

## Индикаторы нетромботических нарушений церебрального венозного дренажа по экстракраниальным венам

С.Е. Семенов<sup>1</sup>, Д.В. Бондарчук<sup>2</sup>, А.Н. Коков<sup>1</sup>, М.Г. Шатохина<sup>3</sup>

<sup>1</sup> НИИ комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний  
650002, г. Кемерово, Сосновый б-р, 6

<sup>2</sup> Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий  
Департамента здравоохранения г. Москвы  
127051, г. Москва, ул. Петровка, 24, стр. 1

<sup>3</sup> Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова Минздрава России  
197341, г. Санкт-Петербург, ул. Аккуратова, 2

### Резюме

Рост числа исследований на тему нарушений церебрального венозного кровообращения, связанных с наружным стенозом внутренних яремных вен, а также попытки хирургическим путем воздействовать на восстановление кровотока являются показателем важности этой проблемы. Исследования показывают, что нарушения экстракраниального оттока связаны с широким спектром неврологических клинических проявлений, могут способствовать развитию застойной внутричерепной гипертензии. Анатомические варианты развития экстракраниальной венозной системы, конституциональная недостаточность и стеноз играют нередко сходные роли в развитии нарушений церебрального венозного оттока, но отличаются параметрически. Стандартные диагностические критерии дифференциальной диагностики отсутствуют, параметры нормы и патологии разноречивы, а диагноз во многом зависит от комбинированного использования методов визуализации. История попыток изучения нарушений церебрального венозного кровообращения достаточно долгая, связана с появлением технических новинок в каждый отрезок времени. Наиболее неинвазивными, доступными и безопасными инструментами диагностики нетромботических поражений и аномалий внутренних яремных вен на сегодняшний день признаются УЗ-сканирование и МР-венография в тандеме. Исследователями отмечаются как локальные нарушения гемодинамики на уровне стеноза, так и изменение общей картины венозной сосудистой сети шеи с определенными закономерностями ее ремоделирования. Патологическое значение компенсаторного расширения неяремных путей оттока (позвоночных, параспинальных коллатеральных, спинальных эпидуральных вен и др.) до сих пор является спорным вопросом. МРТ и УЗИ комплексно показывают высокую степень соответствия результатов, что должно стимулировать дальнейшие исследования патофизиологии и дифференциации различных причин и выраженности нетромботических поражений яремных вен.

**Ключевые слова:** нетромботические нарушения, кровоток, яремные вены, внеяремные коллатерали, ультразвук, МР-венография.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Финансирование.** Исследование в рамках фундаментальной темы НИИ комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний «Разработка инновационных моделей управления риском развития болезней системы кровообращения с учетом коморбидности на основе изучения фундаментальных, клинических, эпидемиологических механизмов и организационных технологий медицинской помощи в условиях промышленного региона Сибири».

**Автор для переписки:** Семенов С.Е., e-mail: dr\_semenov\_s@mail.ru

**Для цитирования:** Семенов С.Е., Бондарчук Д.В., Коков А.Н., Шатохина М.Г. Индикаторы нетромботических нарушений церебрального венозного дренажа по экстракраниальным венам. *Сибирский научный медицинский журнал*. 2024;44(1):76–87. doi: 10.18699/SSMJ20240108

## Indicators of cerebral venous drainage with non-thrombotic disorders in extracranial veins

S.E. Semenov<sup>1</sup>, D.V. Bondarchuk<sup>2</sup>, A.N. Kokov<sup>1</sup>, M.G. Shatokhina<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Research Institute for Complex Issues of Cardiovascular Diseases  
650002, Kemerovo, Sosnoviy blvd., 6

<sup>2</sup> Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies  
of the Moscow Health Care Department  
127051, Moscow, Petrovka st., 24/1

<sup>3</sup> Almazov National Medical Research Centre of Minzdrav of Russia  
197341, Saint Petersburg, Akkuratova st., 2

## Abstract

The growing number of studies on cerebral venous circulation disorders associated with extrinsic stenosis of the internal jugular veins, as well as attempts to surgically influence the restoration of blood flow, are an indicator of the importance of this problem. Studies show that extracranial outflow disorders are associated with a wide range of neurological clinical manifestations and may contribute to the development of congestive intracranial hypertension. Anatomical variants of the development of the extracranial venous system, constitutional insufficiency and stenosis often play similar roles in the development of disorders of the cerebral venous outflow, but differ parametrically. There are no standard diagnostic criteria for differential diagnosis, normal and pathological parameters are contradictory, and the diagnosis largely depends on the combined use of imaging techniques. The history of attempts to study disorders of the cerebral venous circulation is quite long, associated with the technical innovations in every period of time. The most non-invasive, accessible and safe tools for diagnosing non-thrombotic lesions and anomalies of the internal jugular veins are currently recognized as ultrasound scanning and MR venography in tandem. Researchers note both local hemodynamic disturbances at the level of stenosis and changes in the overall picture of the venous vascular network of the neck with certain patterns of its remodeling. The pathological significance of the compensatory expansion of non-jugular outflow tracts (vertebral, paraspinal collateral, spinal epidural veins, etc.) is still a controversial issue. MRI and ultrasound combined show a high degree of agreement between the results, which should stimulate further research into the pathophysiology and differentiation of various causes and severity of non-thrombotic lesions of the jugular veins.

**Key words:** Non-thrombotic disorders, blood flow, jugular veins, non-jugular collaterals, ultrasound, MR venography.

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

**Financing.** Research within the framework of the fundamental theme of the Research Institute for Complex Issues of Cardiovascular Diseases "Development of innovative models for managing the risk of developing diseases of the circulatory system, taking into account comorbidity based on the study of fundamental, clinical, epidemiological mechanisms and organizational technologies of medical care in the industrial region of Siberia".

**Correspondence author:** Semenov S.E., e-mail: dr\_semenov\_s@mail.ru

**Citation:** Semenov S.E., Bondarchuk D.V., Kokov A.N., Shatokhina M.G. Indicators of cerebral venous drainage with non-thrombotic disorders in extracranial veins. *Sibirskij nauchnyj medicinskij zhurnal = Siberian Scientific Medical Journal*. 2024;44(1):76–87. [In Russian]. doi: 10.18699/SSMJ20240108

## Введение

Роль нарушений венозного кровообращения в патологии центральной нервной системы (ЦНС) активно обсуждается в научном и практическом сообществе, однако то, что касается экстракраниальных путей оттока от головы, включая яремные и позвоночные вены, изучено далеко не исчерпывающе. В литературе в последние годы появляется все больше публикаций о различных видах наружной компрессии внутренних яремных вен (ВЯВ), препятствующих нормальному оттоку крови от головного мозга. Все более активную тактику избирают для восстановления церебрального венозного дренажа, включая даже хирургическое воздействие на компримирующие агенты [1].

Нарушения экстракраниального оттока связаны с широким спектром неврологических заболеваний и соответствующими клиническими

проявлениями, в том числе внутричерепной гипертензией. Выраженность клинических проявлений нарушения оттока по ВЯВ может варьировать от отсутствия таковых до минимальной церебральной венозной недостаточности [2] и даже венозной энцефалопатии в зависимости от индивидуальных особенностей и компенсаторных возможностей. Даже «легкие», но утомительные для пациентов жалобы, снижающие качество жизни при минимальной церебральной венозной недостаточности, не могут оставаться поводом игнорировать проблему, несмотря на определенные сложности в интерпретации результатов диагностических исследований [2]. Предполагается, что нетромботический односторонний или двусторонний стеноз ВЯВ, при отсутствии каких-либо внутричерепных патологий, может составлять очень важную часть идиопати-

ческой внутричерепной гипертензии (ИВГ) [1, 3], а наиболее частыми в практике причинами могут являться очень распространенные мышечно-тонические синдромы [4] на уровне шейного отдела позвоночника с рефлекторным и контактным компрессионным воздействием на ВЯВ, в том числе в комплексе проявлений синдрома верхней апертуры грудной клетки [5].

