

Сердце и сосуды | Heart and vessels

ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1252>

Уточнение гемодинамической значимости стенотического поражения экстракраниальных отделов каротидных артерий по данным ультразвукового исследования внутренней яремной вены

© Буховец И.Л.*, Максимова А.С., Кузнецов М.С., Козлов Б.Н., Усов В.Ю.

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

Цель исследования: изучение изменений размеров и линейных скоростей кровотока внутренних яремных вен (ВЯВ) у пациентов со стенозом “высокой” степени экстракраниальных отделов внутренних сонных артерий (ВСА).

Материал и методы. В исследование было включено 28 пациентов: 14 пациентов со стенозами “высокой” степени ВСА (более 70% по критериям NASCET) составили 1-ю (основную) группу, 14 пациентов с “малыми” стенозами ВСА (менее 30%) – 2-ю (контрольную) группу. Состояние кровотока в экстракраниальных отделах магистральных артерий головы оценивали с использованием ультразвукового исследования.

Результаты. При изучении особенностей венозного кровотока было установлено следующее: в группе со стенозами “высокой” степени в отличие от группы пациентов с “малыми” стенозами статистически значимо было ниже венозное давление, измеренное на руке, а следовательно, и расчетное центральное венозное давление, тогда как линейные скорости пиков S и T были статистически значимо выше в 1-й группе на стороне гемодинамически значимого стеноза. На стороне, контралатеральной стенозу, в 1-й группе статистически значимо были меньше площадь ВЯВ и отношение S1/S2, чем у пациентов 2-й группы. При внутригрупповом анализе у пациентов с гемодинамически значимым стенозом выявлена статистически значимая разница практически всех показателей по сравнению с контралатеральной стороной: диаметры вены и ее площадь были больше, а линейные показатели скоростей пиков A, S и T выше, тогда как в группе “малых” стенозов статистически значимых различий не получено.

Заключение. Изменения размеров и венозного кровотока ВЯВ взаимосвязаны с развитием стенозов ВСА “высокой” степени, обладают важными диагностическими особенностями и могут быть использованы в качестве дополнительного признака гемодинамической значимости каротидного стеноза.

Ключевые слова: ультразвуковая диагностика, каротидный атеросклероз, каротидная эндартерэктомия

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Буховец И.Л., Максимова А.С., Кузнецов М.С., Козлов Б.Н., Усов В.Ю. Уточнение гемодинамической значимости stenotического поражения экстракраниальных отделов каротидных артерий по данным ультразвукового исследования внутренней яремной вены. *Медицинская визуализация*. 2023; 27 (4): 35–44. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1252>

Поступила в редакцию: 16.08.2022.

Принята к печати: 18.11.2022.

Опубликована online: 26.06.2023.



Update on the hemodynamic significance of stenotic lesion of the extracranial carotid arteries according to ultrasonic examination of the internal jugular vein

© Irina L. Bukhovets*, Aleksandra S. Maksimova, Mikhail S. Kuznetsov, Boris N. Kozlov, Wladimir Yu. Ussov

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

Aim. To study changes in the size and linear velocities of the blood flow of internal jugular veins in patients with high degree stenosis of the extracranial carotid artery.

Methods. The study included 28 patients: 14 patients with high degree stenoses of the internal carotid arteries (70% and more by NASCET criteria) constituted group 1, 14 patients with "small" stenoses of the ICA (less than 30%) – group 2. The state of blood flow in the extracranial sections of the main arteries of the head were evaluated using ultrasound.

Results. When studying the features of venous blood flow, the following was found: in the group with unilateral hemodynamically significant stenosis, in contrast to the group of patients with "small" stenoses, the venous pressure measured on the arm was statistically significantly lower, and therefore the calculated central venous pressure, while the linear velocities of the peaks S and T were statistically significantly higher by 1 the group on the side of hemodynamically significant stenosis. On the side of contralateral stenosis in group 1, there was statistically significantly less area of VAV, and the ratio S_1/S_2 , than in patients of group 2. Intra-group analysis revealed a statistically significant difference in almost all indicators in patients with hemodynamically significant stenosis compared with the contralateral side: the diameters of the vein and its area were larger, and the linear rates of the A, S and T peaks were higher. Whereas there were no statistically significant differences in the group of "small" stenoses.

Conclusion. Changes in venous blood flow in the jugular veins are interrelated with the development of high degree carotid stenosis and have diagnostic significance, can be used as an additional sign of the hemodynamic significance of carotid stenosis.

Keywords: ultrasound diagnostics, carotid atherosclerosis, carotid endarterectomy

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

For citation: Bukhovets I.L., Maksimova A.S., Kuznetsov M.S., Kozlov B.N., Ussov V.Yu. Update on the hemodynamic significance of stenotic lesion of the extracranial carotid arteries according to ultrasonic examination of the internal jugular vein. *Medical Visualization*. 2023; 27 (4): 35–44. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1252>

Received: 16.08.2022.

Accepted for publication: 18.11.2022.

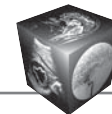
Published online: 26.06.2023.

Введение

На сегодняшний день все больший интерес клиницистов привлекают вопросы, касающиеся изменений венозного русла, в том числе при атеросклерозе сосудов головного мозга. Атеросклеротическое поражение артериальных сосудов, питающих головной мозг, вызывает не только нарушение артериального притока к головному мозгу, но и изменения венозной гемодинамики, затруднение венозного оттока, что приводит к развитию внутричерепной гипертензии [1–3]. Однако при этом только небольшая часть исследований посвящена венозному кровотоку, несмотря на то что примерно 85% объема сосудистого русла мозга приходится на венозные сосуды, 10% – на артерии

и около 5% – на капилляры [4]. Тесная взаимосвязь артериального и венозного кровообращения настойчиво указывает на необходимость изучения изменений венозного кровотока при атеросклеротическом стенозе магистральных артерий головы [5–7].

