3,9	↓3,3
1	↓5,2	↓11,8/p<0,001	↓19,8/p<0,001	↓7,4/p<0,05	↓12,2/p<0,01
2	↓17,9/p<0,01	↓20,0/p<0,001	↓19,3/p<0,01	↓18,7/p<0,001	↓18,9/p<0,01

* Подгруппы выраженности дисциркуляторной очаговой патологии головного мозга: 0 — нет; 1 — единичные мелкие очаги; 2 — множественные очаги; «↓» — снижение, «↑» — увеличение на % по сравнению с группой контроля; значения p указаны в случае статистической значимости различий по результатам критерия Манна—Уитни.

вой патологии головного мозга: отмечается снижение скоростных характеристик кровотока пропорционально нарастанию выраженности дисциркуляторной очаговой патологии головного при патологической извитости ВСА. По результатам проведенного дисперсионного анализа предложено использовать снижение показателя объемной скорости кровотока в качестве критерии оценки гемодинамической значимости патологической извитости ВСА.

Таким образом, предложен новый подход, основанный на магнитно-резонансной томографии, позволяющий в случаях, ограниченных для ультразвуковых методик, в рамках одного обследования неинвазивно и без лучевой нагрузки провести комплексную морфофункциональную оценку гемодинамики при

патологической извитости ВСА, что расширяет диагностические возможности лучевых методов визуализации. Однако требуются дальнейшие исследования с увеличением количества наблюдений для учета других факторов (пола, возраста, дислипидемических нарушений, артериального давления) для широкого использования данного критерия.

* * *

Работа выполнена при финансовой поддержке ФАНО России по проекту 0333-2014-0003 в части оптимизации МР-протокола, а также гранта РНФ по проекту № 14-35-00020 в части нейроваскулярного обследования добровольцев.

ЛИТЕРАТУРА

- Rowlands R.P., Swan R.H. Tortuosity of both internal carotid arteries // Br. Med. J. — 1902. — Vol. 1, (2141). — P. 76.
- Tse G.G., Masuda E.M., Mcmurtray A.M., Nakamoto B.K. Case Report Coiled Internal Carotid Arteries Associated with Bilateral Sequential Strokes // Case Reports in Vascular Medicine. — 2013. — Vol. 2013: <http://dx.doi.org/10.1155/2013/929530>.
- Zenteno M., Viñuela F., Moscote-Salazar L.R. et al. Clinical implications of internal carotid artery tortuosity, kinking and coiling: a systematic review // Rom. Neurosurg. — 2014. — Vol. 21, № 1. — P. 51–60.
- Ricotta J.J., Aburahma A., Ascher E. et al. Updated Society for Vascular Surgery guidelines for management of extracranial carotid disease // J. Vasc. Surg. — 2011. — Vol. 54, № 3. — P. e1–31.
- Oates C.P., Naylor A.R., Hartshorne T. et al. Joint recommendations for reporting carotid ultrasound investigations in the United Kingdom // Eur. J. Vasc. Endovasc. Surg. — 2009. — Vol. 37, № 3. — P. 251–261.
- Gerhard-Herman M., Gardin J.M., Jaff M. et al. Guidelines for Noninvasive Vascular Laboratory Testing: A Report from the American Society of Echocardiography and the Society of Vascular Medicine and Biology // J. Am. Soc. Echocardiogr. — 2006. — Vol. 19, № 8. — P. 955–972.
- Hashimoto B.E. Pitfalls in Carotid Ultrasound Diagnosis // Ultrasound Clin. — 2011. — Vol. 6, № 4. — P. 463–476.
- Gorev V., Tulupov A. The Phenomenon of Longitudinal Flow Vortices in the Sigmoid Sinus in Humans // Appl Magn Reson. — 2015. — Vol. 46, № 5. — P. 575–581.
- Bogomyakova O., Stankevich Y., Shraibman L., Tulupov A. Multi-level Assessment Cerebrospinal Fluid Flow in Patients with

