

Ремоделирование экстракраниальных вен и венозно-артериальный дисбаланс при наружном стенозе и гипоплазии внутренних яремных вен

С.Е. Семенов¹, Д.В. Бондарчук², И.Н. Малков¹, М.Г. Шатохина³

¹ НИИ комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний

650002, г. Кемерово, Сосновый б-р, 6

² Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий

Департамента здравоохранения г. Москвы

127051, г. Москва, ул. Петровка, 24, стр. 1

³ Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова Минздрава России

197341, г. Санкт-Петербург, ул. Аккуратова, 2

Резюме

Цель исследования – сравнение параметров гемодинамики и последовательности ремоделирования яремных и внеяремных путей оттока мозговой венозной крови при наружном стенозе и гипоплазии внутренней яремной вены (ВЯВ). **Материал и методы.** Сравнены группы с наружной компрессией и стенозом ВЯВ ($n = 50$), с гипоплазией ВЯВ ($n = 27$), после перевязки/резекции ВЯВ ($n = 6$) в качестве модели окклюзии ВЯВ с клиникой минимальной церебральной венозной недостаточности и венозной энцефалопатии, контрольная группа ($n = 31$). Всем выполнены неврологический осмотр, ультразвуковое исследование ВЯВ (J2 и на уровне стеноза), общей сонной и позвоночной артерий (V2), а также магнитно-резонансная (МР) венография вен шеи 2DToF или 3DToF. Определяли степень стеноза ВЯВ, площадь поперечного сечения и усредненную скорость кровотока, расчетный показатель венозно-артериального баланса (ВАБ) по модифицированной формуле. **Результаты и их обсуждение.** В группе наружной компрессии ВЯВ стеноз в среднем составил 64,52 %. Площадь ВЯВ в месте стеноза была в 6 раз, а в стандартном месте (J2) – в 3 раза меньше, чем площадь противоположной ВЯВ. Гипоплазированная ВЯВ на всем протяжении (от J1 до J3) имела одинаковую площадь ($0,21 \pm 0,12 \text{ см}^2$), контуры ровные, без локальных расширений или сужений. Для стеноза характерна очень низкая скорость кровотока ($10,2 \pm 11,67 \text{ см/с}$) в отличие от нормальной скорости в гипоплазированной вене и в контрольной группе. Скорость кровотока в контралатеральной ВЯВ при наружном стенозе не отличается от нормальной, но при гипоплазии повышена ($34,62 \pm 12,23 \text{ см/с}$). При МР-венографии возможны обнаружение стенозирующего фактора, симптомов дефекта наполнения, снижения или потери сигнала кровотока, оценка общей картины ремоделирования венозной сети шеи. Уменьшение площади ВЯВ на стороне поражения/аномалии соответствует отрицательному, а расширение противоположной ВЯВ – положительному ремоделированию. При сохранении обструкции расширяется гомолатеральная, затем контралатеральная наружная яремная вена, позвоночные вены и сплетения, спинномозговые эпидуральные вены, передние яремные и задние шейные вены. Величина ВАБ на стороне аномалии/патологии при гипоплазии не отличалась от значения при стенозе (9 %), но была несколько меньше, чем на противоположной ВЯВ (соответственно $53,39 \pm 13,40$ и $67,24 \pm 18,02$ %, $p < 0,06$) и существенно меньше по сравнению с контролем ($24,16 \pm 8,06$ % слева и $33,15 \pm 8,27$ % справа, $p < 0,0001$), что делает этот показатель хорошим дополнительным критерием ненормальности оттока по ВЯВ одной стороны.

Ключевые слова: венозно-артериальный баланс, внутренняя яремная вена, наружный стеноз, гипоплазия, ультразвуковое исследование, магнитно-резонансная венография.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Исследование выполнено 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» (научный руководитель – академик РАН О.Л. Барбараш).

Автор для переписки: Семенов С.Е., e-mail: dr_semenov_s@mail.ru

Для цитирования: Семенов С.Е., Бондарчук Д.В., Малков И.Н., Шатохина М.Г. Ремоделирование экстракраниальных вен и венозно-артериальный дисбаланс при наружном стенозе и гипоплазии внутренних яремных вен. *Сибирский научный медицинский журнал*. 2024;44(1):61–75. doi: 10.18699/SSMJ20240107

Remodeling of extracranial veins and venous-arterial imbalance in extrinsic stenosis and hypoplasia of the internal jugular veins

S.E. Semenov¹, D.V. Bondarchuk², I.N. Malkov¹, M.G. Shatokhina³

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

² Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies
of the Moscow Health Care Department
12705, Moscow, Petrovka st., 124/1

³ Almazov National Medical Research Centre of Minzdrav of Russia
197341, St. Petersburg, Akkuratova st., 2

Abstract

The aim of the study was to compare hemodynamic parameters, the sequence of remodeling of the jugular and extrajugular outflow tracts of cerebral venous circulation in extrinsic stenosis and hypoplasia of the internal jugular vein (IJV). **Material and methods.** Groups with external compression and IJV stenosis ($n = 50$), with IJV hypoplasia ($n = 27$), and after IJV ligation/resection ($n = 6$) as a model of IJV occlusion with a minimal cerebral venous insufficiency and venous encephalopathy and control group ($n = 31$) were compared. All patients underwent a neurological examination, ultrasound duplex scanning of the IJV (J2 and at the level of stenosis), common carotid and vertebral artery (V2), 2DToF or 3DToF magnetic resonance venography of the neck veins. The degree of stenosis of the IJV, the cross-sectional area and the time average blood flow velocity, the calculated indicator of the venous-arterial balance (VAB) were determined according to the modified formula. **Results and discussion.** In the group of external compression of the IJV, stenosis averaged 64.52 %. The area of the IJV at the site of stenosis was 6 times, and at the standard place (J2) – 3 times less than the area of the opposite IJV. The hypoplastic IJV throughout its entire length (from J1 to J3) had the same area ($0.21 \pm 0.12 \text{ cm}^2$), smooth contours, without local expansions or narrowings. A very low blood flow velocity ($10.2 \pm 11.67 \text{ cm/s}$) is characteristic for stenosis, in contrast to the normal velocity in the hypoplastic vein and in the control group. The blood flow velocity in the contralateral IJV with external stenosis does not differ from normal, but it is increased with hypoplasia ($34.62 \pm 12.23 \text{ cm/s}$). With MR venography, it is possible to detect a stenosing factor, symptoms of a filling defect, a decrease or loss of a blood flow signal, and an assessment of the overall picture of remodeling of the venous network of the neck. A decrease in the IJV area on the side of the lesion/anomaly corresponds to negative remodeling, while an expansion of the opposite IJV corresponds to positive remodeling. If the obstruction persists, the homolateral, then the contralateral external jugular vein expands, then the vertebral veins and plexuses, spinal epidural veins, anterior jugular and posterior cervical veins expand too. The magnitude of the IJV on the side of the anomaly/pathology with hypoplasia did not differ from the value with stenosis (9 %), but was slightly less than on the opposite IJV (53.39 ± 13.40 and 67.24 ± 18.02 %, respectively, $p < 0.06$) and significantly less compared to the control (24.16 ± 8.06 % on the left and 33.15 ± 8.27 % on the right, $p < 0.0001$), which makes this indicator a good additional criterion for outflow abnormality according to the IJV of one side.

Key words: venous-arterial balance, internal jugular vein, extrinsic stenosis, hypoplasia, ultrasound, magnetic resonance venography.

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

Financing. The study was carried out within the framework of the fundamental theme of the Research Institute of Complex Problems 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» (scientific supervisor – academician RAS O.L. Barbarash).