Необходимо учитывать, что важнейшим механизмом ауторегуляции мозгового кровотока является венодилатация мелких пилальных вен и их коллекторов, вплоть до передних, средних и задних мозговых вен при хронической ишемии, приводящая к компенсаторному снижению сопротивления сосудистой системы в целом, и увеличение кровотока, даже в условиях повышения артериального сопротивления в области артериального



отдела сосудистой системы головного мозга [5, 8–10]. Главным венозным коллектором для сосудистого бассейна головного мозга являются внутренние яремные вены (ВЯВ), поскольку при горизонтальном положении человека отток по ним составляет $86 \pm 5,4\%$ [11]. Общеизвестно, что на размеры вен и состояние венозного кровотока оказывают влияние такие факторы, как уровень артериального притока, остаточное давление в капиллярах, давление в магистральных венах и правом предсердии, гравитационно-гидродинамические механизмы. Характер потока в просветах ВЯВ – фазный. Для внечерепных вен это обусловлено давлением в правых отделах сердца, в этом случае фазность внутрипросветных потоков является устойчивой и характерной особенностью кровотока. Ультразвуковое сканирование ВЯВ позволяет оценить размеры сосудов, а кривая доплеровского спектра определить линейную скорость кровотока и направление потока. В литературе нет достаточной информации, насколько размеры продольного и поперечного сечения, площадь, линейные скоростные характеристики кровотока в яремных венах отражают нарушения венозной циркуляции в головном мозге и насколько эти изменения зависят от состояния артерий [1, 11, 12]. На сегодняшний день венозную систему головного мозга определяют как высокоорганизованную рефлексогенную зону, которая несет на себе ответственность за развитие достаточно сложных и имеющих большое физиологическое значение компенсаторных реакций, которые принимают участие в обеспечении постоянного мозгового кровотока [11, 13]. В предыдущих исследованиях, изучавших нарушения венозного оттока, речь шла преимущественно о конкретных видах патологии: венозные энцефалопатии, церебральные венозные дисциркуляции, мальформации, тромбозы и далее, первичном поражении венозного русла или наличии определенных жалоб: головная боль, головокружение, слабость, нарушения памяти, шум в ушах и т.д. [2, 4, 6, 14]. В том, что касается нарушений венозного оттока при каротидном стенозе, речь шла только об увеличении или снижении скоростей оттока по ВЯВ либо измерялась только одна линейная скорость (максимальная диастолическая) [2, 15]. Зарубежные исследователи посвящали свои исследования изучению венозного оттока как критерию нарушения церебрального сосудистого резерва, определению соотношения поперечного сечения ВЯВ и общей сонной артерии (ОСА) и центрального венозного давления у пациентов в критическом состоянии и влиянию ВЯВ на эластичность ОСА [16–20]. Но то, изменяются ли, и если

изменяются, то как, размеры и линейные скорости оттока в ВЯВ при стенозе “высокой степени” экстракраниальных отделов каротидных артерий в сравнении с гемодинамически незначимыми стенозами, изучено недостаточно.

Цель исследования

Изучение изменений диаметров (продольных и поперечных), площади и линейных скоростей кровотока ВЯВ у пациентов со стенозами “высокой” степени экстракраниальных отделов каротидных артерий.

Материал и методы

В данное исследование было включено 28 пациентов: 14 пациентов со стенозом “высокой” степени внутренних сонных артерий (ВСА) (более 70% по критериям NASCET) составили 1-ю (основную) группу, 14 пациентов с “малыми” стенозами ВСА (менее 30%) – 2-ю (контрольную) группу. Пациенты обеих групп были сопоставимы по клиническим и анамнестическим характеристикам, за исключением степени стенозирования экстракраниальных отделов ВСА, не имели патологии правых отделов сердца, легочной артерии и органов дыхания (табл. 1).

Состояние сосудов и венозного кровотока оценивали в покое с помощью ультразвуковой диагностической системы GE Vivid E9 в В-режиме, режимах цветового и импульсно-волнового доплеровского картирования с использованием линейного датчика 15ML (6,0–15,0 МГц). Ультразвуковое исследование (УЗИ) выполнялось в положении пациента лежа на спине после пятиминутного отдыха. У всех пациентов проводился контроль артериального давления и частоты сердечных сокращений, ультразвуковое исследование синхронизировалось с ЭКГ. Изучение параметров венозного кровотока проводили по нижнему краю лопаточно-подъязычной мышцы (в области нижней луковичи) при задержке дыхания на неглубоком выдохе, чтобы нивелировать колебания доплеровского спектра от фаз дыхания [11, 12, 21]. Измеряли максимальный диаметр сосуда в продольном и поперечном сечениях, площади сосудов в поперечном сечении, измерения проводились в проекции фиксированной точки – по нижнему краю лопаточно-подъязычной мышцы. Определяли основные пики, соответствующие определенным фазам сердечного цикла: А-пик, S-пик, Т-пик. Венозное давление измеряли с применением ультразвукового прибора: на плечо накладывалась манжета тонометра, линейным датчиком находилась плечевая вена, манжета накачивалась до 60 ± 5 мм рт.ст., воздух из манжеты



Таблица 1. Клиническая характеристика пациентов

Table 1. Clinical characteristics of patients

Параметры Parameters	Основная группа Main group (n = 14)	Группа контроля Control group (n = 14)	p-value
Возраст, годы / Age, years	68.14 ± 7.73	66.14 ± 8.87	>0.05
Мужчины, абс.(%) / Men, abs. (%)	12 (86%)	9 (64%)	>0.05
Степень стеноза, % / Degree of stenosis, %	75.71 ± 6.75	18.79 ± 10.63	<0.05
Рост, см / Height, cm	169.5 ± 8.69	170.71 ± 7.59	>0.05
Масса тела, кг / Weight, kg	80.57 ± 15.9	87.36 ± 15.03	>0.05
ИМТ / BMI	27.9 ± 4.6	30 ± 4.89	>0.05
ППТ, м ² / BSA, м ²	1.91 ± 0.22	1.99 ± 0.18	>0.05
АДс, мм рт.ст. / BPs, mmHg	129.43 ± 7.12	123.71 ± 13.42	>0.05
АДд, мм рт.ст. / BPd, mmHg	88.93 ± 7.12	81.43 ± 10.27	<0.05
ВД, мм рт.ст. / VP, mmHg	15.5 ± 5.95	25.07 ± 10.95	<0.05
ЦВД, мм рт.ст. / CVP, mmHg	3.44 ± 1.32	5.57 ± 2.43	<0.05
СД, абс. (%) / DM, abs (%)	6 (43%)	6 (43%)	>0.05
ГБ, абс. (%) / Hypertension, abs (%)	11 (79%)	11 (79%)	>0.05
Курение, абс. (%) / Smoking, abs. (%)	5 (36%)	7 (50%)	>0.05
ИБС, абс. (%) / CHD, abs. (%)	10 (71%)	11 (79%)	>0.05
Инсульты, абс. (%) / Strokes, abs. (%)	3 (21%)	2 (14%)	>0.05
Инфаркты, абс. (%) / Heart attacks, abs. (%)	2 (14%)	2 (14%)	>0.05