### **Клинические симптомы**

Ведущей жалобой минимального церебрального венозного застоя описывается головная боль, наиболее выраженная в горизонтальном положении, особенно утром, после длительного пребывания в таком положении. Этот симптом проявляется также при наклоне головы, кашле, чихании, натуживании и может значительно уменьшаться к вечеру после активной физической нагрузки [6].

Выраженность головной боли обычно оценивают с использованием визуально-аналоговой шкалы (от 0 до 10 баллов). При нарушении оттока на уровне латеральных дуральных синусов она составляет в среднем 6 баллов [7], что соответствует проявлению венозной энцефалопатии (ВЭ), тогда как средние значения интенсивности головной боли при минимальном венозном застое вследствие церебрального венозного тромбоза оценивают от 3 до 5 баллов, и это является наиболее частым (до 90 % случаев) начальным симптомом венозного ишемического инсульта [8]. Исследований, оценивающих венозный застой отдельно при наружном стенозе и гипоплазии ВЯВ, нет. Когнитивные расстройства нередко сопровождают внутричерепной венозный застой в стадии церебральной венозной дистонии (ЦВД) и описываются как характерный признак при ВЭ. Нарушения когнитивных способностей коррелируют с выраженностью венозного застоя. Астеноневротический синдром бывает представлен при церебральном венозном застое и проявляется клинически довольно рано. Симптомы вестибулопатии и эпилепсии проявляются реже и позднее, уже при выраженных признаках застоя [4].

Обычно в литературе выделяют три степени выраженности церебрального венозного застоя. Так, более 30 лет назад широкое распространение получила классификация, выделявшая помимо ЦВД и ВЭ (в качестве средней и высокой степени выраженности) также и латентный (доклинический) застой [9], возможный к выявлению лишь инструментальным способом с помощью реоэнцефалографии, которая в настоящее время не играет значимой роли. По другой (более ранней) классификации выделялась минимальная стадия – венозный застой, средняя стадия – ВЭ, и наивысшая стадия – острое нарушение мозгово-

го кровообращения [10, 11]. Среднюю степень выраженности застоя именуют по-разному. Термины «церебральная венозная дисциркуляция», «церебральная венозная дистония», «церебральная венозная дисфункция» [7] по сути описывают одинаковые клинические симптомы. На основании очень малой вероятности доказательства латентной степени застоя, а также того, что в исследовании математически при кластеризации эти пациенты были отнесены либо к ЦВД, либо к ВЭ [12], предлагается выделение только двух категорий – «нев्यраженный застой» или «минимальная церебральная венозная недостаточность» [2] и «выраженный застой» (или ВЭ). Наиболее выраженную степень застоя связывают с хронической ВЭ, ИВГ, а при обнаружении, например, признаков церебрального венозного тромбоза считают «псевдотуморозным синдромом» [13].

### **Причины нетромботических нарушений яремного оттока мозговой крови**

Гипертрофированные грудино-ключично-сосцевидные (кивательные) мышцы могут быть наиболее частой причиной компрессии ВЯВ с последующим развитием церебрального венозного застоя. Опухоли на шейном уровне (чаще опухоли щитовидной железы и средостения [14], реже гортани, основания черепа и позвонков) также часто компримируют ВЯВ [4]. Нередко описывается костная компрессия (между шиловидным отростком височной кости черепа и боковой массой атласа – «шейный спондилотический синдром внутренней яремной вены» [15, 16]. Есть мнение, основанное на модельных исследованиях, что стриктуры в верхних сегментах ВЯВ наиболее гемодинамически значимы [17]. Оно косвенно подтверждается тем, что у пациентов с двусторонним стенозом или внешним импиджментом доминирующей ВЯВ между шиловидным отростком и латеральной массой шейного позвонка С1, связанным с центральной венозной гипертензией, успешно применяется хирургическая резекция структур-виновников или стентирование ВЯВ на уровне стеноза [18, 19]. В этих условиях модифицированная стилоидэктомия рассматривается как потенциальный дополнительный терапевтический подход, который облегчает внутричерепную гипертензию, связанную со стенозом ВЯВ.

Имеют место описания случаев компрессии подъязычной костью [20] и флегмоной шеи [21], а также гипертрофированными шилоподъязычной и двубрюшной мышцами [6]. Кроме того, компримирующим фактором могут являться более жесткие сонные артерии с аневризматическим расширением. Убедительные исследования также выявили связь между нейрогенным синдро-

мом верхней грудной апертуры и аномалиями ВЯВ. Синдром верхней апертуры грудной клетки (thoracic outlet syndrome, TOS) указывался как причина стеноза ВЯВ в среднем при ее сужении на 60–63 % [14]. Признаки церебрального венозного застоя отмечаются в ряде случаев при гипоплазии ВЯВ [4]. Гипоплазия ВЯВ мало освещена в литературе и выявляется как «случайная находка» при МР-венографии, выполненной с целью поиска церебрального венозного тромбоза [22]. Исследователи делают заключение о гипоплазии ВЯВ при четырехкратном уменьшении площади ВЯВ в сравнении с контралатеральной веной [23] или на основании того, что ВЯВ в расправленном виде (при пробе Вальсальвы) имеет площадь меньше площади поперечного сечения общей сонной артерии [6]. В недавней публикации средняя площадь поперечного сечения гипоплазированной ВЯВ определена со значением  $0,22 \pm 0,08 \text{ см}^2$  [24]. Пациенты с гипоплазированной ВЯВ имеют ограниченный резерв венозного оттока (узкий венозный гемодинамический диапазон) и при присоединении патологии контралатеральной вены (тромбоз, экстравазальная компрессия) могут клинически декомпенсироваться. Веноу, противоположную гипоплазированной ВЯВ, называют доминантной [6].

#### **Инструментальные способы диагностики нарушений экстракраниального венозного кровотока, дифференциация стеноза, гипоплазии и вариантов нормы**

История попыток изучения нарушений церебрального венозного кровообращения достаточно долгая, связана с появлением технических новинок в каждый отрезок времени. Уже около столетия застой на глазном дне считают признаком ИВГ, что описано W. Dandy еще в 1937 г. Отек диска зрительного нерва в недавно пересмотренных критериях ИВГ занимает, наряду с увеличением давления цереброспинальной жидкости и результатами МРТ, ведущее место [25], однако он встречается только у 28 % пациентов даже с церебральным венозным тромбозом (ЦВТ) [26], что не делает данный критерий основополагающим в инструментальной диагностике венозного застоя. Столь же спорным является полагание в диагностике венозного застоя на рентгенографию черепа. Ранее считалось, что при длительном нарушении венозного оттока на краниограмме отражаются изменения костей черепа, связанные с усилением оттока через наружные покровы головы, что обуславливает усиленное развитие диплоических вен, выпускников и вен твердой мозговой оболочки. Однако вопрос об оценке выраженности диплоических вен всегда был спор-

ным, их асимметрия скорее правило, чем исключение. Реоэнцефалография сосудов головного мозга и шеи – абсолютно безопасный и безболезненный метод обследования, который дает возможность оценивать состояние тонуса сосудов, эластичности их стенок, косвенно судить о венозном оттоке из полости черепа, реактивности сосудов при воздействии факторов, которые изменяют кровообращение. Однако оценка эта очень косвенна, не дает возможности делать точные заключения ни об объеме кровотока, ни о степени внутричерепной гипертензии. Тензометрическая шейная плетизмография («объемная сегментарная сфигмография»), подразумевает регистрацию объемных изменений с приблизительной оценкой скорости распространения пульсовой волны, также редко применяется для косвенной оценки венозных церебральных нарушений и считается методом, который позволяет исследователям получить общее представление о венозной функции на основе венозной емкости и сопротивления.