Correspondence author: Semenov S.E., e-mail: dr_semenov_s@mail.ru

Citation: Semenov S.E., Bondarchuk D.V., Malkov I.N., Shatokhina M.G. Remodeling of extracranial veins and venous-arterial imbalance in extrinsic stenosis and hypoplasia of the internal jugular veins. *Sibirskij nauchnyj medicinskij zhurnal = Siberian Scientific Medical Journal*. 2024;44(1):61–75. [In Russian]. doi: 10.18699/SSMJ20240107

Введение

Лучевая диагностика нарушений церебрального венозного кровообращения и в особенности нарушений оттока крови от головы на экстракраниальном уровне остается малоизученной и нередко спорной проблемой. Анатомическая вариабельность венозной системы с асимметрией кровотока по внутренней яремной вене (ВЯВ) даже в норме не способствует легкой диагностике этих нарушений. В последнее время интерес к данной проблеме вырос, особенно в связи с расширением технических возможностей диагностики, когда врачи-исследователи сталкиваются с очевидной асимметрией анатомии и гемодинамических параметров ВЯВ, но не имеют определенных навыков в их интерпретации. Нередко сходные между собой локальные показатели гемодинамики стеноза и гипоплазии ВЯВ при МРТ не позволяют убедительно различить их, а ведь если гипоплазия является конституционально обусловленным состоянием без обязательного корректирующего вмешательства, то наружный стеноз обычно имеет компримирующий агент, на который можно воздействовать. Такое воздействие аргументируется все чаще прослеживаемой связью между клиническими проявлениями внутричерепной гипертензии и локальным сужением просвета церебральных венозных структур [1]. Так, например, мышечно-тонические расстройства на уровне шейного отдела позвоночника с рефлекторным и непосредственным физическим влиянием на экстракраниальные вены являются одной из возможных причин формирования церебральной венозной дисциркуляции [2], тогда как исследование вен шеи выполняется далеко не всегда, даже при наличии клинических проявлений синдрома верхней апертуры грудной клетки [3].

В литературе в последнее время появляется все больше публикаций о различных видах наружной компрессии внутренних яремных вен, даже с последующим хирургическим воздействием на компримирующие агенты. Поэтому дифференциальная диагностика патологического наружного стеноза (extrinsic stenosis) и аномалии размера (гипоплазии) может иметь важное значение. Анализ различных ультразвуковых параметров и визуальной картины магнитно-резонансной (МР) венографии как наиболее доступных и безопасных способов диагностики нарушений кровотока по экстракраниальным венам может оказаться полезным [4].

Целью данного исследования явилось сравнение региональных параметров гемодинамики и последовательности ремоделирования яремных и

внеяремных путей оттока мозговой венозной крови при наружном стенозе и гипоплазии ВЯВ.

Материал и методы

Исследование выполнено на базе ФГБНУ «НИИ комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний» (НИИ КПССЗ) и ГБУЗ «Кузбасский клинический кардиологический диспансер им. акад. Барбараша Л.С.» в рамках фундаментальной темы «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», одобрено локальным этическим комитетом НИИ КПССЗ (выписка из протокола внеочередного заседания № 12 от 10.06.2022). Все пациенты подписали информированное согласие на исследование.

Группы выборок были сформированы за период 2001–2023 гг. из пациентов, направленных как с выраженными (венозная энцефалопатия), так и с минимальными клиническими проявлениями церебральной венозной дисциркуляции («минимальная церебральная венозная недостаточность» [5]). Основанием для включения пациентов в исследование было заключение специалистов лучевой диагностики о стенозе или гипоплазии ВЯВ при отсутствии других обнаруженных причин для развития клинической симптоматики.

В исследование включены 114 человек: 50 пациентов с наружной компрессией и стенозом ВЯВ (в 32 случаях стеноз зарегистрирован слева, в 17 случаях – справа, в одном случае – с двух сторон, по 25 женщин и мужчин в возрасте от 21 до 71 года, в среднем $48,24 \pm 8,02$ года); 27 человек с гипоплазией ВЯВ (17 случаев гипоплазии левой ВЯВ и 10 – справа, сочетающихся в 9 случаях с гипоплазией ипсилатеральных сигмовидного и поперечного синусов – 7 слева и 2 справа, 22 женщины и 5 мужчин в возрасте от 20 до 75 лет, в среднем $43,51 \pm 11,67$ года); 6 пациентов после перевязки/резекции ВЯВ с одной стороны (по 3 справа и слева, 2 женщины и 4 мужчины в возрасте от 30 до 55 лет, в среднем $46 \pm 8,67$ года); 31 здоровый доброволец (группа контроля, 16 женщин и 15 мужчин в возрасте от 41 до 59 лет, в среднем $50,22 \pm 4,89$ года).

Принципиально важной была сопоставимость групп для сравнения по величине брахиоцефального венозного угла [6], что ставило их в равные условия исходной асимметрии кровотока

по ВЯВ. Так, в группе наружного стеноза только 6 (12 %) пациентов имели клинические проявления венозной энцефалопатии, остальные – признаки минимальной церебральной венозной недостаточности. Ведущей жалобой при минимальном церебральном венозном застое является головная боль, возникающая или усиливающаяся при принятии пациентом горизонтального положения, наклоне головы, кашле, чихании, натуживании, но уменьшающаяся к вечеру при достаточной физической активности. Интенсивность головной боли по визуально-аналоговой шкале составляла от 3 до 5 баллов, появляясь иногда по типу мигрени [7]. В трети случаев имело место незначительное снижение когнитивных способностей в виде плохого усвоения новых знаний и снижения концентрации внимания, а также астенический (астеновегетативный) синдром. В группе с гипоплазией ВЯВ два (7,4 %) пациента имели клинику венозной энцефалопатии, остальные – признаки минимальной церебральной венозной недостаточности. В группе после перевязки/резекции ВЯВ два (33 %) пациента имели клинику минимальной церебральной венозной недостаточности, остальные жалоб не предъявляли. В контрольной группе клинических проявлений венозной дисциркуляции не было. В подострой стадии наружной компрессии ВЯВ нами обследован один пациент, остальные 49 (98 %) – в хронической стадии.

В исследовании определены следующие причины наружного стеноза ВЯВ: в 25 (50 %) случаях – гипертрофированная грудино-ключично-сосцевидная (кивательная) мышца, в 10 (20 %) – опухоль щитовидной железы, по 3 случая – опухоли гортани (6 %) и основания черепа (6 %), 5 случаев (10 %) межкостной компрессии между шиловидным отростком височной кости черепа и боковой массой атласа («шейный спондилотический синдром внутренней яремной вены» [8]), по одному случаю (2 %) – наружная компрессия опухолью позвонка, гипертрофированного шилоподъязычной и двубрюшной мышцей, а также протяженное сдавление при флегмоне шеи.

Критерии исключения из исследования: инсульт в анамнезе и любые объемные образования мозга по данным МР- или компьютерной томографии, болезнь Миньера, доброкачественное позиционное головокружение, эпилептическая болезнь, признаки сердечной, легочной или легочно-сердечной недостаточности, наследственные заболевания нервной системы, каротидно-кавернозные соустья, артериальные аневризмы и артериовенозные мальформации, тромбоз венозных структур и стенозы брахиоцефальных арте-

рий > 50 %, извитость или стеноз позвоночных артерий (ПА), краниовертебральные аномалии, системные флебогипертензии / флебогипертензии в системе верхней поллой вены.

Всем пациентам и здоровым добровольцам выполнены неврологический осмотр, УЗИ ВЯВ на уровне J2 и на уровне стеноза (при технической возможности), общей сонной артерии (ОСА) и ПА (на уровне V2), а также МР-венография шеи. Определялись степень стеноза ВЯВ, площадь поперечного сечения и усредненная по времени линейная скорость кровотока (ЛСК) сосудов в средней трети шеи на уровне сегмента J2 (рис. 1).

УЗИ ВЯВ, ОСА и ПА выполнено на сонографах Sonos 2500 (HP, США), Aloka 5500 (Hitachi Aloka Medical Ltd., Япония), Vivid 7 (GE, США) линейным датчиком с частотой 7 МГц с измерением площади (S , см²) и усредненной по времени ЛСК (уср., см/с), рассчитанной за три сердечных цикла доплеровского спектра. ВЯВ измеряли на отрезке J2 [9,10] (далее – стандартное место) по известной методике, в положении на спине в проекции фиксированной анатомической метки – по нижнему краю лопаточно-подъязычной мышцы – через толстый слой геля, без давления на шею обследуемого для избегания компрессии вены при прямо расположенной голове [11], затем выполняли поиск места стеноза вены и сравнение исследуемых параметров на этом уровне с противоположной стороны. Площадь поперечного сечения ВЯВ, являющегося в большинстве случаев эллипсом, оценивали по формуле $S = \pi \times r \times R$ (произведение длин большой и малой полуосей на число π). В случаях щелевидной формы вены площадь определяли путем трассировки периметра.