Примечание. ИМТ – индекс массы тела, ППТ – площадь поверхности тела, АДс – систолическое артериальное давление, АДд – диастолическое артериальное давление, ВД – венозное давление, ЦВД – центральное венозное давление, СД – сахарный диабет, ГБ – гипертоническая болезнь, ИБС – ишемическая болезнь сердца.

Note. BMI – body mass index, BSP – body surface area, BPs – systolic blood pressure, BPd – diastolic blood pressure, VD – venous pressure, CVP – central venous pressure, DM – diabetes mellitus, CHD – coronary heart disease.

медленно спускался до момента появления ультразвукового сигнала на экране прибора и отмечалось показание манометра. Величину центрального венозного давления определяли как отношение величины венозного давления в плечевой вене к коэффициенту пересчета 4,5 [22].

Все пациенты, включенные в исследование, подписали информированное согласие на участие в данном исследовании. Работа одобрена Комитетом по биомедицинской этике НИИ кардиологии Томского НИМЦ.

Статистический анализ

Статистическая обработка полученных данных проводилась в программе Statistica 10. Проверка выборок на соответствие нормальному закону распределения осуществлялась с помощью критерия Шапиро–Вилка, обладающего наибольшей мощностью при выборках небольшого объема. Количественные данные, подчиняющиеся нор-

мальному закону распределения, представлены в виде среднего и стандартного отклонения – $M \pm SD$. Анализ данных (группа исследования – контрольная группа; сторона стеноза – контралатеральная сторона) проводился с помощью t-критерия Стьюдента. Критический уровень значимости нулевой статистической гипотезы (p) принимался равным 0,05.

Результаты

При изучении особенностей венозного кровотока было установлено следующее: в группе с односторонним стенозом “высокой” степени, в отличие от группы пациентов с “малыми” стенозами, статистически значимо было ниже венозное давление, измеренное на руке, а следовательно, и расчетное центральное венозное давление, тогда как линейные скорости пиков S и T были статистически значимо выше в 1-й группе на стороне гемодинамически значимого стеноза. На стороне,

**Таблица 2.** Сравнительная характеристика ультразвуковых показателей кровотока во внутренних яремных венах в 1-й и 2-й группах**Table 2.** Comparative characteristics of ultrasound parameters of blood flow in the internal jugular veins in groups 1 and 2

	1-я (основная) группа Main group (n = 14)	2-я (контрольная) группа Control group (n = 14)	p-value
Сторона стеноза Stenosis side			
D ₁ , cm	1.04 ± 0.17	0.92 ± 0.2	>0.05
D ₂ , cm	1.00 ± 0.24	1.02 ± 0.19	>0.05
D ₃ , cm	0.71 ± 0.07	0.70 ± 0.07	>0.05
D ₁ /D ₃	1.48 ± 0.23	1.34 ± 0.36	>0.05
S ₁ , cm ²	1.44 ± 0.5	1.19 ± 0.54	>0.05
S ₂ , cm ²	0.47 ± 0.13	0.43 ± 0.09	>0.05
S ₁ /S ₂	3.19 ± 1.15	2.83 ± 1.39	>0.05
A, cm/s	13.58 ± 5.54	10.49 ± 5.73	>0.05
S, cm/s	50.3 ± 20.22	34.72 ± 18.72	<0.05
T, cm/s	28.91 ± 11.94	19.08 ± 11.61	<0.05
S/T	1.75 ± 0.22	1.89 ± 0.4	>0.05
Контралатеральная стенозу сторона Contralateral to the stenosis side			
D ₁ , cm	0.82 ± 0.15	0.93 ± 0.26	>0.05
D ₂ , cm	0.77 ± 0.19	0.97 ± 0.38	>0.05
D ₃ , cm	0.66 ± 0.1	0.7 ± 0.07	>0.05
D ₁ /D ₃	1.26 ± 0.3	1.35 ± 0.42	>0.05
S ₁ , cm ²	0.87 ± 0.33	1.25 ± 0.6	<0.05
S ₂ , cm ²	0.43 ± 0.09	0.43 ± 0.07	>0.05
S ₁ /S ₂	2.02 ± 0.7	2.9 ± 1.32	<0.05
A, cm/s	8.52 ± 1.76	8.77 ± 2.6	>0.05
S, cm/s	24.28 ± 9.16	26.22 ± 4.81	>0.05
T, cm/s	14.9 ± 4.49	14.7 ± 3.8	>0.05
S/T	1.63 ± 0.41	1.84 ± 0.31	>0.05

Примечание. Здесь и в табл. 3, 4: D₁ – диаметр ВЯВ в поперечном сечении, D₂ – диаметр ВЯВ в продольном сечении, D₃ – диаметр сонной артерии в поперечном сечении, S₁ – площадь ВЯВ в поперечном сечении, S₂ – площадь сонной артерии, A, S, T – основные пики, соответствующие определенным фазам сердечного цикла.

Note. Here and in Table. 3, 4: D₁ – internal jugular vein diameter in cross section, D₂ – internal jugular vein diameter in longitudinal section, D₃ – carotid artery diameter in cross section, S₁ – internal jugular vein area in cross section, S₂ – carotid artery area, A, S, T – main peaks corresponding to certain phases of the cardiac cycle.