- Chiari I Malformation // *Appl. Magn. Reson.* — 2014. — Vol. 45, № 8. — P. 785–796.
10. Tulupov A.A., Bogomyakova O.B., Savelyeva L.A., Prygova Y.A. Quantification of Flow of Cerebrospinal Fluid on Basal Level of Brain by a Phase-Contrast MRI Technique // *Appl. Magn. Reson.* — 2011. — Vol. 41, № 2–4. — P. 543–550.
11. Tulupov A.A., Savelyeva L.A., Bogomyakova O.B., Prygova Y.A. Cerebral Venous Thrombosis: Diagnostic Features of Phase-Contrast MR Angiography // *Appl. Magn. Reson.* — 2011. — Vol. 41, № 2–4. — P. 551–560.
12. Багаев С.Н., Захаров В.Н., Орлов В.А. Основопологающие явления и законы в структурно-функциональной организации сердечно-сосудистой системы // *Атеросклероз.* — 2011. — Т. 7, № 2. — С. 68–89.
13. Zhao M., Amin-Hanjani S., Ruland S. et al. Regional cerebral blood flow using quantitative MR angiography // *AJNR Am. J. Neuroradiol.* — 2007. — Vol. 28, № 8. — P. 1470–1473.
14. Железкова А.А., Скоробогатов Ю.Ю., Филатова О.В. Возрастное изменение диаметра внутренних сонных артерий // *Известия алтайского государственного университета. Биологические науки.* — 2010. — Т. 3–1. — С. 26–39.
15. Lam W.W.M., Ho S.S.Y., Leung S.F., Wong K.S. et al. Cerebral blood flow measurement by color velocity imaging in radiation-induced carotid stenosis // *Ultrasound.* — 2003. — Vol. 22, № 10. — P. 1055–1060.

REFERENCES

1. Rowlands R.P., Swan R.H., Tortuosity of both internal carotid arteries, *Br. Med. J.*, 1902, vol. 1 (2141), pp. 76.
2. Tse G.G., Masuda E.M., Mcmurtray A.M., Nakamoto B.K., Case Report Coiled Internal Carotid Arteries Associated with Bilateral Sequential Strokes, *Case Reports in Vascular Medicine*, 2013, vol. 2013: <http://dx.doi.org/10.1155/2013/929530>.
3. Zenteno M., Viñuela F., Moscote-Salazar L.R. et al., Clinical implications of internal carotid artery tortuosity, kinking and coiling: a systematic review, *Rom. Neurosurg.*, 2014, vol. 21, No. 1, pp. 51–60.
4. Ricotta J.J., Aburahma A., Ascher E. et al., Updated Society for Vascular Surgery guidelines for management of extracranial carotid disease, *J. Vasc. Surg.*, 2011. vol. 54, No. 3, pp. e1–31.
5. Oates C.P., Naylor A.R., Hartshorne T. et al., Joint recommendations for reporting carotid ultrasound investigations in the United Kingdom, *Eur. J. Vasc. Endovasc. Surg.*, 2009, vol. 37, No. 3, pp. 251–261.
6. Gerhard-Herman M., Gardin J.M., Jaff M. et al., Guidelines for Noninvasive Vascular Laboratory Testing: A Report from the American Society of Echocardiography and the Society of Vascular Medicine and Biology, *J. Am. Soc. Echocardiogr.*, 2006, vol. 19, No. 8, pp. 955–972.
7. Hashimoto B.E., Pitfalls in Carotid Ultrasound Diagnosis, *Ultrasound Clin.*, 2011, vol. 6, No. 4, pp. 463–476.
8. Gorev V., Tulupov A., The Phenomenon of Longitudinal Flow Vortices in the Sigmoid Sinus in Humans, *Appl. Magn. Reson.*, 2015, vol. 46, No. 5, pp. 575–581.
9. Bogomyakova O., Stankevich Y., Shraibman L., Tulupov A., Multi-level Assessment Cerebrospinal Fluid Flow in Patients with Chiari I Malformation, *Appl. Magn. Reson.*, 2014, vol. 45, No. 8, pp. 785–796.
10. Tulupov A.A., Bogomyakova O.B., Savelyeva L.A., Prygova Y.A., Quantification of Flow of Cerebrospinal Fluid on Basal Level of Brain by a Phase-Contrast MRI Technique, *Appl. Magn. Reson.*, 2011, vol. 41, No. 2–4, pp. 543–550.
11. Tulupov A.A., Savelyeva L.A., Bogomyakova O.B., Prygova Y.A., Cerebral Venous Thrombosis: Diagnostic Features of Phase-Contrast MR Angiography, *Appl. Magn. Reson.*, 2011, vol. 41, No. 2–4, pp. 551–560.
12. Bagaev S.N., Zaxarov V.N., Orlov V.A., Osnovopolagayushhie yavleniya i zakony v strukturno-funkcionalnoj organizacii serdechno-sosudistoj sistemy, *Ateroskleroz*, 2011, vol. 7, No. 2, S.68–89.
13. Zhao M., Amin-Hanjani S., Ruland S. et al. Regional cerebral blood flow using quantitative MR angiography, *AJNR Am. J. Neuroradiol.*, 2007, vol. 28, No. 8, pp. 1470–1473.
14. Zhelezkova A.A., Skorobogatov Yu.Yu., Filatova O.V., Vozrastnoe izmenenie diametra vnutrennix sonnyx arterij, *Izvestiya altajskogo gosudarstvennogo universiteta, Biologicheskie nauki*, 2010, vol. 3–1, pp. 26–39.
15. Lam W.W.M., Ho S.S.Y., Leung S.F. et al., Cerebral blood flow measurement by color velocity imaging in radiation-induced carotid stenosis, *Ultrasound*, 2003, vol. 22, No. 10, pp. 1055–1060.