Степень стеноза пораженной вены – локальный критерий, который высчитывался по аналогии с известной методикой NASCET, т. е. отношение площади в месте стеноза к площади вены более $\times 100$ %. Дополнительным параметром оценки гемодинамики был расчетный показатель венозно-артериального баланса (ВАБ) отдельно по сторонам по формуле:

$$\text{ВАБ} = \frac{(S_{\text{ВЯВ}} \times \text{ЛСК}_{\text{уср. ВЯВ}})}{\Sigma L, R (S_{\text{ОСА}} \times \text{ЛСК}_{\text{уср. ОСА}}) + \dots} \rightarrow$$

$$\rightarrow \frac{\dots}{+ \Sigma L, R (S_{\text{ПА}} \times \text{ЛСК}_{\text{уср. ПА}})} \times 100 ,$$

где ВЯВ – внутренняя яремная вена (отдельно с каждой стороны); S – площадь, см²; $\text{ЛСК}_{\text{уср}}$ (усредненная по времени скорость кровотока: для вен – диастолическая, для артерий – систолическая, см/с) на уровне J2 и V2; ОСА – общая сонная артерия; ПА – позвоночная артерия на уровне V2; $\Sigma L, R$ – суммарный объем кровотока по ОСА

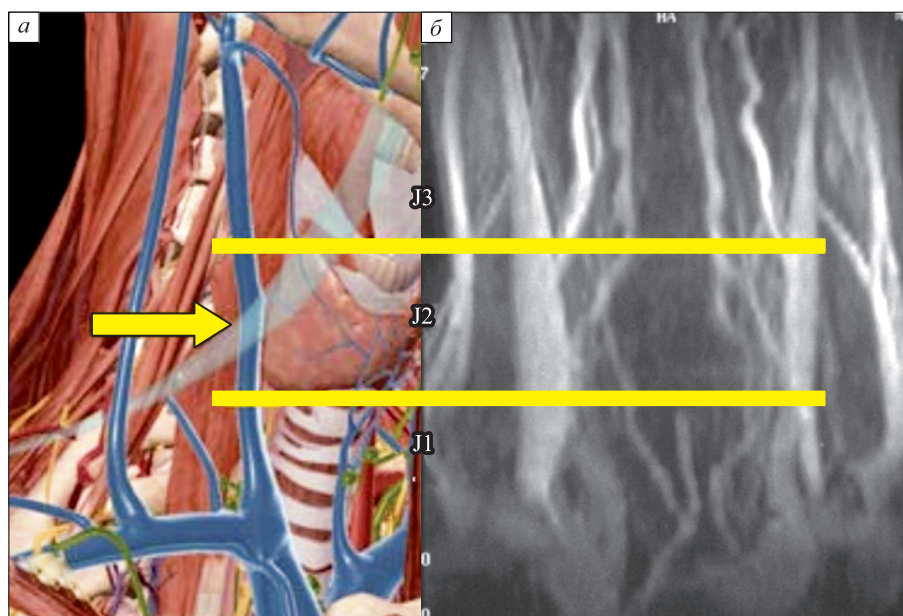


Рис. 1. Анатомические сегменты ВЯВ с внешними ориентирами на схематическом изображении (а) [9] (проксимальный сегмент J1 от слияния с подключичной веной до нижнего уровня щитовидной железы, средний сегмент J2 между нижним краем щитовидной железы до уровня бифуркации сонной артерии или перстневидного хряща (стрелкой указано место пересечения ВЯВ двубрюшной мышцей (представлена полупрозрачной)), дистальный сегмент J3 выше бифуркации сонной артерии до самой высокой точки при технической возможности визуализации) и на МР-венограмме в корональной проекции без визуализации внешних ориентиров (б)

Fig. 1. Anatomical segments of the internal jugular veins with external landmarks on a schematic image (a) [9] (proximal segment J1 from the confluence with the subclavian vein to the lower level of the thyroid gland, middle segment J2 between the lower edge of the thyroid gland to the level of the bifurcation of the carotid artery or cricoid cartilage (the arrow indicates the place of intersection of the IJV with the digastric muscle (shown as translucent), distal segment J3 above the bifurcation of the carotid artery to the highest point, if visualization is technically possible) and on an MR venogram in a coronal projection without visualization of external landmarks (b)

и ПА слева и справа). Данная формула является модифицированной версией нескольких вариантов такого рода расчетов, которые исходят из того, что нормальный суммарный по обеим сторонам ВАБ, оцененный у здоровых пациентов, при площади ВЯВ, превышающей площадь ОСА в 2–2,5 раза, может составлять от 65 до 85 % (в среднем 72,5 %) при средней скорости кровотока по ВЯВ от 1/3 до 1/2 от средней скорости кровотока по ОСА [11–13]. К сожалению, технически с помощью ультразвуковых методов в большинстве случаев не представляется возможным количественно измерить весь объем венозного церебрального оттока. С достаточной точностью может быть оценен кровоток по крупным сосудам: ОСА, ПА, ВЯВ. Площадь сечения артерий определяли либо обведением контура при УЗИ, либо по формуле $S = \pi \times r^2$. Для позвоночных вен (ПВ) такая оценка в большом количестве случаев затруднена различными вариантами анатомического строения (сплетение, футляр для ПА и т.д.). С помощью представленной формулы определялся вклад в отток венозной крови от головного мозга каждой

из ВЯВ в отдельности. При расчете общего вклада оттока по обеим ВЯВ показатели ВАБ каждой стороны суммировались.

МР-исследование вен шеи выполнялось на МР-томографах Magnetom OPEN и Magnetom Concerto (Siemens AG, Германия) с напряженностью поля 0,2 Т, а также Magnetom Avante (Siemens AG), Magnetom Sola (Siemens AG) и ExcelArt (Toshiba, Япония) 1,5 Т с использованием последовательностей время-пролетной (2DToF или 3DToF) ангиографии от основания черепа до уровня верхней полой вены с преднасыщением на область аорты для подавления сигнала артерий и последующей реконструкцией МР (проецирование максимальной интенсивности) полученных изображений.

Интенсивность МР-сигнала измерялась как на уровне средней трети шеи, так и на уровне стеноза (в месте стеноза и на противоположной стороне). На основании реконструированных в МР МР-венограмм шеи оценивалась общая картина развития венозной сети шеи, а также результат ее ремоделирования.

Результаты приведены как среднее арифметическое число и стандартное отклонение. Для проверки нормальности распределения использовали критерий Шапиро – Уилка. Различия между тремя и двумя независимыми выборками оценивали посредством критерия Краскала – Уоллиса и Манна – Уитни соответственно. Для количественной оценки связи между явлениями использовали коэффициент ранговой корреляции Спирмена. Нулевая гипотеза отвергалась при $p < 0,05$.

Результаты

В случаях односторонней наружной компрессии ВЯВ степень стенозирования в среднем составила 64,52 % (в диапазоне от 24,44 до 96,44 %). В соответствии с классификацией стеноза при наружной компрессии ВЯВ [14] степень стеноза в нашем исследовании соответствовала 1 grade (стеноз > 20 % и ≤ 80 %), 2 grade (> 80 %) и 3 grade (> 80 % + выраженные шейные венозные коллатерали). На уровне наибольшей компрессии поперечное сечение ВЯВ было представлено обычно в виде эллипса с большой разницей между малой и большой осями. В ряде случаев форма была щелевидной. Площадь поперечного сечения стенозированной ВЯВ в месте стеноза была в среднем в 6 раз меньше, а в стандартном месте (J2) – в 3 раза меньше, чем площадь противоположной ВЯВ (соответственно $0,25 \pm 0,22$, $0,54 \pm 0,46$ и $1,49 \pm 0,65$ см²). При МР-венографии (рис. 2) визуализирующийся кровоток в ВЯВ на уровне стеноза обрисовывал контур компримирующего агента со стороны компрессии как дефект наполнения с сохранением сигнала в просвете вены, что наблюдалось при стенозе ВЯВ до 50%-го уровня. При стенозе ВЯВ > 50 % происходило значительное снижение или потеря сигнала кровотока на уровне компрессии из-за очень низкой скорости и турбулентности. При стенозе > 80 % наблюдалось значимое увеличение площади поперечного сечения и сигнала кровотока не только контралатеральной ВЯВ, но также позвоночных вен и сплетений и других венозных коллекторов шеи (спинномозговых эпидуральных вен, наружных яремных вен, передних яремных вен, задних шейных и подкожных вен), появление коллатералей и шунтов между венами как проявление механизма компенсации венозного оттока из полости черепа. Снижение сигнала в области стеноза при МР-венографии в ВЯВ в большинстве случаев сочеталось с уменьшением скорости потока при УЗИ, что ранее в литературе отмечалось при выполнении фазово-контрастной МР-венографии [15], однако нами при использовании 2DToF- и

3DToF МР-венографии не получено достоверной корреляции этих параметров.