Техника цифровой субтракционной рентгенографии наиболее точно отражает внутренний слепок сосудов [27], внутрипросветный кровоток с возможностью точного вычисления степени стеноза ВЯВ, но является инвазивным методом, неоправданно рискованным для пациентов с obstructивными нарушениями церебрального венозного кровотока, а также с довольно значимым облучением в течение процедуры, поэтому крайне редко применяется. Ушедшие или уходящие в историю методики инструментальной диагностики церебральных венозных нарушений внесли свой вклад в развитие темы, но применение их в настоящее время крайне ограничено.

#### **УЗИ**

УЗ-доплерография является доступным и недорогим современным методом визуализации ВЯВ, наиболее часто используемым в практике. Неинвазивность, отсутствие ионизирующего излучения, простота транспортировки оборудования и низкая стоимость делают УЗИ предпочтительным вариантом для рутинного обследования при патологии, аномалиях или вариантах развития ВЯВ, с изучением скоростных показателей и диаметра (площади), а также состояния клапанного аппарата. Стандартным доступом является место по нижнему краю лопаточно-подъязычной мышцы через толстый слой геля, без давления на шею обследуемого для избегания компрессии вены при прямо расположенной голове [6]. Диастолическая объемная скорость по брахиоцефальным венам зависит от величины центрального венозного давления, диастолической функции правых отделов сердца, размеров ВЯВ, угла сли-

ния брахиоцефальных вен, наличия тех или иных видов компрессии, реологических свойств крови [28].

Если ранее измерение центрального венозного давления было связано с прямой пункцией венозного русла и выполнялось только в условиях реанимационного отделения [29], то ультразвук позволяет сейчас сделать это неинвазивно. Допплерографическому методу уже 10 лет, и заключается он в отношении величины венозного давления в плечевой вене к коэффициенту пересчета (4,5), полученному опытным путем [30]. Еще один расчетный показатель, именуемый «артериовенозный баланс» [6], «показатель артериовенозного соотношения» [31], существует также порядка 10 лет, рассчитывается как отношение объемного кровотока в ВЯВ к суммарному объемному кровотоку по экстракраниальным артериям и в норме в среднем составляет от 65 до 85 % [6, 32, 33], т. е. не менее 2/3 общего интракраниального венозного оттока [9, 21]. При венозной энцефалопатии [32] или венозном инсульте вследствие ЦВТ этот показатель составляет менее 50 % [31], при клинически минимальном венозном застое и умеренном наружном стенозе ВЯВ – 18 %, при гипоплазии – 11 %, что свидетельствует о значительном уменьшении вклада аномальной ВЯВ в отток венозной крови от головы, тогда как противоположная ВЯВ осуществляет 94 и 64 % оттока соответственно [24].

Радиологические критерии, сопровождающие внутричерепной венозный застой, могут быть выявлены при выраженных степенях венозного застоя, запаздывая в сравнении с развитием клинических проявлений. Так, стеноз одной из ВЯВ > 50 % считается пороговым для развития доклинического застоя, а клиника ЦВД и ВЭ ожидается при стенозе > 70 % [12]. Правостороннее поражение считают более значимым [34]. Градация стеноза при наружной компрессии ВЯВ отражена в классификации [35]: степень стеноза 1 grade (стеноз > 20 % и ≤ 80 %), 2 grade (> 80 %) и 3 grade (> 80 % + выраженное расширение шейных венозных коллатералей). Патологическое сужение одной ВЯВ компенсаторно приводит к расширению противоположной, что является собой процесс ремоделирования вен шеи. Ремоделирование сосудов – это активный адаптивный процесс структурных изменений, включающий изменение диаметра сосуда с последующим изменением площади его поперечного сечения. Так, уменьшение площади ВЯВ на стороне поражения/аномалии соответствует отрицательному ремоделированию, а расширение противоположной ВЯВ – положительному [36]. Интерпретация нормальности/ненормальности диаметра и пло-

щади ВЯВ – непростой процесс, что связано с вариабельностью анатомии ВЯВ и асимметрией даже в норме. Кроме того, площадь поперечного сечения ВЯВ у здоровых людей увеличивается с возрастом [37]. Парные ВЯВ могут соединяться друг с другом через анастомозирующие венозные сплетения, которые рассматриваются как основные коллатеральные каналы, обеспечивающие свободный венозный отток при недостаточности ВЯВ [38, 39]. Сообщения также присутствуют между ВЯВ и другими экстракраниальными шейными венами, такими как переднее мышечное сплетение и его ветви. Анастомозы, соединяющие внутричерепные и экстракраниальные вены, разделены на четыре группы в зависимости от их расположения по отношению к позвоночному столбу: подзатылочное венозное сплетение, заднее внутреннее позвоночное сплетение, переднее внутреннее позвоночное сплетение и переднее наружное позвоночное сплетение [40, 41].

В условиях значительного сужения ВЯВ формируются внеярные венозные коллатерали для того, чтобы компенсировать затруднение путей первичного венозного оттока, и их изучение не менее важно, чем изучение пораженных ВЯВ. Однако точность измерения кровотока шейных вен до сих пор под сомнением [27] и ограничена, по большей части, изучением ВЯВ на отрезке J2 [42] и позвоночных вен на отрезках V2 (средние сегменты). Основные недостатки УЗИ заключаются в плохой визуализации отрезков J1 (верхний сегмент) и J3 (нижний сегмент) ВЯВ, вариабельности внутренних яремных, позвоночных вен и других венозных сосудов, возможности лишь дискретной визуализации позвоночных вен, а также высокой зависимости от навыков оператора [27, 43]. Расширение позвоночных вен градуируется на две степени: легкую (незначительное расширение < 25 %) и тяжелую (серьезное расширение от 25 до 50 % расчетной площади поперечного сечения с умеренным расширением наружных позвоночных вен) [44, 45]. Недавнее исследование показало корреляцию между степенью сужения ВЯВ и расширением позвоночных вен, но указывается, что кровоток в передних наружных позвоночных сплетениях, дренирующих пещеристые синусы, мышечковые вены и вены щитовидной железы, может повлиять на оценку позвоночного венозного коллатерального кровотока [46]. При этом неправильный анализ объема оттока по ВЯВ может вести к ошибочной интерпретации величины и функциональной роли экстракраниальных венозных гемодинамических нарушений [47].