Таблица 3. Сравнительная характеристика ультразвуковых показателей кровотока во внутренних яремных венах в 1-й группе**Table 3.** Comparative characteristics of ultrasound parameters of blood flow in the internal jugular veins in group 1

	1-я (основная) группа / Main group (n = 14)		
	сторона стеноза stenosis side	контра- латеральная сторона contralateral to the stenosis side	p- value
D ₁ , cm	1.04 ± 0.17	0.82 ± 0.15	<0.05
D ₂ , cm	1.00 ± 0.24	0.77 ± 0.19	<0.05
D ₃ , cm	0.71 ± 0.07	0.66 ± 0.1	>0.05
D ₁ /D ₃	1.48 ± 0.23	1.26 ± 0.3	>0.05
S ₁ , cm ²	1.44 ± 0.5	0.87 ± 0.33	<0.05
S ₂ , cm ²	0.47 ± 0.13	0.43 ± 0.09	>0.05
S ₁ /S ₂	3.19 ± 1.15	2.02 ± 0.7	<0.05
A, cm/s	13.58 ± 5.54	8.52 ± 1.76	<0.05
S, cm/s	50.3 ± 20.22	24.28 ± 9.16	<0.05
T, cm/s	28.91 ± 11.94	14.9 ± 4.49	<0.05
S/T	1.75 ± 0.22	1.63 ± 0.41	>0.05

Таблица 4. Сравнительная характеристика ультразвуковых показателей кровотока во внутренних яремных венах во 2-й группе**Table 4.** Comparative characteristics of ultrasound parameters of blood flow in the internal jugular veins in group 2

	2-я (контрольная) группа / Control group (n = 14)		
	сторона стеноза stenosis side	контра- латеральная сторона contralateral to the steno- sis side	p- value
D ₁ , cm	0,92 ± 0,2	0,93 ± 0,26	>0,05
D ₂ , cm	1,02 ± 0,19	0,97 ± 0,38	>0,05
D ₃ , cm	0,70 ± 0,07	0,7 ± 0,07	>0,05
D ₁ /D ₃	1,34 ± 0,36	1,35 ± 0,42	>0,05
S ₁ , cm ²	1,19 ± 0,54	1,25 ± 0,6	>0,05
S ₂ , cm ²	0,43 ± 0,09	0,43 ± 0,07	>0,05
S ₁ /S ₂	2,83 ± 1,39	2,9 ± 1,32	>0,05
A, cm/s	10,49 ± 5,73	8,77 ± 2,6	>0,05
S, cm/s	34,72 ± 18,72	26,22 ± 4,81	>0,05
T, cm/s	19,08 ± 11,61	14,7 ± 3,8	>0,05
S/T	1,89 ± 0,4	1,84 ± 0,31	>0,05



контралатеральной стенозу, в 1-й группе статистически значимо были меньше площадь ВЯВ и отношение S_1/S_2 , чем у пациентов 2-й группы (табл. 2).

При внутригрупповом анализе у пациентов с “высокой” степенью стеноза выявлена статистически значимая разница практически всех показателей по сравнению с контралатеральной сторо-

ной: диаметры вены и ее площадь были больше, а линейные показатели скоростей пиков А, S и Т выше, тогда как в группе “малых” стенозов статистически значимых различий не получено (табл. 3, 4). Иллюстрации к изучению особенностей размеров и линейных скоростных показателей ВЯВ у данных групп пациентов представлены на рис. 1, 2.