При односторонней обструкции ВЯВ выявлена определенная последовательность компенсаторного расширения коллатеральных путей оттока крови от головы (рис. 3). В подострый период отмечено расширение только контралатеральной ВЯВ. В большинстве случаев стеноза grade 1 и 2 визуализировались нерасширенные позвоночные вены и сплетения. При сохранении обструкции в хроническом периоде расширяется гомолатеральная наружная яремная вена и после – контралатеральная наружная яремная вена, далее (при стенозе grade 2 и 3) наблюдается усиление МР-сигнала и увеличение площади поперечного сечения позвоночных вен и сплетений, спинномозговых эпидуральных вен. Наибольшего развития венозные коллатерали и шунты достигают при двустороннем поражении внутренних яремных вен (в нашем исследовании в одном случае) с расширением также передних яремных и задних шейных вен.

Нами изучены показатели кровотока экстракраниальных сосудов в группе пациентов после перевязки или резекции одной из ВЯВ (в ходе операции на сонных артериях и по поводу туберкулезного процесса на уровне шеи) в сроки от двух недель до двух месяцев после оперативного вмешательства. Интерес к данной группе обусловлен тем, что такие случаи представляют модель унилатеральной окклюзии (100%-го стеноза) ВЯВ. Наблюдение начиналось вскоре после операции и продолжалось на протяжении 1,5–2 лет, вначале через 2 месяца, затем с полугодовой периодичностью проведения МР-венографии и УЗИ. В результате исследования отмечены те же процессы, что и при выраженной (> 80 %) односторонней обструкции ВЯВ (см. рис. 3). Также во всех случаях происходило перераспределение кровотока в интракраниальных венозных синусах, ведущее к снижению сигнала в проекции гомолатеральных поперечного и сигмовидного синусов. В той же последовательности происходило развитие коллатерального кровотока, сопровождающегося расширением вначале контралатеральной ВЯВ, затем гомо- и контралатеральной наружных яремных вен (в течение первых двух месяцев) и впоследствии значительным расширением позвоночных вен и сплетений (в течение первого полугодия), а также выраженное развитие и расширение межвенозных шунтов и спинномозговых эпидуральных вен преимущественно со стороны перевязки/резекции ВЯВ. Необходимо отметить, что только два (33 %) пациента имели клинику минимальной церебральной венозной недостаточности, что возможно было связано с

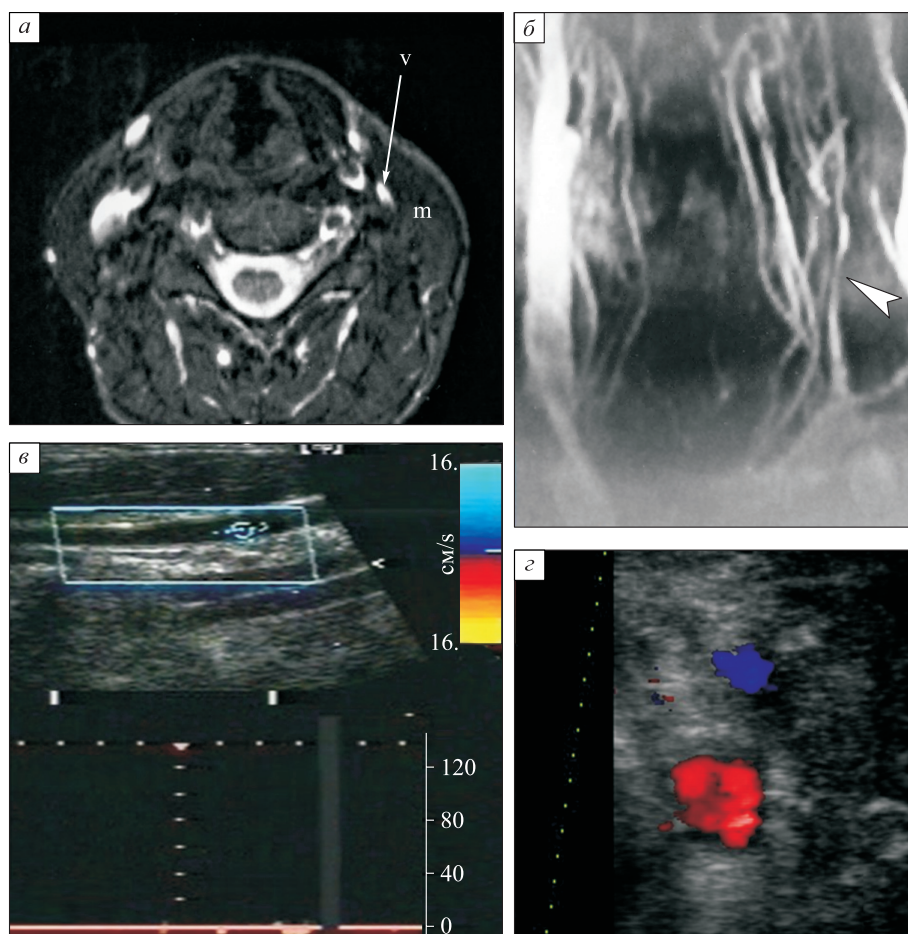


Рис. 2. Наружный стеноз левой ВЯВ гипертрофированной грудино-ключично-сосцевидной (кивательной) мышцей. а – на аксиальном «сыром» МР-срезе (белая стрелка указывает на компримированную ВЯВ, m – утолщенная кивательная мышца); б – на реконструированной в МIP МР-венограмме (белая стрелка указывает на компримированную ВЯВ, имеющую локальные сужения и расширения на протяжении), противоположная ВЯВ расширена; в – при продольном УЗИ просвет ВЯВ сужен, скорость кровотока на спектрограмме очень низкая; г – при поперечном УЗИ компримированная ВЯВ (кодирована синим цветом) значительно уменьшена в размерах

Fig. 2. Extrinsic stenosis of the left IJV by the hypertrophied sternocleidomastoid muscle. a – on the axial “raw” MR-section (the white arrow indicates the compressed IJV, “m” indicates the thickened sternocleidomastoid muscle); б – on the MIP-reconstructed MR-venogram (white arrow indicates a compressed IJV, which has local narrowing and expansion along the length, the opposite IJV is enlarged); в – with longitudinal ultrasound scanning, the lumen of the IJV is narrowed, the blood flow velocity on the spectrogram is very low; г – with transverse ultrasound scanning, the compressed IJV is significantly reduced in size (coded in blue)

психологическим превалированием для остальных большей важности ведущего диагноза.

Нередко, особенно при протяженной компрессии ВЯВ с одной стороны гипертрофированной кивательной мышцей, вена представлялась уменьшенной в поперечном сечении почти равномерно, лишь с небольшой разницей на протяжении, что в ряде случаев заставляло исследователей 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. Сочетание методик МР-венографии и УЗИ позволило во всех случаях уверенно визуализировать все участки ВЯВ (рис. 4) и исключить при гипоплазии наличие наружного компримирующего фактора. При УЗИ истинные размеры ВЯВ (для исключения гипоплазии) оцениваются при проведении пробы Вальсальвы. Характерным для МР-венографии было отсутствие участков снижения или потери сигнала потока, что свидетельствовало в пользу гипоплазии, а не наружной компрессии ВЯВ со стенозом. В девяти случаях гипоплазия ВЯВ сочеталась с гипоплазией ипси-