Внутрисосудистая ультрасонография значительно превосходит другие методики в выявлении

внутрипросветных поражений ВЯВ (патологии клапанов, тромбов) у пациентов с экстракраниальными венозными аномалиями, позволяет более точно определить площадь поперечного сечения венозных сосудов на всем протяжении. Однако данный метод не является рутинно используемым ни для диагностики нарушений оттока ВЯВ, ни для выбора наиболее подходящей процедуры стентирования/ангиопластики, и нет единого мнения относительно оптимальной конечной точки процедуры [48, 49]. Транскраниальная доплерография, в свою очередь, также выполняется в комплексе УЗИ, и нарушения венозного оттока на уровне шеи могут сопровождаться при степени стенозирования ВЯВ  $> 70\%$  повышением пиковых скоростей кровотока в венозных структурах мозга, уменьшением пиковой скорости в средних мозговых артериях ( $< 70$  см/с) и цереброваскулярной реактивности ( $\leq 0,45$ ) [4].

### МРТ

В сравнении с УЗ-доплерографией МР-венография способна давать более полное представление о морфологии вен головы и шеи. Обычно это отнимает немного времени и мало зависит от оператора, что объясняет частое использование данной методики в дизайне клинических исследований. Формирование МР-сигнала и его интенсивность в большой степени зависят от скорости кровотока в изучаемых сосудах. При интерпретации «сырых» поперечных срезов возможна идентификация стеноза ВЯВ и создающих его компримирующих агентов [4, 21]. Такие МР-последовательности, как фазово-контрастная МР-венография и 4D-визуализация потока, позволяют оценивать внутрипросветные характеристики кровотока (ламинарность, скорость). Четырехмерная потоковая МРТ – полезный инструмент для неинвазивной, объемной и количественной оценки гемодинамики (скорости и объема кровотока, площади поперечного сечения и пульсативного индекса) без необходимости применения гадолиниевых контрастных веществ [50]. Некоторые исследования использовали МРТ для изучения анатомических и количественных гемодинамических изменений спинномозговых вен при цереброспинальной венозной недостаточности с помощью фазовоконтрастной МРТ, показали при этом увеличение кровотока в параспинальных коллатеральных венах [51]. Отмечалась также связь увеличения скорости кровотока в латеральном синусе с повышением внутричерепного давления при ИВГ [3]. Эти методики сложны и применяются в основном в научных целях. Известны и характеристики объемной скорости кровотока

по ВЯВ – в норме слева обычно меньше ( $4,19 \pm 0,74$  мл/с), чем справа ( $5,53 \pm 0,97$  мл/с) [52].

В практической же медицине требованиям «необходимости и достаточности» в полной мере отвечает обычно времяпролетная (2D и 3D ToF) МР-венография. Использование ToF МР-венографии дает возможность получить анатомическую картину церебрального венозного дренажа в целом, включая экстра- и интракраниальный уровень. Указанная асимметрия нормального оттока по ВЯВ связывается с различной формой брахиоцефального венозного угла, которая конституционально обусловлена. На основании применения МР-венографии отмечалось, что слева как в латеральном синусе, так и в ВЯВ МР-сигнал кровотока ниже, чем справа, что связывали с анатомическим строением стока синусов и значениями угла брахиоцефальных вен. Справа величина угла между верхним сагиттальным и поперечным синусом составляет в среднем  $113^\circ$ , а слева –  $108^\circ$ , т. е. справа угол более гидродинамически «удобен» для потока, как и для кровотока в правой ВЯВ. В случаях асимметричного  $\mu$ -угла (у 30 % здоровых людей равен примерно  $90^\circ$ ) и  $\gamma$ -угла (у 60 % людей в среднем равен  $75^\circ$ ) МР-сигнал слева ниже, чем справа. Лишь в случаях, когда обе безымянные вены вливаются в верхнюю полую под равными углами к ее оси при Y-типе брахиоцефального венозного угла (у 9,6 % людей), кровотоки справа и слева имеют равные условия, и сигнал в противоположных венах имеет одинаковую интенсивность [21]. Это согласуется с тем, что вклад правой ВЯВ в отток в норме больше (38 %), чем слева (27 %) [24], из-за отсутствия выраженных изгибов сосудистого русла справа, препятствующих прямому току крови, и с тем, что правостороннее поражение ВЯВ, как правило, более значимо [34].

При МР-венографии на уровне стеноза ВЯВ со значением  $< 50\%$  определяется симптом дефекта наполнения с сохранением сигнала кровотока в визуализирующемся просвете вены. При стенотическом поражении ВЯВ  $> 50\%$  отмечается снижение интенсивности МР-сигнала кровотока компримированной ВЯВ в сравнении с контралатеральной веной из-за низкой скорости и турбулентности [24]. Снижение сигнала в области стеноза при МР-венографии в ВЯВ в большинстве случаев сочетается со сниженной скоростью потока при УЗИ, что в литературе отмечалось при выполнении фазовоконтрастной МР-венографии [53]. При стенозе ВЯВ  $> 80\%$  наблюдается значимое увеличение площади поперечного сечения и сигнала кровотока не только контралатеральной вены, но также позвоночных вен и сплетений и других венозных коллекторов

шеи (спинномозговых эпидуральных, наружных и передних яремных, задних шейных и подкожных вен), появление коллатералей и шунтов между венами как проявление механизма компенсации венозного оттока из полости черепа. Компенсаторный характер расширения коллатеральных вен при стенозе ВЯВ подтверждается тем, что после хирургической коррекции яремного оттока оно заметно снижается по сравнению с контролем [54]. Однако расширение позвоночных вен может существовать и в норме, а корреляция между сужением ВЯВ и расширением параспинальных коллатеральных вен не считается доказанной [55]. Степень расширения позвоночных вен и закономерности коллатерального кровообращения могут быть не в прямой зависимости от стеноза ВЯВ [46].

В большинстве случаев наружный стеноз ВЯВ локальный, не протяженный, за исключением компрессии гипертрофированной кивательной мышцей, и это позволяет дифференцировать состояние с гипоплазией. Гипоплазированная ВЯВ на всем протяжении (от J1 до J3) имеет площадь поперечного сечения одинаковую, а контуры ровными, без локальных расширений или сужений. Характерным считается отсутствие участков снижения или потери МР-сигнала потока [24].

С помощью характеристик макрососудов, доступных МР-исследованию с определением градиента между временем появления пиков линейных или объемных скоростей в артериальном и венозном сосудах, можно получить данные о состоянии микрососудов. Этот показатель назван артериовенозной задержкой (arterio-venous delay, AVD) и отражается в процентах от времени одного сердечного цикла. Чем меньше AVD, тем быстрее пульсовая волна достигает венозного конца системы и тем больше вклад кинетической энергии в продвижение этой волны по сосудам, а значит, меньше вклад растяжения стенок микроциркуляторного русла из-за их ригидности или повышенного тонуса [56]. Интересно отметить, что пациенты с нарушениями экстракраниального венозного оттока демонстрировали заметное снижение видимости венозных сосудов при венографии со взвешиванием по магнитной восприимчивости (SWI) [57]. Это отличает наружный стеноз ВЯВ от ЦВТ латерального синуса, при котором отмечается расширение крупных вен намета мозжечка и сети мелких вен в верхних отделах мозжечка [58]. Такие микроциркуляторные изменения, как снижение церебральной перфузии, наблюдались у пациентов с нарушениями экстракраниального венозного оттока [59, 60], в отличие от венозного инсульта в результате острого ЦВТ, при котором определялось фокальное умеренное

повышение перфузии (или роскошная избыточная перфузия) [61].