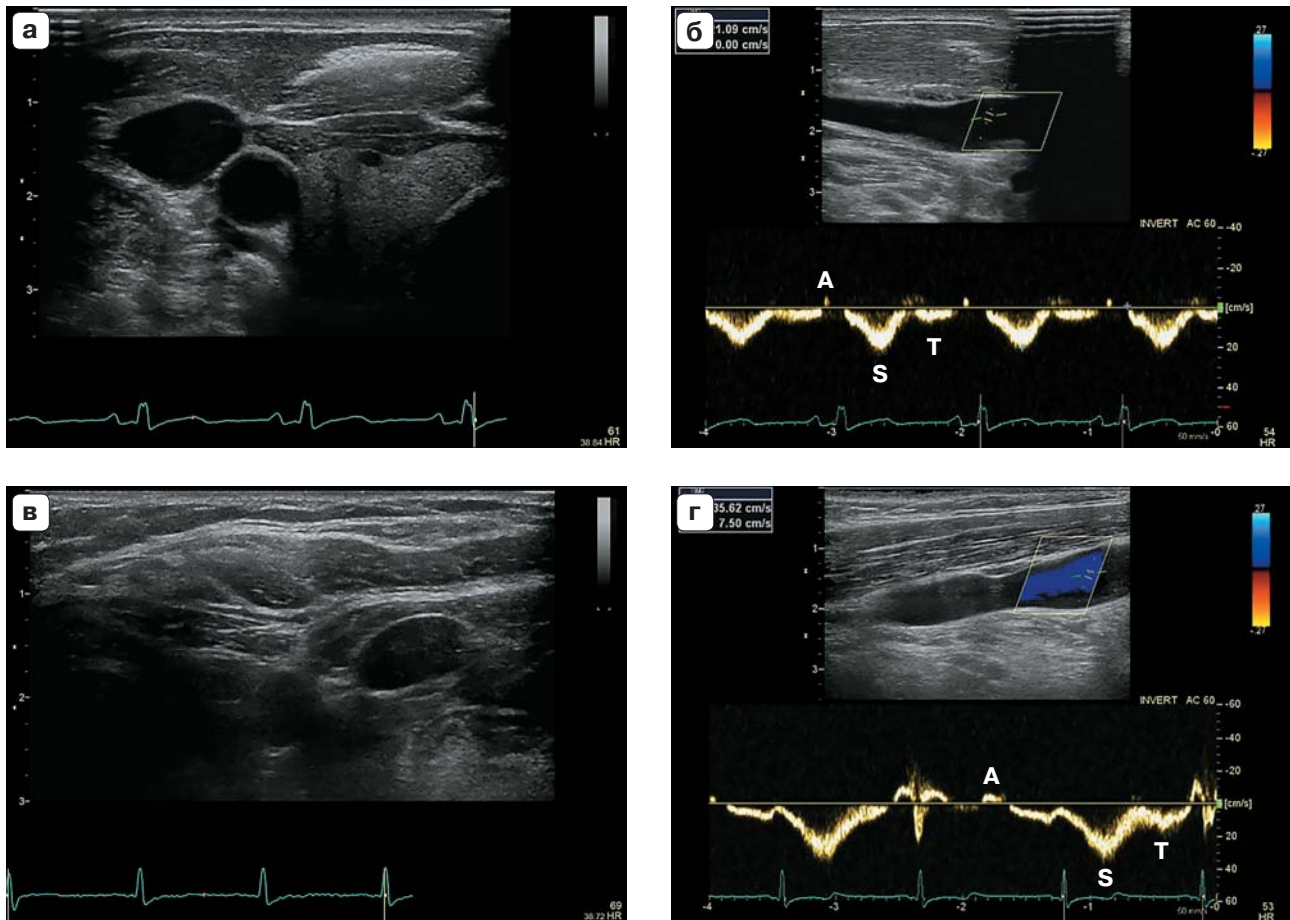


Рис. 1. УЗИ внутренних яремных вен пациента Н. из группы контроля: диаметр ВЯВ в поперечном сечении и линейные скорости пиков А, Т, S статистически значимо не отличаются. **а, б** – правая ВЯВ – площадь 1,27 см², пик А = 6,55 см/с, пик S = 22,64 см/с, пик Т = 10,64 см/с; **в, г** – левая ВЯВ – площадь 1,04 см², пик А = 9,92 см/с, пик S = 35,64 см/с, пик Т = 17,64 см/с.

Fig. 1. Ultrasound images of the internal jugular veins in patient N., control group: the short axis diameter of the IJV and the linear velocities of the peaks A, T, S do not differ significantly. **а, б** – right IJV – area 1,27 cm², peak A = 6,55 cm/s, peak S = 22,64 cm/s, peak T = 10,64 cm/s; **в, г** – left IJV – area 1,04 cm², peak A = 9,92 cm/s, peak S = 35,64 cm/s, peak T = 17,64 cm/s.

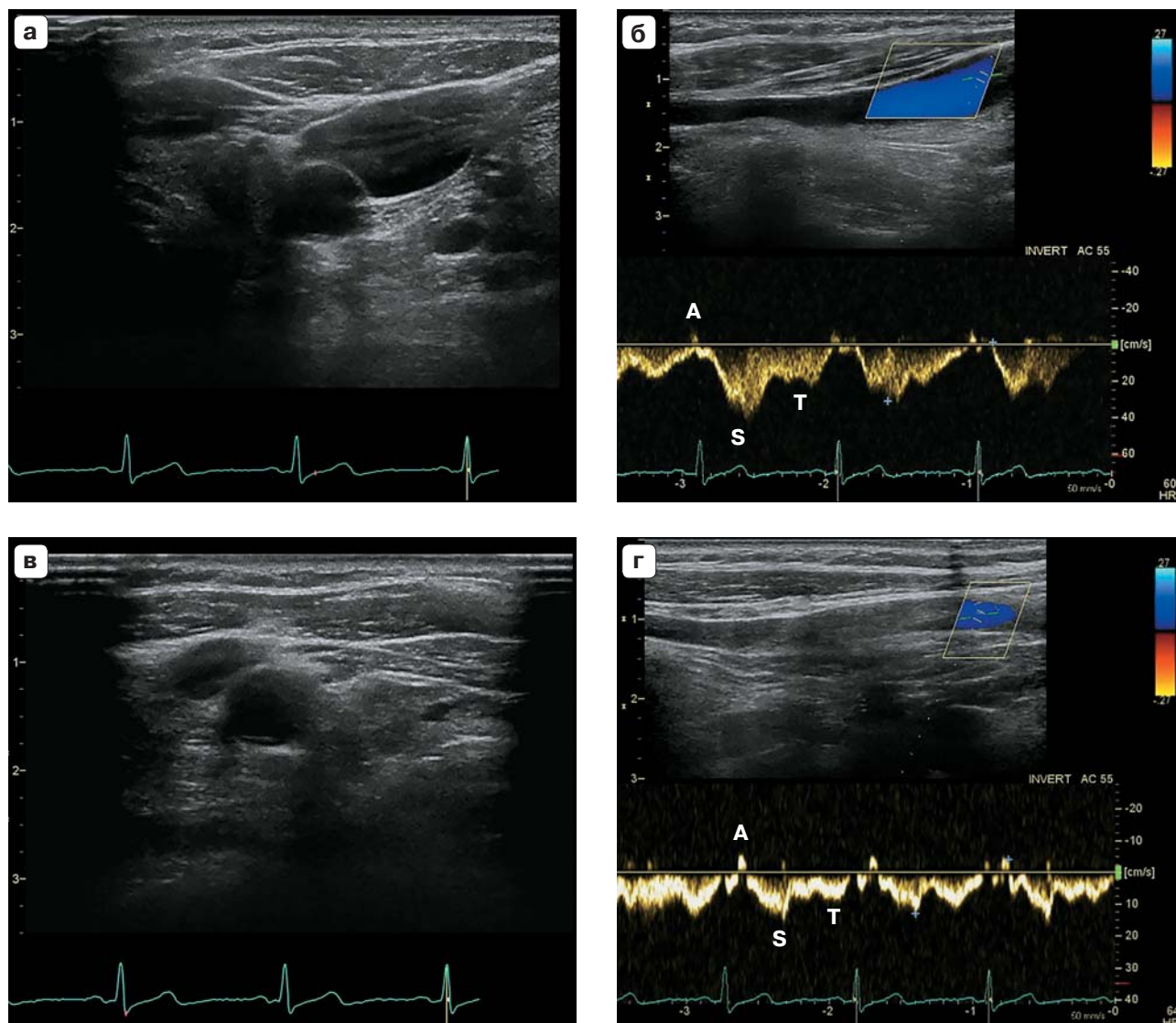
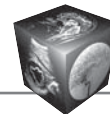


Рис. 2. УЗИ внутренних яремных вен пациента В. из группы гемодинамически значимого стеноза: диаметр ВЯВ в поперечном сечении и линейные скорости пиков А, Т, S статистически значимо отличаются. **а, б** – правая ВЯВ (сторона стеноза) – площадь 1,22 см², пик А = 12,7 см/с, пик S = 42,8 см/с, пик Т = 26,32 см/с; **в, г** – левая ВЯВ (контралатеральная сторона) – площадь 0,42 см², пик А = 7,82 см/с, пик S = 23,11 см/с, пик Т = 18,47 см/с.