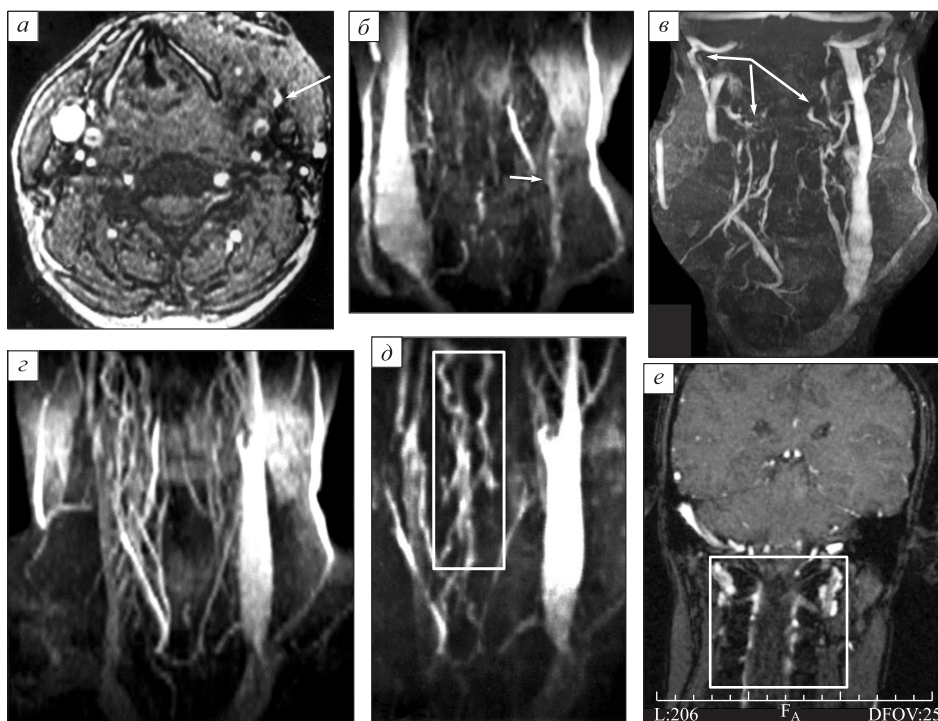


Рис. 3. Последовательность ремоделирования яремных и внеяремных венозных шейных коллекторов: на аксиальном «сыром» МР-срезе хорошо визуализируется компримирующий левую ВЯВ (тонкая черная стрелка) фактор – воспалительно измененные мягкие ткани шеи при флегмоне, правая ВЯВ на уровне J2 незначительно расширена (а); на корональной МIP МР-венограмме при левосторонней флегмоне шеи в подострый период сигнал в левой ВЯВ снижен, диаметр кровотока в ней уменьшен (белая стрелка), отмечается расширение левой наружной яремной вены и правой ВЯВ (б); на корональной МIP МР-венограмме через 2 недели после резекции правой ВЯВ визуализируется расширение позвоночных венозных сплетений, наличие венозного шунта между правым сигмовидным дуральным синусом и задней шейной веной (белые стрелки) (в); на корональной МIP МР-венограмме через 2 месяца после резекции правой ВЯВ отмечается расширение противоположной ВЯВ, позвоночных вен и сплетений с обеих сторон (г); на корональной МIP МР-венограмме через 6 месяцев после резекции правой ВЯВ наблюдается значительное расширение левой ВЯВ, позвоночных вен и сплетений, наружной яремной вены справа, а также спинномозговых эпидуральных вен (в белом прямоугольнике) (д); на корональном «сыром» МР-срезе в хроническом периоде выраженной обструкции ВЯВ визуализируется поток в расширенных позвоночных венозных сплетениях и спинномозговых эпидуральных венах (в белом прямоугольнике) (е)

Fig. 3. The sequence of remodeling of the jugular and extrajugular venous cervical collectors: on the axial “raw” MR-section, the compressing left IJV (thin black arrow) factor is well visualized – inflammatory changes in the soft tissues of the neck with phlegmon, the right IJV at the J2 level slightly enlarged (a); on the coronal MIP MR-venogram with left-sided phlegmon of the neck in the subacute period, the signal in the left IJV is reduced, the diameter of the blood flow signal in it is reduced (white arrow), there is an enlarged of the left external jugular vein and right IJV (б); on the coronal MIP MR venogram 2 weeks after resection of the right IJV, the enlarged of the vertebral venous plexuses is visualized, the presence of a venous shunt between the right sigmoid dural sinus and the posterior jugular vein (white arrows) (в); on the coronal MIP MR venogram, 2 months after resection of the right IJV, there is an enlarged of the opposite IJV, vertebral veins and venous plexuses on both sides; e) on the coronal MIP MR venogram 6 months after resection of the right IJV, there is a significant enlarged of the left IJV, vertebral veins and venous plexuses, external jugular vein on the right, spinal epidural veins (in white box) (г); on the coronal “raw” MR-section in the chronic period of severe obstruction of the IJV, the flow in the dilated vertebral venous plexuses and spinal epidural veins is visualized (in white box) (е)

латерального поперечного (выраженной в большей степени) и сигмовидного (в меньшей степени) дуральных венозных синусов.

Основным критерием ремоделирования церебральных вен на уровне шеи является изменение

площади ВЯВ (таблица). Так, в стандартном месте при УЗИ со стороны патологии/аномалии площадь ВЯВ статистически значимо различалась во все группах исследования, что может служить основанием для дифференциальной диагностики

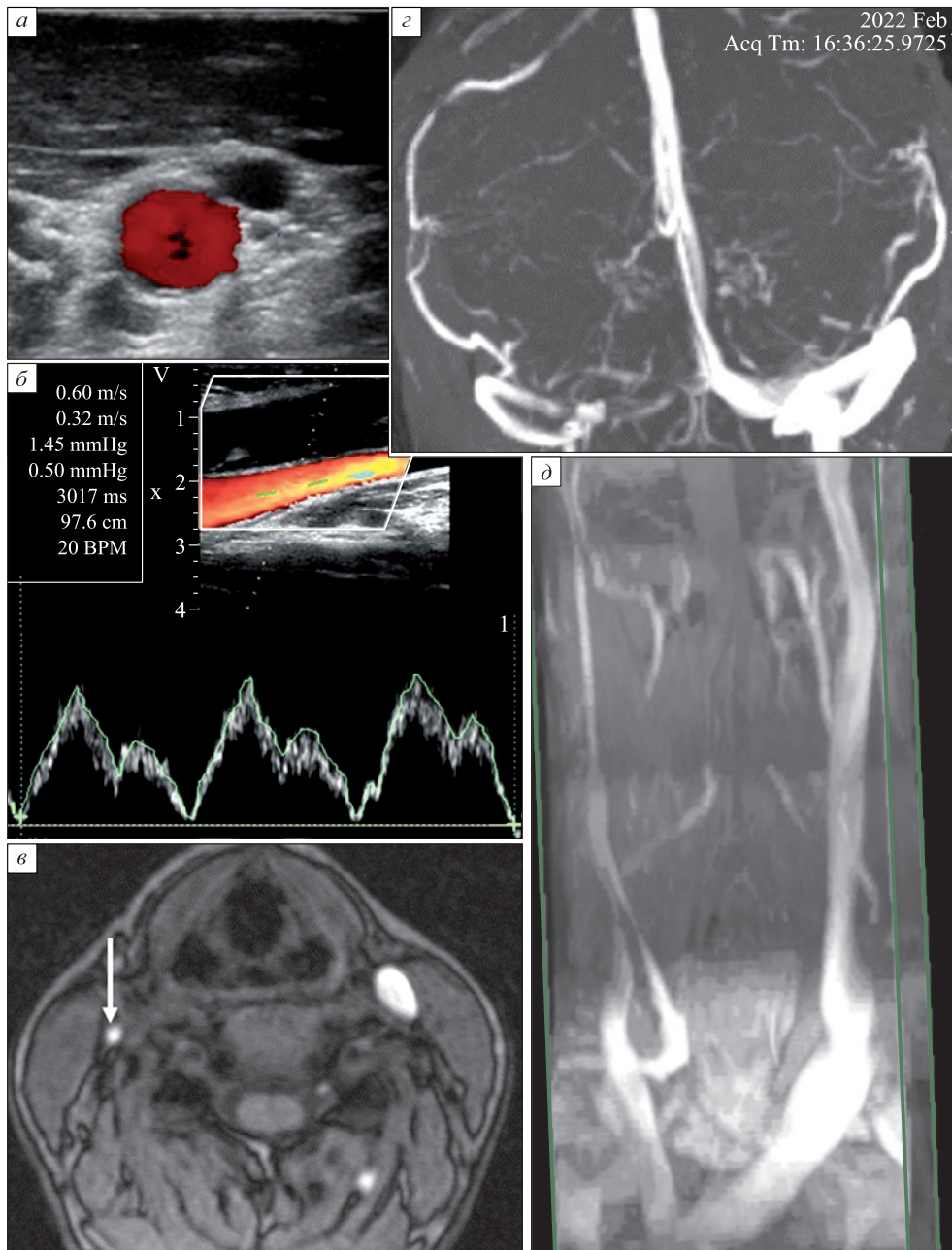


Рис. 4. Гипоплазия ВЯВ. а – на поперечном УЗ-срезе на уровне J2 площадь поперечного сечения ВЯВ значительно меньше площади ОСА; б – на продольной УЗ-веноспектрограмме гипоплазированной ВЯВ отмечаются ее маленький диаметр и слегка повышенная скорость кровотока; в – на аксиальном «сыром» МР-срезе правая гипоплазированная ВЯВ (белая стрелка) имеет очень маленькую площадь поперечного сечения округлой формы, компримирующие факторы отсутствуют; г, д – на «сшитой» корональной MIP МР-венограмме отмечается очень маленький диаметр потока крови правой ВЯВ, правых поперечного и сигмовидного дуральных синусов без расширения других венозных коллекторов шеи