Анализ различных УЗ-параметров и визуальной картины МР-венографии как наиболее доступных и безопасных способов диагностики нарушений кровотока по экстракраниальным венам может оказаться очень полезным, особенно при оценке не только локальных проявлений уровня стеноза, но, что более важно, состояния коллатерального кровообращения, которое рассматривается как имеющее жизненно важное значение [62]. Недостатком МР-венографии является невозможность детально выявить внутрисосудные аномалии, такие как пороки развития клапанов, мембран и перегородок, и иногда недооценка калибра вен.

### **Компьютерно-томографическая венография (КТВ)**

Хотя сведения об эффективности методов КТВ экстракраниальных шейных вен немногочисленны, метод демонстрирует те же преимущества, что и МР-венография, без потери контраста из-за низкой скорости потока. КТВ наиболее точна и привлекательна из-за хорошей визуализации костных структур, могущих являться компримирующими факторами для ВЯВ [63]. Нативная КТ, обычно выполняемая в комплексе с КТВ, помогает подтвердить стеноз ВЯВ, связанный с внешней костной компрессией. В отличие от МР-венографии, КТВ позволяет визуализировать состояние непарной вены, что важно для диагностики хронической цереброспинальной венозной недостаточности [1]. Основные недостатки КТВ заключаются в использовании контрастных средств и облучении, что и ограничивает ее применение в широкой медицинской практике в отношении нетромботических нарушений кровотока по ВЯВ.

### **Заключение**

Литературные данные свидетельствуют о возрастающем интересе к нетромботическим нарушениям церебрального венозного кровообращения, связанным с наружным стенозом ВЯВ или гипоплазией. Степень выраженности клинических проявлений при этих состояниях обычно выражается в минимальной церебральной венозной недостаточности, но в ряде случаев проявляется венозной энцефалопатией и внутричерепной гипертензией. А наиболее частыми в практике причинами наружного стеноза ВЯВ могут быть очень распространенные мышечно-тонические синдромы на уровне шейного отдела позвоночника с рефлекторным и контактным компрессион-

ным воздействием. Исследователями отмечается изменение общей картины венозной сосудистой сети шеи с определенными закономерностями ее ремоделирования. Патологическое значение компенсаторного расширения неяремых путей оттока (позвоночных, параспинальных коллатеральных, спинальных эпидуральных и других вен) до сих пор является спорным вопросом. Разноречивые мнения сохраняются в отношении вклада позвоночных вен и позвоночной венозной системы в целом в компенсацию нарушенного оттока венозной крови от головы при нетромботических поражениях и аномалиях ВЯВ, в частности в зависимости от положения тела (клиностаз/ортостаз). Степень расширения позвоночных вен и закономерности коллатерального кровообращения могут быть не в прямой зависимости от выраженности стеноза ВЯВ.

Рост числа исследований на эту тему, а также попытки хирургическим путем воздействовать на восстановление кровотока по ВЯВ являются показателем важности данной проблемы. Анатомические варианты развития экстракраниальной венозной системы и компримирующие ВЯВ образования играют нередко сходные роли в развитии нарушений церебрального венозного оттока, но отличаются параметрически. Стандартные диагностические критерии дифференциальной диагностики патологического наружного стеноза и аномалий размера (гипоплазии) отсутствуют, параметры нормы и патологии разноречивы, а диагноз во многом зависит от комбинированного использования методов визуализации. Наиболее неинвазивными, доступными и безопасными инструментами диагностики нетромботических поражений и аномалий ВЯВ признаются УЗ-сканирование и МР-венография в тандеме, что также важно с учетом взаимного дополнения этих методов в отношении изучения параметров гемодинамики во всех сегментах шейных вен. МРТ и УЗИ комплексно показывают высокую степень соответствия результатов, что должно стимулировать дальнейшие исследования патофизиологии и дифференциации различных причин и выраженности нетромботических поражений ВЯВ.

## Список литературы / References

1. Zhou D., Meng R., Zhang X., Guo L., Li S., Wu W., Duan J., Song H., Ding Y., Ji X. Intracranial hypertension induced by internal jugular vein stenosis can be resolved by stenting. *Eur. J. Neurol.* 2018;25(2):365-e13. doi: 10.1111/ene.13512
2. Семенов С.Е., Шатохина М.Г., Бондарчук Д.В., Молдавская И.В. К проблеме диагностики начальных проявлений недостаточности венозного церебрального кровообращения. *Клин. физиол.*

*кровообращ.* 2022;19(3):266–279. doi: 10.24022/1814-6910-2022-1

Semenov S.E., Shatokhina M.G., Bondarchuk D.V., Moldavskaya I.V. On the problem of diagnosing the initial manifestations of insufficiency of cerebral venous circulation. *Klinicheskaya fiziologiya krovoobrashcheniya = Clinical Physiology of Circulation.* 2022;19(3):266–279. [In Russian]. doi: 10.24022/1814-6910-2022-1

3. Bateman A.R., Bateman G.A., Barber T. The relationship between cerebral blood flow and venous sinus pressure: can hyperemia induce idiopathic intracranial hypertension? *Fluids Barriers CNS.* 2021;18(1):5. doi: 10.1186/s12987-021-00239-2

4. Молдавская И.В. Радиологические критерии стенозирования брахиоцефальных вен и клиническая выраженность церебрального венозного застоя: автореф. дис. ... канд. мед. наук. Томск, 2013.

Moldavskaya I.V. Radiological criteria for brachiocephalic vein stenosis and clinical severity of cerebral venous stasis: abstract of thesis....cand. med. sci. Tomsk, 2013. [In Russian].

5. Dollinger P., Böhm J., Arányi Z. Combined nerve and vascular ultrasound in thoracic outlet syndrome: A sensitive method in identifying the site of neurovascular compression. *PLoS One.* 2022;17(5):e0268842. doi: 10.1371/journal.pone.0268842

6. Шумилина М.В. Ультразвуковые исследования при головных болях у пациентов с сердечно-сосудистой патологией: учеб.-методич. руководство. М.: НМИЦССХ им. А.Н. Бакулева, 2022. 78 с.

Shumilina M.V. Ultrasound examinations for headaches in patients with cardiovascular pathology. Moscow: NMITSSSKH im. A.N. Bakuleva, 2022. 78 p. [In Russian].

7. Алексеев В.В., Шехтер А.И., Скоробогатых К.В., Шашкова Е.В. Головные боли при интракраниальной венозной дисфункции. *Боль.* 2008;(3):15–21.

Alekseev V.V., Shekhter A.I., Skorobogatykh K.V., Shashkova E.V. Headaches due to intracranial venous dysfunction. *Bol' = The pain.* 2008;(3):15–21. [In Russian].

8. Семенов С.Е., Коваленко А.В., Молдавская И.В., Хромов А.А., Жучкова Е.А., Хромова А.Н., Семенов А.С. Диагностика и роль церебрального венозного полнокровия в течении и исходах негеморрагического инсульта. *Комплек. пробл. серд.-сосуд. забол.* 2014;(3):108–117. doi: org/10.17802/2306-1278-2014-3-108-117

Semenov S.E., Kovalenko A.V., Moldavskaya I.V., Khromov A.A., Zhuchkova E.A., Khromova A.N., Semenov A.S. Diagnosis and role of cerebral venous congestion in the course and outcome of non-hemorrhagic stroke. *Kompleksnyye problemy serdechno-sosudistykh zabolevaniy = Complex Issues of Cardiovas-*

*cular Diseases*. 2014;(3):108–117. [In Russian]. doi: 10.17802/2306-1278-2014-3-108-117

9. Бердичевский М.Я. Венозная дисциркуляторная патология головного мозга. М.: Медицина, 1989. 224 с.