Fig. 2. Ultrasound images of the internal jugular veins of patient B., the group of hemodynamically significant stenosis: the short axis diameter of the IJV and the linear velocities of the peaks A, T, S are statistically significantly different. **а, б** – right IJV (stenosis side) – area 1,22 cm², peak A = 12,7 cm/s, peak S = 42,8 cm/s, peak T = 26,32 cm/s; **в, г** – left IJV (contralateral side) – area 0,42 cm², peak A = 7,82 cm/s, peak S = 23,11 cm/s, peak T = 18,47 cm/s.



Обсуждение

Полноценная перфузия головного мозга возможна при наличии перфузионного давления 80–85 мм рт.ст. [11]. При стенозах ВСА происходит компенсаторное усиление венозного оттока за счет расширения венозных отделов церебрального русла – аденозинопосредованной вазодилатации, физиологическим смыслом которого является стремление выровнять артериовенозный дисбаланс, нормализовать перфузионное давление и в итоге сохранить перфузию мозга [8–10]. В нашем исследовании были выявлены следующие изменения размеров и линейных скоростей ВЯВ: увеличение диметра, площади и линейных скоростей пиков А, S, Т ВЯВ у пациентов 1-й группы на стороне гемодинамически значимого стеноза, но при этом венозное давление оказалось у данных пациентов ниже, чем в контрольной группе. Известно, что особую роль в изменении перфузии любого органа играют нарушения венозного оттока системного или регионарного кровотока [8]. Исходя из известных физиологических механизмов полученные нами данные по венозному давлению, вероятно, связаны с тем, что повышение венозного давления ведет к нарушению венозно-артериального баланса, снижению перфузионного давления, перфузии органа [11]. Однако в условиях относительно сохранного, не повышенного сверх физиологических нормативных границ ауторегуляции венозного давления важную роль в поддержании церебральной перфузии играют реакции аденозинопосредованной вазодилатации венозного русла, за счет чего улучшается кровоток в стенозависимых участках головного мозга [8, 9] и происходит компенсация – восстановление объемного кровотока в ткани мозга. Поскольку венодилатация при этом сопровождается максимально возможным снижением сосудистого сопротивления, возможен сброс со стороны непораженной артерии для выравнивания артериовенозного баланса с соответствующим ремоделированием ВЯВ и увеличением линейной скорости. В ситуации постоянного и длительного воздействия любых патологических компонентов на человеческий организм то звено, которое страдает наиболее сильно, постепенно за счет компенсаторных реакций начинает адаптироваться. Таким образом, изучение изменений размеров и линейных скоростей кровотока ВЯВ у пациентов со стенозом “высокой” степени экстракраниальных отделов ВСА представляет собой дополнительные критерии патологической значимости стеноза, когда нарушения артериального притока за счет стеноза “высокой” степени неизбежно сопровождают-

ся нарушением венозного компонента мозгового кровотока.

Безусловно, наш контингент обследованных в силу первоначального характера работы оказался достаточно ограничен и по численности, и по степени стенозирования ВСА. В рамках групп нашего исследования это статистически достаточно для достоверности текущих результатов, однако для получения надежных клинических рекомендаций мы продолжаем уточняющее исследование большей на порядок выборки лиц со стенозами ВСА всех градаций.

Заключение

Изменения размеров и венозного кровотока внутренних яремных вен взаимосвязаны с развитием стеноза внутренних сонных артерий “высокой” степени, обладают важными диагностическими особенностями и могут быть использованы в качестве дополнительного признака гемодинамической значимости каротидного стеноза.

Участие авторов

Буховец И.Л. – концепция и дизайн исследования, проведение исследования, анализ и интерпретация полученных данных, написание текста.

Максимова А.С. – проведение исследования, сбор и обработка данных, статистическая обработка данных.

Кузнецов М.С. – подготовка и редактирование текста.

Козлов Б.Н. – утверждение окончательного варианта статьи.

Усов В.Ю. – участие в научном дизайне, подготовка и редактирование текста.

Authors' participation

Bukhovets I.L. – concept and design of the study, conducting research, analysis and interpretation of the obtained data, writing text.

Maksimova A.S. – conducting research, collection and analysis of data, statistical analysis.

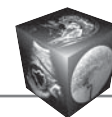
Kuznetsov M.S. – text preparation and editing.

Kozlov B.N. – approval of the final version of the article.

Usov V.Yu. – participation in scientific design, text preparation and editing.

Список литературы

1. Иванов А.Ю., Панунцев В.С., Кондратьев А.Н., Иванова Н.Е., Петров А.Е., Комков Д.Ю. и др. К вопросу о некоторых механизмах физиологии венозного оттока по венам шеи. Клиническая физиология кровообращения. 2009; 3: 16–21.
2. Шумилина М.В. Особенности ультразвуковой диагностики патологии брахиоцефальных артерий в Центре им. А.Н. Бакулева. Бюллетень НЦССХ им. А.Н. Бакулева РАМН. Сердечно-сосудистые заболевания. 2021; 22 (2): 184–194. <https://doi.org/10.24022/1810-0694-2021-22-2-184-194>