Fig. 4. Hypoplasia of the IJV. а – on the transverse ultrasound section at the level of J2, the cross-sectional area of the IJV is significantly less than the cross-sectional area of the CCA; б – on the longitudinal ultrasound spectrogram of the hypoplastic IJV, its small diameter and slightly increased blood flow velocity are noted; в – on the axial “raw” MR-section, the right hypoplastic IJV (white arrow) has a very small rounded cross-sectional area, there are no compressing factors; г, д – the stitched coronal MIP MR venogram shows a very small blood flow signal diameter of the right IJV, right transverse and sigmoid dural sinuses without dilatation of other venous collectors of the neck

Региональные показатели гемодинамики ВЯВ при наружном компрессионном стенозе, односторонней гипоплазии, одностороннем удалении/перевязке и в контрольной группе

Regional hemodynamic parameters of the IJV in extrinsic stenosis, unilateral hypoplasia, unilateral ligation/resection and in the control group

Показатель	Наружный стеноз (1)	Гипоплазия (2)	Перевязка, удаление (3)	Контрольная группа (4)	<i>p</i>
$S_{\text{ВЯВ}}$ в стандартном месте со стороны поражения (справа в контрольной группе), см ²	0,54 ± 0,46	0,21 ± 0,12	0	0,84 ± 0,21	$p_{1-2} = 0,00000$ $p_{1-3} = 0,00007$ $p_{1-4} = 0,00000$ $p_{2-3} = 0,0001$ $p_{2-4} = 0,00000$ $p_{3-4} = 0,0001$
ЛСК _{уср. ВЯВ} в стандартном месте со стороны поражения (справа в контрольной группе), см/с	10,2 ± 11,67	27,82 ± 11,92	0	26,21 ± 6,53	$p_{1-2} = 0,00000$ $p_{1-3} = 0,00007$ $p_{1-4} = 0,00000$ $p_{2-3} = 0,0001$ $p_{2-4} = 0,99$ $p_{3-4} = 0,0001$
S контралатеральной ВЯВ в стандартном месте (слева в контрольной группе), см ²	1,49 ± 0,65	1,25 ± 0,78	2,48 ± 2,28	0,87 ± 0,33	$p_{1-2} = 0,056$ $p_{1-3} = 0,75$ $p_{1-4} = 0,00000$ $p_{2-3} = 0,21$ $p_{2-4} = 0,013$ $p_{3-4} = 0,052$
ЛСК _{уср. контралатеральной ВЯВ} в стандартном месте (слева в контрольной группе), см/с	20,32 ± 8,9	34,62 ± 12,23	24,73 ± 14,15	18,58 ± 4,52	$p_{1-2} = 0,00000$ $p_{1-3} = 0,48$ $p_{1-4} = 0,47$ $p_{2-3} = 0,13$ $p_{2-4} = 0,00000$ $p_{3-4} = 0,35$
ВАБ на стороне поражения (справа в контрольной группе), %	8,95 ± 7,58	8,88 ± 5,92	0	33,15 ± 8,27	$p_{1-2} = 0,704$ $p_{1-3} = 0,00007$ $p_{1-4} = 0,00000$ $p_{2-3} = 0,0001$ $p_{2-4} = 0,00000$ $p_{3-4} = 0,0001$
ВАБ контралатерально (слева в контрольной группе), %	54,51 ± 9,96	53,39 ± 13,40	67,24 ± 18,02	24,16 ± 8,06	$p_{1-2} = 0,84$ $p_{1-3} = 0,07$ $p_{1-4} = 0,00000$ $p_{2-3} = 0,06$ $p_{2-4} = 0,00000$ $p_{3-4} = 0,0001$
ВАБ суммарный, %	63,46 ± 5,87	62,28 ± 11,58	67,24 ± 18,02	57,32 ± 11,53	$p_{1-2} = 0,67$ $p_{1-3} = 0,6$ $p_{1-4} = 0,003$ $p_{2-3} = 0,59$ $p_{2-4} = 0,08$ $p_{3-4} = 0,18$

между нормой и патологией, между наружным компрессионным стенозом и гипоплазией ВЯВ.

Площадь ВЯВ в стандартном месте в случаях наружной компрессии при УЗИ составляла 0,12–3 см², при гипоплазии – 0,04–0,37 см² (см. таблицу). В сравнении с нормальными показателями (0,57–1,82 см²) изменения площади ВЯВ на стороне поражения/аномалии соответствуют отрица-

тельному ремоделированию [16]. Положительное ремоделирование [16] противоположной ВЯВ с достоверным увеличением ее площади при наружном стенозе (0,46–3,2 см²) и гипоплазии (0,3–3,7 см²) по сравнению с площадью правой ВЯВ в контрольной группе (0,58–1,81 см²) (см. таблицу) также свидетельствует о возможности использования данного критерия для вывода о наличии отклонения от нормы при УЗИ- или МР-исследованиях.

Усредненная по времени скорость кровотока в ВЯВ со стороны наружного стеноза (0,1–57 см/с) была достоверно меньше, чем на стороне гипоплазии (10–57,5 см/с) и в контрольной группе (14–39 см/с), тогда как между группой гипоплазии и контрольной статистически значимых различий не выявлено (см. таблицу). В отличие от артериального стеноза при подострой наружной обструкции ВЯВ в случае флегмоны шеи мы не наблюдали повышения скорости в месте сужения, что свидетельствует о перераспределении венозного оттока по другим венозным коллекторам шеи. При этом усредненная по времени скорость кровотока в контралатеральной ВЯВ достоверно различалась между группами наружного стеноза (6–51 см/с) и гипоплазии (9–50 см/с) и группами гипоплазии и контрольной группы (10–32 см/с) (см. таблицу). Таким образом, более высокая, чем при стенозе и даже в норме, скорость кровотока в уменьшенной по калибру ВЯВ может служить признаком компенсаторного перераспределения кровотока. Достоверных различий между другими группами не выявлено. Даже в группе резекции/перевязки ВЯВ скорость в противоположной вене (7,5–44,4 см/с) не отличалась от нормальной, что, учитывая отсутствие различий в площади поперечного сечения в этих группах, говорит, вероятно, о компенсации кровотока за счет внеаремных коллатералей (позвоночных вен и сплетений, венозных шунтов интра- и экстракраниального оттока).

Статистически значимая зависимость между уменьшением площади сечения стенозированной вены и увеличением площади ($r = 0,74, p < 0,05$) и скорости кровотока ВЯВ с противоположной стороны ($r = 0,71, p < 0,05$), а также уменьшением скорости потока в стенозированной вене и увеличением скорости ($r = 0,63, p < 0,05$) и площади ($r = -0,71, p < 0,05$) противоположной ВЯВ может также свидетельствовать о том, что эти изменения связаны между собой и представляют элементы ремоделирования венозной сети шеи и компенсации кровотока.

Отсутствовали достоверные различия ВАБ между группами гипоплазии (1,36–28,57 %) и стеноза (0,03–25,96 %) на стороне аномалии/патологии, тогда как все остальные группы статистически значимо различались (см. таблицу). ВАБ с противоположной стороны достоверно отличался во всех группах от контрольной. Суммарный ВАБ при унилатеральном нарушении оттока по ВЯВ был близок к его величине в контрольной группе и статистически значимо отличался от последнего лишь в группе наружного стеноза ВЯВ (см. таблицу).

Обсуждение

Такой патологический процесс, как наружный стеноз ВЯВ вследствие воздействия различных компримирующих агентов на уровне шеи, приводит к клинически выраженным проявлениям венозной дисциркуляции и венозной энцефалопатии [17, 18]. Роль гипоплазии ВЯВ в возникновении нарушений внутричерепного венозного оттока у пациентов с неврологическими расстройствами мало освещена в литературе. Критерии определения гипоплазии ВЯВ известны, но имеют различные отправные точки для оценки. Исследователи применяют для установления заключения о гипоплазии ВЯВ как четырехкратное уменьшение площади ВЯВ относительно площади контралатеральной вены [19], так и сравнение с ОСА. Считается, что в норме площадь поперечного сечения ВЯВ должна быть больше площади ОСА в 2–3 раза, а гипоплазированной можно считать ВЯВ, если в расправленном виде (при пробе Вальсальвы) ее площадь меньше площади поперечного сечения ОСА [11]. Нами в недавней публикации средняя площадь поперечного сечения гипоплазированной ВЯВ определена со значением $0,22 \pm 0,08 \text{ см}^2$ [20]. Если же площади поперечного сечения ВЯВ и ОСА равны, то ВЯВ считается малой (малого размера). Пациенты с гипоплазированной и малой ВЯВ имеют ограниченный резерв венозного оттока (узкий венозный гемодинамический диапазон) и при присоединении патологии контралатеральной вены (тромбоз, экстравазальная компрессия) могут клинически декомпенсироваться. Вену, противоположную гипоплазированной или малой ВЯВ, определяют как доминантную [11].