Поступила в редакцию: 22.05.2016 г.

Контакт: Станкевич Юлия Александровна, stankevich@tomo.nsc.ru

Сведения об авторах:

Станкевич Юлия Александровна — врач, младший научный сотрудник лаборатории «МРТ Технологии», лаборатории трансляционных исследований мозга, ФГБУН Институт «Международный томографический центр» Сибирского отделения Российской академии наук. 630090, Новосибирск, ул. Институтская, д. 3А; e-mail: stankevich@tomo.nsc.ru; тел.: 8 923 135-84-77, +7 383 330-69-26;

Богомякова Ольга Борисовна — врач, младший научный сотрудник лаборатории «МРТ Технологии», лаборатории трансляционных исследований мозга, ФГБУН Институт «Международный томографический центр» Сибирского отделения Российской академии наук. 630090, Новосибирск, ул. Институтская, д. 3А; e-mail: bogom_o@tomo.nsc.ru; тел.: +7 383 330-69-26;

Василькив Любовь Михайловна — врач, лаборант-исследователь лаборатории «МРТ Технологии», лаборатории трансляционных исследований мозга, ФГБУН Институт «Международный томографический центр» Сибирского отделения Российской академии наук. 630090, Новосибирск, ул. Институтская, д. 3А; e-mail: vasilkiv@tomo.nsc.ru; тел.: +7 383 330-69-26;

Тулупов Андрей Александрович — доктор медицинских наук, профессор, врач, заведующий лабораторией «МРТ Технологии», главный научный сотрудник лаборатории трансляционных исследований мозга, ФГБУН Институт «Международный томографический центр» Сибирского отделения Российской академии наук. 630090, Новосибирск, ул. Институтская, д. 3А; доцент, зам. декана, зам. директора Центра постдипломного медицинского образования, кафедра фундаментальной медицины, медицинский факультет, ФГАОУ ВПО «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет». 630090, Новосибирск, ул. Пирогова, д. 2; e-mail: taa@tomo.nsc.ru; тел.: +7 383 330-69-26.