3. Малярова Е.Ю., Боголепова Е.А., Абалмасов В.Г., Лелюк С.Э., Лелюк В.Г. Церебральный венозный кровоток (обзор литературы). *Электронный журнал Ангиология*. 2010; 1: 51–60.
4. Чуканова Е.И., Чуканова А.С., Даниялова Н.Д. Церебральные венозные нарушения: диагностика, клинические особенности. *Неврология, нейропсихиатрия, психосоматика*. 2014; 1: 89–94. <https://doi.org/10.14412/2074-2711-2014-1-89-94>
5. Дудко В.А., Карпов Р.С. Атеросклероз сосудов сердца и головного мозга. Томск: STT, 2003. 416 с.
6. Федин А.И. Венозная энцефалопатия. *Терапия*. 2020; 3 (37): 137–148. <https://doi.org/10.18565/therapy.2020.3.137-148>
7. Буховец И.Л., Максимова А.С., Плотников М.П., Козлов Б.Н., Ворожцова И.Н., Усов В.Ю. Ультразвуковой контроль мозгового кровотока у больных со стенозом брахиоцефальных артерий до и после каротидной эндартерэктомии. *Ангиология и сосудистая хирургия*. 2018; 1: 66–71.
8. Ткаченко Б.И., Мазуркевич Г.С., Тюкавин А.И. Физиология кровообращения. Физиология сосудистой системы: Руководство по физиологии. Л.: Наука, 1984. 652 с.
9. Бабианц А.Я., Хананашвили Я.В. Мозговое кровообращение: физиологические аспекты и современные методы исследования. *Журнал фундаментальной медицины и биологии*. 2018; 3: 46–54.
10. Васильев И.А., Ступак В.В., Черных В.А., Половников Е.В., Черных Е.Р., Шевела Е.А., Дергилев А.П. Патогенетические аспекты нарушения венозного кровообращения головного мозга. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2014; 9 (3): 23–26.
11. Шумилина М.В., Горбунова У.В. Комплексная ультразвуковая диагностика нарушений венозного оттока. *Клиническая физиология кровообращения*. 2009; 3: 21–29.
12. Куликов В.П., Дическул М.Л., Засорин С.В., Кирсанов Р.И., Кузнецова Д.В., Смирнова Ю.В., Трегуб П.П. Клиническая патофизиология нарушений мозгового кровообращения: новые методы диагностики, профилактики и лечения. *Проблемы клинической медицины*. 2014; 3–4 (34): 40–56.
13. Путилина М.В. Роль артериальной гипертензии в развитии хронического нарушения мозгового кровообращения. *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова*. 2014; 9: 124–128.
14. Поспелова М.Л., Алексеева Т.М., Рыжкова Д.В., Ефимова М.Ю., Лепехина А.С., Герасимов А.П. и др. Состояние когнитивных функций и перфузии головного мозга при хронической ишемии мозга на фоне асимптомного каротидного атеросклероза. *Современные проблемы науки и образования*. 2020; 6: 182. <https://doi.org/10.17513/spno.30446>
15. Ловрикова М.А., Жмеренецкий К.В., Рудь С.С. Состояние артериального и венозного кровотока у больных с атеросклеротическим поражением сосудов брахиоцефального бассейна и динамика после каротидной эндартерэктомии. *Клиническая физиология кровообращения*. 2018; 15 (1): 11–16.
16. Rappadà G., Cesana C., Pirovano M., Vergani F., Parolin M., Pirillo D. et al. Venous outflow as a criterion of impairment of cerebral vascular reserve. *J. Neurosurg. Sci.* 2009; 53 (3): 101–105.
17. Podgórski M., Winnicka M., Polguy M., Grzelak P., Łukaszewski M., Stefańczyk L. Does the internal jugular vein affect the elasticity of the common carotid artery? *Cardiovasc. Ultrasound*. 2016; 14 (1): 40. <https://doi.org/10.1186/s12947-016-0084-1>
18. Dias N.V., Kölbel T., Gonçalves I. et al. Hemodynamics and jugular venous oxygen saturation during carotid endarterectomy: a comparison between general and locoregional anesthesia. *Int. Angiol.* 2010; 29 (3): 232–238.
19. Mantovani G., Scerrati A. The Cerebral Venous System: New Pathophysiological Theories and Diseases Related to Veins Occlusion. In: Scerrati A., Ricciardi L., Dones F., eds. *Cerebral Circulation – Updates on Models, Diagnostics and Treatments of Related Diseases* [Internet]. London: IntechOpen, 2022. <https://doi.org/10.5772/intechopen.102351>
20. Hauser R. Venous insufficiency – Chronic Cerebrospinal Venous insufficiency and neurologic-like problems. 2021. <https://www.caringmedical.com/prolotherapy-news/chronic-cerebrospinal-venous-insufficiency>.
21. Лелюк В.Г., Лелюк С.Э. Ультразвуковая ангиология. М.: Реальное время, 2003. 324 с.
22. Шумилина М.В., Махмудов Х.Х., Мукасева А.В., Стрелкова Т.В. Способ измерения венозного давления. Патент № 2480149. 2011.

References

1. Ivanov A.Yu., Panuntsev V.S., Kondratiev A.N., Ivanova N.E., Petrov A.E., Komkov D.Yu. et al. To the question of some mechanisms of the physiology of venous outflow through the veins of the neck. *Clinical physiology of blood circulation*. 2009; 3: 16–21. (In Russian)
2. Shumilina M.V. Features of ultrasound diagnostics of brachiocephalic artery pathology in the bakoulev center. *The Bulletin of Bakoulev Center. Cardiovascular Diseases*. 2021; 22 (2): 184–194. (In Russian)
3. Malyarova E.Yu., Bogolepova E.A., Abalmasov V.G., Lelyuk S.E., Lelyuk V.G. Cerebral venous blood flow (literature review). *Electronic journal Angiology*. 2010; 1: 51–60. (In Russian)
4. Chukanova E.I., Chukanova A.S., Daniyalova N.D. Cerebral venous disorders: diagnosis, clinical features. *Neurology, Neuropsychiatry, Psychosomatics*. 2014; 1: 89–94. <https://doi.org/10.14412/2074-2711-2014-1-89-94> (In Russian)
5. Dudko V.A., Karpov R.S. Atherosclerosis of the vessels of the heart and brain. Tomsk: STT, 2003. 416 p. (In Russian)
6. Fedin A.I. Venous encephalopathy. *Therapy*. 2020; 3 (37): 137–148. <https://doi.org/10.18565/therapy.2020.3.137-148> (In Russian)
7. Bukhovets I.L., Maksimova A.S., Plotnikov M.P., Kozlov B.N., Vorozhtsova I.N., Usov V.Yu. Ultrasonographic control of cerebral blood flow in patients with stenosis of brachiocephalic arteries before and after carotid endarterectomy. *Angiology and vascular surgery*. 2018; 1: 66–71. (In Russian)
8. Tkachenko B.I., Mazurkevich G.S., Tyukavin A.I. Physiology of blood circulation. *Physiology of the Vascular System: Guide to Physiology*. Leningrad: Nauka, 1984. 652 p. (In Russian)
9. Babiyants A.Ya., Khananashvili Ya.A. Cerebral circulation: physiological aspects and modern research methods.