Использование в диагностике лишь локальных признаков, таких как площадь поперечного сечения в месте стеноза ВЯВ и ЛСК, ограничивает возможности правильного заключения о региональных изменениях, включающих критерии ремоделирования и изменения гемодинамики всей венозной сети шеи. Визуальная картина при УЗИ и МР-венографии шеи может быть очень схожей при наружном стенозе и гипоплазии, отличаясь лишь в деталях. Ремоделирование сосудов – это активный адаптивный процесс структурных изменений, включающий изменение диаметра сосуда с последующим изменением площади его поперечного сечения. Положительное ремоделирование – это компенсаторное расширение просвета сосуда, тогда как отрицательное ремоделирование приводит к уменьшению его площади [16].

Инструментами для нашего исследования были выбраны УЗИ и МР-венография шейного

уровня венозной сосудистой сети. С нашей точки зрения, такое сочетание в тандеме в клинической практике и научных исследованиях оптимально в плане доступности и безопасности [21]. Таким путем мы стремились избежать недостатков УЗИ при изучении уровней J1 и J3 ВЯВ [20], дополняя изучение параметров гемодинамики отрезков J2 и места стеноза общей картиной венозной сосудистой сети, получаемой при МР-венографии [4, 22, 23]. В нашем исследовании степень стенозирования при односторонней наружной компрессии ВЯВ в среднем составила 64,52 %, что сопоставимо со значением, полученным в другом исследовании, в котором он оценивался для левой и правой ВЯВ как 63,49 и 60,32 % соответственно [24], умеренным считался стеноз > 50 %, выраженным – более 80 % [19].

При учете региональных критериев (повышенная скорость и одинаково маленький калибр на всем протяжении гипоплазированной ВЯВ, сочетание с гипоплазией ипсилатерального поперечного синуса) [21] появляется возможность уверенного различения при МРТ гипоплазии ВЯВ и наружного компрессионного стеноза. В то же время для наружного стеноза ВЯВ (включая протяженный стеноз, с которым приходится дифференцировать гипоплазию) характерна очень низкая скорость кровотока в компретированной вене. При долго длящемся нарушении венозного оттока в условиях сужения ВЯВ, соответствующего стенозу 1 и 2 grade [14], формируются внеярремные пути оттока венозной крови, что позволяет классифицировать уже grade 3. Учитывая, что ПВ, как не основной по значению путь венозного церебрального дренажа, не может быть прецизионно оценен при УЗИ из-за разнообразности и анатомического строения, а изучение объемного кровотока без учета точных данных площади поперечного сечения невозможно, выполнение МР-венографии позволило нам получить картину оттока венозной крови от головного мозга в целом, с визуализацией как ярремных вен, так и внеярремных путей оттока [25, 26], развитие которых отражало механизмы компенсации венозного дренажа при его нарушениях [4].

Необходимо отметить, что ПВ в положении лежа хорошо визуализировались практически во всех случаях, включая контрольную группу. Это не совсем согласуется с мнением, что задние венозные структуры становятся очевидно значимыми только при вертикализации [27] или как последний механизм компенсации нарушений ярремного кровотока [6]. Кроме того, существует точка зрения, что несмотря на компенсаторное расширение вен позвоночного сплетения при выраженных нарушениях ярремного оттока, у таких

пациентов из-за ограниченности расширения в костном канале сохраняются клинические проявления нарушений венозного церебрального оттока [28]. Альтернативным путем оттока мозговой венозной крови считаются спинномозговые эпидуральные вены, которые мы визуализировали у пациентов с наружным стенозом grade 3 в горизонтальном положении. В литературе указаний на визуализацию этих сосудистых структур в горизонтальном положении тела нам не встретилось, имеет место описание их визуализации в вертикальном положении для компенсации прекращения кровотока по ярремным венам при двусторонней резекции ВЯВ [29]. Существуют данные, что поперечное сечение вен окольного русла в среднем на 12 % больше площади сечения обеих ВЯВ, но в 1/3 случаев площадь окольного оттока не превосходит суммарной площади ВЯВ [30].

Раздельный вклад ВЯВ, а также ПВ и других внеярремных путей церебрального венозного оттока являлся одним из пунктов нашего интереса. С этой целью во всех случаях был рассчитан ВАБ для каждой ВЯВ в отдельности, а также суммарный ВАБ с использованием параметров площади сечения, усредненной скорости кровотока ВЯВ, ОСА, ПА. В исследовании использована модифицированная формула ВАБ для оценки вклада каждой ВЯВ в объем оттока церебральной венозной крови в отдельности. Ранее исследователями при расчете подобных показателей использовались термины «артериовенозный баланс» [11], «показатель артериовенозного соотношения» [31]. Считается, что нормальные значения суммарного ВАБ составляют от 65 до 85 % [11, 12, 32], а при венозной энцефалопатии [12] или венозном инсульте вследствие церебрального венозного тромбоза [31] он составляет менее 50 %. Отсутствие в нашем исследовании достоверных различий ВАБ для ВЯВ в группах гипоплазии и стеноза (только около 9 %) на стороне аномалии/патологии при статистически значимых различиях во всех остальных группах не делает данный расчетный показатель инструментом дифференциальной диагностики этих двух состояний, но может служить хорошим дополнительным критерием аномалии или патологии венозного оттока.

ВАБ ВЯВ с противоположной стороны в нашем исследовании показал себя также хорошим подспорьем в определении наличия нарушений венозного оттока в принципе, так как выявлено достоверное отличие его величины во всех группах от значения контрольной группы. ВАБ справа в норме чуть больше, что связано с анатомо-физиологическими особенностями, а именно отсутствием изгибов сосудистого русла справа, в отличие от того, что слева при впадении ВЯВ

в безымянную вену и далее безымянной вены в верхнюю полую вену существуют изгибы, препятствующие прямому току крови. Суммарный же ВАБ (сумма вклада обеих ВЯВ в отток венозной крови от головного мозга) при унилатеральном нарушении оттока по ВЯВ и при гипоплазии, и при стенозе, и при перевязке/резекции ВЯВ был близок к значению контрольной группы и к данным другого исследования [12], что говорит о верности гипотезы сохранения венозно-артериального баланса со вкладом ВЯВ в отток, составляющим около 2/3 от всего оттока и суммарного притока крови. В нашем исследовании величина суммарного ВАБ в контрольной группе оказалась несколько ниже аналогичных показателей, ранее описанных в литературе [8, 11, 12], но тем не менее близкой к условным 2/3 общего интракраниального венозного оттока [6, 33] и согласующейся с нашим наблюдением почти обязательного присутствия вклада внеяремных путей оттока венозной крови от головы даже в горизонтальном положении тела.

Заключение

Наружный стеноз ВЯВ вследствие воздействия различных компримирующих факторов на уровне шеи приводит к клиническим проявлениям минимальной церебральной венозной недостаточности и венозной энцефалопатии. Визуальная картина при УЗИ и при МР-венографии вен шеи может быть очень сходна при наружном стенозе и гипоплазии, отличаясь лишь в деталях ремоделирования площади поперечного сечения ВЯВ и внеяремных путей оттока крови от головы, скоростных характеристик кровотока.