Berdichevskiy M.Ya. Venous discirculatory pathology of the brain. Moscow: Meditsina, 1989. 224 p. [In Russian].

10. Сосудистые заболевания нервной системы. Ред. Е.В. Шмидт. М.: Медицина, 1975. 664 с.

Vascular diseases of the nervous system. Ed. E.V. Schmidt. Moscow: Meditsina, 1975. 664 p. [In Russian].

11. Верулашвили И., Берая М., Кортушвили М. Особенности церебральной венозной гемодинамики при хронических нарушениях мозгового кровообращения. *Эффектив. фармакотерапия*. 2018;24:88–92.

Verulashvili I., Beraya M., Kortushvili M. Features of cerebral venous hemodynamics in chronic cerebrovascular accidents. *Effektivnaya farmakoterapiya = Effective pharmacotherapy*. 2018;24:88–92. [In Russian].

12. Семенов С.Е., Молдавская И.В., Коваленко А.В., Хромов А.А., Хромова А.Н., Жучкова Е.А., Портнов Ю.М., Коков А.Н. Радиологические критерии стенозирования брахиоцефальных вен и клиническая выраженность церебрального венозного застоя. *Клин. физиол. кровообращ.* 2013;(2):35–44.

Semenov S.E., Moldavskaya I.V., Kovalenko A.V., Khromov A.A., Khromova A.N., Zhuchkova E.A., Portnov Yu.M., Kokov A.N. Radiological criteria for stenosis of the brachiocephalic veins and the clinical severity of cerebral venous stasis. *Klinicheskaya fiziologiya krovoobrashcheniya = Clinical Physiology of Circulation*. 2013;(2):35–44. [In Russian].

13. Назарова Ж.А., Бахадирханов М.М. Особенности венозной церебральной гемодинамики при острых нарушениях мозгового кровообращения. *Вестн. экстр. мед.* 2019;12(6):35–41.

Nazarova Zh.A., Bahadirhanov M.M. Features of venous cerebral hemodynamics in acute cerebrovascular accidents. *Vestnik ekstreynoy meditsiny = The Bulletin of Emergency Medicine*. 2019;12(6):35–41. [In Russian].

14. Ahn S.S., Miller T.J., Chen S.W., Chen J.F. Internal jugular vein stenosis is common in patients presenting with neurogenic thoracic outlet syndrome. *Ann. Vasc. Surg.* 2014;28(4):946–50. doi: 10.1016/j.avsg.2013.12.009

15. Ding J.Y., Zhou D., Pan L.Q., Ya J.Y., Liu C., Yan F., Fan C.Q., Ding Y.C., Ji X.M., Meng R. Cervical spondylotic internal jugular venous compression syndrome. *CNS Neurosci. Ther.* 2020;26(1):47–54. doi: 10.1111/cns.13148

16. Li M., Sun Y., Chan C.C., Fan C., Ji X., Meng R. Internal jugular vein stenosis associated with elongated styloid process: five case reports and literature review.

*BMC Neurol.* 2019;19(1):112. doi: 10.1186/s12883-019-1344-0

17. Rashid A., Iqar S.A., Rashid A., Simka M. Results of numerical modeling of blood flow in the internal jugular vein exhibiting different types of strictures. *Diagnostics (Basel)*. 2022;12(11):2862. doi: 10.3390/diagnostics12112862

18. Dashti S.R., Nakaji P., Hu Y.C., Frei D.F., Abla A.A., Yao T., Fiorella D. Styloidogenic jugular venous compression syndrome: diagnosis and treatment: case report. *Neurosurgery*. 2012;70(3):E795–799. doi: 10.1227/NEU.0b013e3182333859

19. Higgins J.N., Garnett M.R., Pickard J.D., Axon P.R. An evaluation of styloidectomy as an adjunct or alternative to jugular stenting in idiopathic intracranial hypertension and disturbances of cranial venous outflow. *J. Neurol. Surg. B. Skull. Base*. 2017;78(2):158–163. doi: 10.1055/s-0036-1594238

20. Oushy S., Wald J.T., Janus J., Fulgham J.R., Lanzino G. Dynamic internal jugular vein compression by hypertrophic hyoid bone: management and outcomes. *Cureus*. 2020;12(3):e7445. doi: 10.7759/cureus.7445

21. Семенов С.Е. Неинвазивная лучевая диагностика обструктивных нарушений церебрального венозного кровообращения: автореф. дис. ... докт. мед. наук. Томск, 2003.

Semenov S.E. Noninvasive radiodiagnosis of obstructive disorders of cerebral venous circulation: abstract of thesis... doct. med. sci. Tomsk, 2003. [In Russian].

22. Сероусова О.В., Карпова М.И., Надточий Н.Б., Короткова Д.Г., Василенко А.Ф. Нейровизуализация при головной боли: возможные находки и их интерпретация. *Рос. ж. боли*. 2022;20(3):52–61. doi: 10.17116/pain20222003152

Serousova O.V., Karpova M.I., Nadtochiy N.B., Korotkova D.G., Vasilenko A.F. Neuroimaging for headache: possible findings and their interpretation. *Rossiyskiy zhurnal boli = Russian Journal of Pain*. 2022;20(3):52–61 [In Russian] doi: 10.17116/pain20222003152

23. Nicholson P., Kedra A., Shotar E., Bonnin S., Boch A.L., Shor N., Clarençon F., Touitou V., Lenck S. Idiopathic intracranial hypertension: glymphedema of the brain. *J. Neuroophthalmol.* 2021;41(1):93–97. doi: 10.1097/WNO.0000000000001000

24. Семенов С.Е., Бондарчук Д.В., Малков И.Н., Шатохина М.Г. Ультразвуковая и магнитно-резонансная семиотика компрессий и гипоплазии внутренних яремных вен. *Комплек. пробл. серд.-сосуд. забол.* 2023;12(1):72–83. doi: 10.17802/2306-1278-2023-12-1-72-83

Semenov S.E., Bondarchuk D.V., Malkov I.N., Shatokhina M.G. Ultrasound and magnetic resonance of extrinsic stenosis and hypoplasia of internal jugular veins. *Kompleksnyye problemy serdechno-sosudistykh zabolevaniy = Complex Issues of Cardiovas-*