- Journal of Fundamental Medicine and Biology*. 2018; 3: 46–54. (In Russian)
10. Vasilyev I.A., Stupak V.V., Chernykh V.A., Polovnikov E.V., Chernykh E.R., Shevela E.Y., Dergilev A.P. Pathogenetic aspects of cerebral venous circulation disorder. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy*. 2014; 9 (3): 23–26. (In Russian)
 11. Shumilina M.V., Gorbunova U.V. Complex ultrasound diagnostics of venous outflow disorders. *Clinical physiology of blood circulation*. 2009; 3: 21–29. (In Russian)
 12. Kulikov V.P., Dicheskul M.L., Zasorin S.V., Kirsanov R.I., Kuznetsova D.V., Smirnova Yu.V., Tregub P.P. Clinical pathophysiology of cerebral circulation disorders: new methods of diagnosis, prevention and treatment. *Problems of clinical medicine*. 2014; 3–4 (34): 40–56. (In Russian)
 13. Putilina M.V. The role of arterial hypertension in the development of chronic cerebrovascular accident. *Journal of Neurology and Psychiatry. S.S. Korsakov*. 2014; 9: 124–128. (In Russian)
 14. Pospelova M.L., Alekseeva T.M., Ryzhkova D.V., Efimova M.Yu., Lepekhina A.S., Gerasimov A.P. et al. The state of cognitive functions and brain perfusion in chronic brain ischemia against the background of asymptomatic carotid atherosclerosis. *Modern problems of science and education*. 2020; 6: 182. <https://doi.org/10.17513/spno.30446> (In Russian)
 15. Lovrikova M.A., Zhmerenetsky K.V., Rud S.S. The state of arterial and venous blood flow in patients with atherosclerotic lesions of the vessels of the brachiocephalic basin and dynamics after carotid endarterectomy. *Clinical physiology of blood circulation*. 2018; 15 (1): 11–16. (In Russian)
 16. Pappadà G., Cesana C., Pirovano M., Vergani F., Parolin M., Pirillo D. et al. Venous outflow as a criterion of impairment of cerebral vascular reserve. *J. Neurosurg. Sci*. 2009; 53 (3): 101–105.
 17. Podgórski M., Winnicka M., Polgaj M., Grzelak P., Łukaszewski M., Stefańczyk L. Does the internal jugular vein affect the elasticity of the common carotid artery? *Cardiovasc. Ultrasound*. 2016; 14 (1): 40. <https://doi.org/10.1186/s12947-016-0084-1>
 18. Dias N.V., Köbel T., Gonçalves I. et al. Hemodynamics and jugular venous oxygen saturation during carotid endarterectomy: a comparison between general and locoregional anesthesia. *Int. Angiol*. 2010; 29 (3): 232–238.
 19. Mantovani G., Scerrati A. The Cerebral Venous System: New Pathophysiological Theories and Diseases Related to Veins Occlusion. In: Scerrati A., Ricciardi L., Dones F., eds. *Cerebral Circulation – Updates on Models, Diagnostics and Treatments of Related Diseases* [Internet]. London: IntechOpen, 2022. <https://doi.org/10.5772/intechopen.102351>
 20. Hauser R. Venous insufficiency – Chronic Cerebrospinal Venous insufficiency and neurologic-like problems. 2021. <https://www.caringmedical.com/prolotherapy-news/chronic-cerebrospinal-venous-insufficiency>.
 21. Lelyuk V.G., Lelyuk S.E. Ultrasonic angiography. M.: Realnoe vremya, 2003. 324 c. (In Russian)
 22. Shumilina M.V., Makhmudov Kh.Kh., Mukaseeva A.V., Strelkova T.V. Method for measuring venous pressure. Patent № 2480149. 2011. (In Russian)

Для корреспонденции*: Буховец Ирина Львовна – 634012 Томск, ул. Киевская 111а. НИИ кардиологии, Томский НИМЦ. Тел.: +7-960-970-09-51. E-mail: bil@cardio-tomsk.ru

Буховец Ирина Львовна – доктор мед. наук, старший научный сотрудник отделения рентгеновских и томографических методов диагностики НИИ кардиологии Томского НИМЦ РАН, Томск. <https://orcid.org/0000-0001-9466-6097>

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

Кузнецов Михаил Сергеевич – канд. мед. наук, старший научный сотрудник отделения сердечно-сосудистой хирургии НИИ кардиологии Томского НИМЦ РАН, Томск. <https://orcid.org/0000-0002-1975-043X>

Козлов Борис Николаевич – доктор мед. наук, заведующий отделением сердечно-сосудистой хирургии НИИ кардиологии Томского НИМЦ РАН, Томск. <https://orcid.org/0000-0002-0217-7737>

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

Contact*: Bukhovets Irina Lvovna – 111a, Kievskaya str., Tomsk 634012, Russia. Cardiology Research Institute, Tomsk NRMС. Phone: +7-960-970-09-51. E-mail: bil@cardio-tomsk.ru

Irina L. Bukhovets – Doct. of Sci. (Med.), senior researcher of the department of X-ray and tomography diagnostic methods, Institute of Cardiology of the Tomsk National medical research center, Tomsk. <https://orcid.org/0000-0001-9466-6097>

Aleksandra S. Maksimova – Cand. of Sci. (Med.), researcher of the department of X-ray and tomography diagnostic methods, Institute of Cardiology of the Tomsk National medical research center, Tomsk. <https://orcid.org/0000-0002-4871-3283>

Mikhail S. Kuznetsov – Cand. of Sci. (Med.), senior researcher of the department of cardiovascular surgery, Institute of Cardiology of the Tomsk National medical research center, Tomsk. <https://orcid.org/0000-0002-1975-043X>

Boris N. Kozlov – Doct. of Sci. (Med.), Head of the department of cardiovascular surgery Cardiology, Institute of Cardiology of the Tomsk National medical research center, Tomsk. <https://orcid.org/0000-0002-0217-7737>

Wladimir Yu. Ussov – Doct. of Sci. (Med.), professor, leading researcher of the department of X-ray and tomography diagnostic methods, Institute of Cardiology of the Tomsk National medical research center, Tomsk. <https://orcid.org/0000-0001-7978-5514>