В группе наружной компрессии ВЯВ стеноз в среднем составил 64,52 %. Площадь поперечного сечения стенозированной ВЯВ в месте стеноза была в 6 раз меньше, а в стандартном месте (J2) – в 3 раза меньше, чем площадь противоположной ВЯВ. Гипоплазированная ВЯВ на всем протяжении (от J1 до J3) имеет одинаковую площадь поперечного сечения ($0,21 \pm 0,12 \text{ см}^2$), сходную с площадью при наружном стенозе, но ровные контуры, без локальных расширений или сужений. Характерна очень низкая скорость кровотока ($10,2 \pm 11,67 \text{ см/с}$), в отличие от скорости в гипоплазированной вене ($27,82 \pm 11,92 \text{ см/с}$) и контрольной группе ($26,21 \pm 6,53 \text{ см/с}$). Скорость кровотока в контралатеральной ВЯВ при наружном стенозе была нормальной ($20,32 \pm 8,9 \text{ см/с}$), при гипоплазии – повышенной ($34,62 \pm 12,23 \text{ см/с}$). При МР-венографии на уровне наружной компрессии ВЯВ вероятно обнаружение компримирующего агента, симптомов дефекта наполнения,

снижения или потери сигнала кровотока на уровне компрессии, а также оценка общей картины ремоделирования венозной сети шеи. Выявлена определенная последовательность компенсаторного расширения коллатеральных путей оттока крови от головы. Уменьшение площади ВЯВ на стороне поражения/аномалии соответствует отрицательному ремоделированию, расширение противоположной ВЯВ – положительному ремоделированию при условии отсутствия системной флебогипертензии или флебогипертензии в системе верхней полых вен. В большинстве случаев стеноза grade 1 и 2 была отмечена визуализация нерасширенных позвоночных вен и сплетений. При сохранении обструкции в хроническом периоде расширяется гомолатеральная и затем контралатеральная наружная яремная вена, далее (при стенозе grade 2 и 3) наблюдается усиление МР-сигнала и увеличение площади поперечного сечения позвоночных вен и сплетений, спинномозговых эпидуральных вен. Наибольшего развития венозные коллатерали и шунты с расширением также передних яремных и задних шейных вен достигают при двустороннем поражении внутренних яремных вен.

Суммарный ВАБ при унилатеральном нарушении оттока не отличался от нормальных значений, что близко к условным 2/3 общего интракраниального венозного оттока, и согласуется с присутствием вклада внеяремных путей оттока венозной крови от головы даже в горизонтальном положении тела. Не выявлено различий ВАБ на стороне аномалии/патологии при гипоплазии и стенозе (9 %), но его величина была меньше, чем для противоположной ВЯВ (соответственно $53,39 \pm 13,40$ и $67,24 \pm 18,02$ %) и контрольной группы ($24,16 \pm 8,06$ % слева и $33,15 \pm 8,27$ % справа), что делает этот показатель хорошим дополнительным критерием аномалии или патологии оттока по ВЯВ одной стороны.

Список литературы / References

1. 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
2. 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 stenosis of the brachiocephalic veins and clinical severity of cerebral venous stasis: Abstract of thesis ... cand. med. sci. Tomsk, 2013. [In Russian].

3. 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 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
4. 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
5. 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 venous cerebral circulation. *Klinicheskaya fiziologiya krovoobrashcheniya = Clinical Physiology of Circulation*. 2022;19(3):266–279. [In Russian]. doi: 10.24022/1814-6910-2022-1
6. 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].
7. Giani L., Corno S., Laganà M.M., Baglio F., Lovati C. Cerebral venous outflow in migraine. *Neurol. Sci.* 2019;40(Suppl 1):181–182. doi: 10.1007/s10072-019-03804-8
8. 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
9. de Sio S., Mandolesi S., Niglio T., D'Alessandro A., D'Alessandro A., Vitarelli A., Ricci S. Risk of jugular compression blocks in workers exposed to prolonged upright posture. *Ann. Ig.* 2016;28(3):227–232. doi: 10.7416/ai.2016.2101
10. 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
11. 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. Educational and methodological manual. Moscow, 2022. 78 p. [In Russian].
12. 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].
13. 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., Moldavskaya 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-sosudistykh zabolevaniy = Complex Issues of Cardiovascular Diseases*. 2019;8(3):104–115. [In Russian]. doi: 10.17802/2306-1278-2019-8-3-104-115
14. 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
15. İlhan Z., Açıkgozöğlü 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
16. Smolock E., Berk B.C. Vascular smooth muscle cell remodeling in atherosclerosis and restenosis. *Muscle*. 2012;2:1301–1109. doi: 10.1016/B978-0-12-381510-1.00098
17. Bateman G.A., Subramanian G.M., Yap S.L., Bateman A.R. The incidence of obesity, venous sinus stenosis and cerebral hyperaemia in children referred for MRI to rule out idiopathic intracranial hypertension at a tertiary referral hospital: a 10 year review. *Fluids Barriers CNS*. 2020;17(1):59. doi: 10.1186/s12987-020-00221-4
18. 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
19. Zhou D., Ding J.Y., Ya J.Y., Pan L.Q., Yan F., Yang Q., Ding Y.C., Ji X.M., Meng R. Understanding jugular venous outflow disturbance. *CNS Neurosci. Ther.* 2018;24(6):473–482. doi: 10.1111/cns.12859

20. Семенов С.Е., Бондарчук Д.В., Малков И.Н., Шатохина М.Г. Ультразвуковая и магнитно-резонансная семиотика компрессий и гипоплазии внутренних яремных вен. *Комплекс. пробл. серд.-сосуд. заболеваний*. 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 Cardiovascular Diseases*. 2023;12(1):72–83. [In Russian]. doi: 10.17802/2306-1278-2023-12-1-72-83
21. Chao A.C., Han K., Chang F.C., Hsu H.Y., Chung C.P., Sheng W.Y., Chan L., Wu J., Hu H.H. Ultrasound diagnosis of transverse sinus hypoplasia using flow profiles of the internal jugular vein. *PLoS One*. 2017;12(7):e0181119. doi: 10.1371/journal.pone.0181119
22. de Vis J.B., Lu H., Ravi H., Hendrikse J., Liu P. Spatial distribution of flow and oxygenation in the cerebral venous drainage system. *J. Magn. Reson. Imaging*. 2018;47(4):1091–1098. doi: 10.1002/jmri.25833
23. Paoletti M., Germani G., de Icco R., Astegiano C., Zamboni P., Bastianello S. Intra- and extracranial MR venography: technical notes, clinical application, and imaging development. *Behav. Neurol*. 2016;2016:2694504. doi: 10.1155/2016/2694504
24. 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):946–950. doi: 10.1016/j.avsg.2013.12.009
25. Doepp F., Schreiber S.J., von Münster T., Rademacher J., Klingebiel R., Valdeuza 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
26. Andeweg J. The anatomy of collateral venous flow from the brain and its value in aetiological interpretation of intracranial pathology. *Neuroradiology*. 1996;38(7):621–628. doi: 10.1007/s002340050321
27. Kosugi K., Yamada Y., Yamada M., Yokoyama Y., Fujiwara H., Yoshida K., Yoshida K., Toda M., Jinzaki M. Posture-induced changes in the vessels of the head and neck: evaluation using conventional supine CT and upright CT. *Sci. Rep*. 2020;10(1):16623. doi: 10.1038/s41598-020-73658-0
28. Шумилина М.В., Колесник Д.И. Влияние ортостатической пробы (или вертикализации) на кровоток по внутренним яремным и позвоночным венам. *Комплекс. пробл. серд.-сосуд. заболеваний*. 2023;12(1):39–48. doi: 10.17802/2306-1278-2023-12-1-39-48
- Shumilina M.V., Kolesnik D.I. The influence of orthostatic test (or verticalization) on the blood flow through the internal jugular and vertebral veins. *Kompleksnyye problemy serdechno-sosudistykh zabolevaniy = Complex Issues of Cardiovascular Diseases*. 2023;12(1):39–48. [In Russian]. doi: 10.17802/2306-1278-2023-12-1-39-48
29. Valdeuza J.M., Münster T., Hoffman O., Schreiber S., Einhüpl K. Postural dependency of the cerebral venous outflow. *Lancet*. 2000;355(9199):200–201. doi: 10.1016/s0140-6736(99)04804-7
30. Беков Д.Б. Атлас венозной системы головного мозга человека. М.: Медицина, 1965. 359 с.
- Bekov D.B. Atlas of the human cerebral venous system. Moscow: Meditsina, 1965. 359 p. [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. 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
33. 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].

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
Малков Иван Николаевич, ORCID: 0000-0001-7943-9937
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
Ivan N. Malkov, ORCID: 0000-0001-7943-9937
Maria G. Shatokhina, candidate of medical sciences, ORCID: 0000-0002-0485-4586

Поступила в редакцию 11.09.2023
 После доработки 09.10.2023
 Принята к публикации 05.11.2023

Received 11.09.2023
 Revision received 09.10.2023
 Accepted 05.11.2023