- cular Diseases*. 2023;12(1):72–83. [In Russian]. doi: 10.17802/2306-1278-2023-12-1-72-83
25. Friedman D.I., Liu G.T., Digre K.B. Revised diagnostic criteria for the pseudotumor cerebri syndrome in adults and children. *Neurology*. 2013;81(13):1159–1165. doi: 10.1212/WNL.0b013e3182a55f17
26. Ferro J.M., Canhao P., Stam J., Boussier M.G., Barinagarrementeria F.; ISCVT Investigators. Prognosis of cerebral vein and dural sinus thrombosis: results of the International Study on Cerebral Vein and Dural Sinus Thrombosis (ISCVT). *Stroke*. 2004;35(3):664–670. doi: 10.1161/01.STR.0000117571.76197.26
27. Dolic K., Siddiqui A.H., Karmon Y., Marr K., Zivadinov R. The role of noninvasive and invasive diagnostic imaging techniques for detection of extracranial venous system anomalies and developmental variants. *BMC Med*. 2013;11:155. doi: 10.1186/1741-7015-11-155
28. Шумилина М.В., Аракелян В.С., Дарвиш Н.А., Озолинш А.А. К проблеме изучения артериального и венозного кровообращения у пациентов. *Клин. физиол. кровообращ.* 2018; 15(1):50–53.
- Shumilina M.V., Arakelyan V.S., Darvish N.A., Ozolinsh A.A. On the problem of studying arterial and venous circulation in patients. *Klinicheskaya fiziologiya krovoobrashcheniya = Clinical Physiology of Circulation*. 2018;15(1):50–53. [In Russian].
29. Myerson A., Loman J. Internal jugular venous pressure in men, its relationship to cerebrospinal fluid and carotid arterial pressures. *Arch. Neurol. Psychiatry*. 1932;27(4):836–846. doi: 10.1001/archneurpsyc.1932.02230160077008
30. Шумилина М.В., Махмудов Х.Х., Мукасева А.В., Стрелкова Т.В. Способ измерения венозного давления. Пат. 2480149 РФ; опублик. 27.04.2013.
- Shumilina M.V., Makhmudov Kh.Kh., Mukaseyeva A.V., Strelkova T.V. Method for measuring venous pressure. Patent 2480149 RF; published 27.04.2013. [In Russian].
31. Semenov S., Yurkevich E., Semenov A. Determination of indicator model of cerebral venous thrombosis by using brachiocephalic vessels ultrasound index of arteriovenous ratio and headache visual analogue scale. *Recent Developments in Medicine and Medical Research*. 2021;15:18–28. doi: 10.9734/bpi/rdmmr/v15/15014D
32. Шумилина М.В. Нарушения венозного церебрального кровообращения у больных с сердечно-сосудистой патологией: автореф. дис. ... докт. мед. наук. М., 2002.
- Shumilina M.V. Disturbances of cerebral venous circulation in patients with cardiovascular pathology: abstract of thesis ... doct. med. sci. Moscow, 2002. [In Russian].
33. Mohammadyari P., Gadda G., Taibi A. Modeling physiology of haemodynamic adaptation in short-term microgravity exposure and orthostatic stress on *Earth. Sci. Rep*. 2021;11(1):4672. doi: 10.1038/s41598-021-84197-7
34. Семенов С.Е., Бурдин С.Н., Бухтоярова В.И., Молдавская И.В., Сизова И.Н., Тен С.Б. Ультразвуковые критерии гемодинамической значимости обструкции брахиоцефальных вен. *Клин. физиол. кровообращ.* 2009;(3):42–50.
- Semenov S.E., Burdin S.N., Bukhtoyarova V.I., Moldavskaya I.V., Sizova I.N., Ten S.B. Ultrasound criteria for the hemodynamic significance of obstruction of the brachiocephalic veins. *Klinicheskaya fiziologiya krovoobrashcheniya = Clinical Physiology of Circulation*. 2009;(3):42–50. [In Russian].
35. Han K., Chao A.C., Chang F.C., Chung C.P., Hsu H.Y., Sheng W.Y., Wu J., Hu H.H. Obstruction of venous drainage linked to transient global amnesia. *PLoS One*. 2015;10(7):e0132893. doi: 10.1371/journal.pone.0132893
36. Smolock E., Berk B.C. Chapter 98 – Vascular smooth muscle cell remodeling in atherosclerosis and restenosis. *Muscle*. 2012;2:1301–1309. doi: 10.1016/B978-0-12-381510-1.00098-3
37. Magnano C., Belov P., Krawiecki J., Hagemeyer J., Beggs C., Zivadinov R. Internal jugular vein cross-sectional area enlargement is associated with aging in healthy individuals. *PLoS ONE*. 2016;11(2):e0149532. doi: 10.1371/journal.pone.0149532
38. Doepp F., Schreiber S.J., von Münster T., Rademacher J., Klingebiel R., Valdueza J.M. How does the blood leave the brain? A systematic ultrasound analysis of cerebral venous drainage patterns. *Neuroradiology*. 2004;46(7):565–570. doi: 10.1007/s00234-004-1213-3
39. Tanoue S., Kiyosue H., Sagara Y., Hori Y., Okahara M., Kashiwagi J., Mori H. Venous structures at the craniocervical junction: anatomical variations evaluated by multidetector row CT. *Br. J. Radiol*. 2010;83(994):831–840. doi: 10.1259/bjr/85248833
40. Schaller B. Physiology of cerebral venous blood flow: from experimental data in animals to normal function in humans. *Brain Res. Brain Res. Rev*. 2004;46(3):243–260. doi: 10.1016/j.brainres-rev.2004.04.005
41. Zamboni P., Consorti G., Galeotti R., Gianesini S., Menegatti E., Tacconi G., Carinci F. Venous collateral circulation of the extracranial cerebrospinal outflow routes. *Curr. Neurovasc. Res*. 2009;6(3):204–212. doi: 10.2174/156720209788970054
42. Thibault P., Lewis W., Niblett S. Objective duplex ultrasound evaluation of the extracranial circulation in multiple sclerosis patients undergoing venoplasty of internal jugular vein stenoses: a pilot study. *Phlebology*. 2015;30(2):98–104. doi: 10.1177/0268355513515473
43. Gadda G., Taibi A., Sisini F., Gambaccini M., Sethi S.K., Utriainen D.T., Haacke E.M., Zamboni P., Ursino M. Validation of a hemodynamic model for the study of the cerebral venous outflow system using MR imaging and echo-color Doppler data. *AJNR Am.*

- J. Neuroradiol.* 2016;37(11):2100–2109. doi: 10.3174/ajnr.A4860
44. Traboulsee A.L., Knox K.B., Machan L., Zhao Y., Yee I., Rauscher A., Klass D., Szkup P., Otani R., Kopriva D., Lala S., Li D.K., Sadovnick D. Prevalence of extracranial venous narrowing on catheter venography in people with multiple sclerosis, their siblings, and unrelated healthy controls: a blinded, case-control study. *Lancet.* 2014;383(9912):138–145. doi: 10.1016/S0140-6736(13)61747-X
45. Ding J.Y., Zhou D., Pan L.Q., Ya J.Y., Liu C., Yan F., Fan C.Q., Ding Y.C., Ji X.M., Meng R. Cervical spondylotic internal jugular venous compression syndrome. *CNS Neurosci. Ther.* 2020;26(1):47–54. doi: 10.1111/cns.13148
46. Wang Z., Ding J., Bai C., Ding Y., Ji X., Meng R. Clinical classification and collateral circulation in chronic cerebrospinal venous insufficiency. *Front. Neurol.* 2020;11:913. doi: 10.3389/fneur.2020.00913
47. Marr K., Jakimovski D., Mancini M., Carl E., Zivadinov R. Jugular venous flow quantification using Doppler sonography. *Ultrasound. Med. Biol.* 2018;44(8):1762–1769. doi: 10.1016/j.ultrasmedbio.2018.04.010
48. Karmon Y., Zivadinov R., Weinstock-Guttman B., Marr K., Valnarov V., Dolic K., Kennedy C.L., Hojnacki D., Carl E.M., Hagemeyer J., Hopkins L.N., Levy E.I., Siddiqui A.H. Comparison of intravascular ultrasound with conventional venography for detection of extracranial venous abnormalities indicative of chronic cerebrospinal venous insufficiency. *J. Vasc. Interv. Radiol.* 2013;24(10):1487–1498.e1. doi: 10.1016/j.jvir.2013.06.012
49. Scalise F., Farina M., Manfredi M., Augadro C., Novelli E. Assessment of jugular endovascular malformations in chronic cerebrospinal venous insufficiency: colour-Doppler scanning and catheter venography compared with intravascular ultrasound. *Phlebology.* 2013;28(8):409–417. doi: 10.1258/phleb.2012.012079
50. Roberts G.S., Peret A., Jonaitis E.M., Kosciak R.L., Hoffman C.A., Rivera-Rivera L.A., Cody K.A., Rowley H.A., Johnson S.C., Wieben O., Johnson K.M., Eisenmenger L.B. Normative cerebral hemodynamics in middle-aged and older adults using 4D flow MRI: initial analysis of vascular aging. *Radiology.* 2023;307(3):e222685. doi: 10.1148/radiol.222685
51. Sethi S.K., Daugherty A.M., Gadda G., Utrianen D.T., Jiang J., Raz N., Haacke E.M. Jugular anomalies in multiple sclerosis are associated with increased collateral venous flow. *AJNR Am. J. Neuroradiol.* 2017;38(8):1617–1622. doi: 10.3174/ajnr.A5219
52. Савельева Л.А., Тулупов А.А. Особенности венозного оттока от головного мозга, по данным магнитно-резонансной ангиографии. *Вестн. НГУ. Сер. Биол., клин. мед.* 2009;7(1):36–40.
- Savelyeva L.A., Tulupov A.A. Features of venous outflow from the brain, according to magnetic resonance angiography. *Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: biologiya, klinicheskaya meditsina = Vestnik NSU. Series: Biology, clinical medicine.* 2009;7(1):36–40. [In Russian]
53. İlhan Z., Açıkgözoğlu S., Demir O. Associations between Doppler internal jugular vein blood flow and transverse sinus stasis detected by magnetic resonance imaging. *J. Ultrasound. Med.* 2021;40(8):1591–1601. doi: 10.1002/jum.15541
54. Zamboni P., Menegatti E., Cittanti C., Sisini F., Giancesini S., Salvi F., Mascoli F. Fixing the jugular flow reduces ventricle volume and improves brain perfusion. *J. Vasc. Surg. Venous Lymphat. Disord.* 2016;4(4):434–445. doi: 10.1016/j.jvsv.2016.06.006
55. Torres C., Hogan M., Patro S., Chakraborty S., Nguyen T., Thornhill R., Freedman M., Busiere M., Dabirzadeh H., Schwarz B.A., Belanger S., Legault-Kingstone L., Schweitzer M., Lum C. Extracranial venous abnormalities: a true pathological finding in patients with multiple sclerosis or an anatomical variant? *Eur. Radiol.* 2017;27(1):239–246. doi: 10.1007/s00330-016-4314-6
56. El Sankari S., Gondry-Jouet C., Fichten A., Godefroy O., Serot J.M., Deramond H., Meyer M.E., Balédent O. Cerebrospinal fluid and blood flow in mild cognitive impairment and Alzheimer’s disease: a differential diagnosis from idiopathic normal pressure hydrocephalus. *Fluids Barriers CNS.* 2011;8(1):12. doi: 10.1186/2045-8118-8-12
57. Zivadinov R., Poloni G.U., Marr K., Schirda C.V., Magnano C.R., Carl E., Bergsland N., Hojnacki D., Kennedy C., Beggs C.B., Dwyer M.G., Weinstock-Guttman B. Decreased brain venous vasculature visibility on susceptibility-weighted imaging venography in patients with multiple sclerosis is related to chronic cerebrospinal venous insufficiency. *BMC Neurol.* 2011;11:128. doi: 10.1186/1471-2377-11-128
58. Семенов С.Е. Лучевая диагностика венозного ишемического инсульта. СПб.: Фолиант, 2018. 216 с.
- Semenov S.E. Radiologic diagnosis of venous ischemic stroke. Saint-Petersburg: Foliant, 2018. 216 p. [In Russian].
59. Zamboni P., Menegatti E., Weinstock-Guttman B., Dwyer M.G., Schirda C.V., Malagoni A.M., Hojnacki D., Kennedy C., Carl E., Bergsland N., Magnano C., Bartolomei I., Salvi F., Zivadinov R. Hypoperfusion of brain parenchyma is associated with the severity of chronic cerebrospinal venous insufficiency in patients with multiple sclerosis: a cross-sectional preliminary report. *BMC Med.* 2011;9:22. doi: 10.1186/1741-7015-9-22
60. Garaci F.G., Marziali S., Meschini A., Fornari M., Rossi S., Melis M., Fabiano S., Stefanini M., Simonetti G., Centonze D., Floris R. Brain hemodynamic changes associated with chronic cerebrospinal venous insufficiency are not specific to multiple

sclerosis and do not increase its severity. *Radiology*. 2012;265(1):233–239. doi: 10.1148/radiol.12112245

61. Семенов С.Е., Юркевич Е.А., Молдавская И.В., Шатохина М.Г., Семенов А.С. Диагностика венозного ишемического инсульта. Часть II (алгоритмы и семиотика лучевой диагностики. Ограничения использования в клинической практике). Обзор. *Комплекс. пробл. серд.-сосуд. забол.* 2019;8(3):104–115. doi: 10.17802/2306-1278-2019-8-3-104-115

Semenov S.E., Yurkevich E.A., Moldavskaia I.V., Shatokhina M.G., Semenov A.S. Diagnosis of venous ischemic stroke. Part II (algorithms and semiology of diagnostic radiology. Limitations in clinical practice). A review. *Kompleksnyye problemy serdechno-so-*

*sudistyykh zabolevaniy = Complex Issues of Cardiovascular Diseases*. 2019;8(3):104–115. [In Russian]. doi: 10.17802/2306-1278-2019-8-3-104-115

62. Kefayati S., Amans M., Faraji F., Ballweber M., Kao E., Ahn S., Meisel K., Halbach V., Saloner D. The manifestation of vortical and secondary flow in the cerebral venous outflow tract: An in vivo MR velocimetry study. *J. Biomech*. 2017;50:180–187. doi: 10.1016/j.jbiomech.2016.11.041

63. Jayaraman M.V., Boxerman J.L., Davis L.M., Haas R.A., Rogg J.M. Incidence of extrinsic compression of the internal jugular vein in unselected patients undergoing CT angiography. *AJNR Am. J. Neuroradiol*. 2012;33(7):1247–1250. doi: 10.3174/ajnr.A2953

#### Сведения об авторах:

**Семенов Станислав Евгеньевич**, д.м.н., ORCID: 0000-0002-1827-606X, e-mail: dr\_semenov\_s@mail.ru

**Бондарчук Дмитрий Владимирович**, ORCID: 0000-0001-8752-0591

**Коков Александр Николаевич**, к.м.н., ORCID: 0000-0002-7573-0636

**Шатохина Мария Геннадьевна**, к.м.н., ORCID: 0000-0002-0485-4586

#### Information about the authors:

**Stanislav E. Semenov**, doctor of medical sciences, ORCID: 0000-0002-1827-606X, e-mail: dr\_semenov\_s@mail.ru

**Dmitriy V. Bondarchuk**, ORCID: 0000-0001-8752-0591

**Alexandr N. Kokov**, candidate of medical sciences, ORCID: 0000-0002-7573-0636

**Maria G. Shatokhina**, candidate of medical sciences, ORCID: 0000-0002-0485-4586

Поступила в редакцию 14.09.2023

Принята к публикации 25.11.2023

Received 14.09.2023

Accepted 25.11.2023