

<https://doi.org/10.24835/1607-0771-2021-1-50-64>

# Ультразвуковая диагностика и мониторинг каротидно-кавернозного соустья: краткий обзор литературы и клиническое наблюдение

А.О. Четкин, А.Р. Каршиева, И.А. Сеницын, Р.Н. Коновалов, Н.Х. Горст  
ФГБНУ “Научный центр неврологии”, г. Москва

В кратком обзоре литературы представлены основные классификации, клинические проявления и методы диагностики каротидно-кавернозных соустьев. Подробно рассматриваются прямые и косвенные критерии ультразвуковой диагностики прямых (высокоскоростных) и непрямых (низкоскоростных) каротидно-кавернозных соустьев. Представлено собственное клиническое наблюдение прямого высокоскоростного каротидно-кавернозного соустья у пациента 35 лет, которое сформировалось после черепно-мозговой травмы. При экстренной МР-ангиографии головного мозга признаки сосудистой патологии не выявлены. Через 1 мес после травмы пациент консультирован неврологом на фоне ухудшения клинической картины. При ультразвуковом исследовании определялись следующие признаки: увеличение диаметра правой внутренней сонной

артерии (6,4 мм против 5,1 мм с контрлатеральной стороны), повышение пиковой систолической скорости кровотока (105 см/с против 86 см/с с контрлатеральной стороны) на фоне уменьшения индекса резистентности (0,43 против 0,65 с контрлатеральной стороны); визуализация в области супраклиноидного сегмента правой внутренней сонной артерии мозаичной окраски сосудистого образования, площадь которого составила 3,5 см<sup>2</sup>; увеличение диаметра правой верхней глазной вены (3,3 мм против 1,9 мм с контрлатеральной стороны), артериализация и обратное направление кровотока. Диагноз подтвержден при магнитно-резонансной и дигитальной субтракционной ангиографии, после чего пациент был прооперирован. При ультразвуковом исследовании через 3 мес после операции патологические изменения в заинтересованных сосудистых

А.О. Четкин – д.м.н., заведующий лабораторией ультразвуковых исследований, главный научный сотрудник ФГБНУ “Научный центр неврологии”, г. Москва. <https://orcid.org/0000-0002-8726-8928>

А.Р. Каршиева – к.м.н., врач ультразвуковой диагностики лаборатории ультразвуковых исследований ФГБНУ “Научный центр неврологии”, г. Москва. <https://orcid.org/0000-0002-0274-9694>

И.А. Сеницын – врач по рентгенэндоваскулярной диагностике и лечению группы сосудистой и эндоваскулярной хирургии ФГБНУ “Научный центр неврологии”, г. Москва. <https://orcid.org/0000-0001-6862-6980>

Р.Н. Коновалов – к.м.н., старший научный сотрудник отделения лучевой диагностики ФГБНУ “Научный центр неврологии”, г. Москва. <https://orcid.org/0000-0001-5539-245X>

Н.Х. Горст – ординатор по специальности “неврология” ФГБНУ “Научный центр неврологии”, г. Москва. <https://orcid.org/0000-0001-8922-5764>

**Контактная информация:** 125367 г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 80, ФГБНУ “Научный центр неврологии”, лаборатория ультразвуковых исследований. Четкин Андрей Олегович. Тел.: +7 (495) 490-24-07. E-mail: [andreychechetkin@gmail.com](mailto:andreychechetkin@gmail.com)

структурах не выявлены. Клиническое наблюдение продемонстрировало пользу ранней ультразвуковой диагностики каротидно-кавернозного соустья и возможности мониторинга в послеоперационном периоде.

**Ключевые слова:** ультразвуковое исследование, транскраниальное дуплексное сканирование, каротидно-кавернозное соустье, прямое каротидно-кавернозное соустье, непрямое каротидно-кавернозное соустье, высокоскоростное каротидно-кавернозное соустье, низкоскоростное каротидно-кавернозное соустье, верхняя глазная вена.

**Цитирование:** Четкин А.О., Каршиева А.Р., Сеницын И.А., Коновалов Р.Н., Горст Н.Х. Ультразвуковая диагностика и мониторинг каротидно-кавернозного соустья: краткий обзор литературы и клиническое наблюдение. Ультразвуковая и функциональная диагностика. 2021; 1: 50–64. <https://doi.org/10.24835/1607-0771-2021-1-50-64>

Каротидно-кавернозное соустье (фистула, свищ, шунт) (ККС) – это редкая и серьезная патология, обусловленная аномальной связью между артериальной системой сонных артерий и кавернозным синусом (КС), при которой артериальная кровь сбрасывается в венозную систему. ККС составляют 10–15% всех внутричерепных артерио-венозных шунтов [1]. Анатомическими предпосылками к формированию сосудистых аномалий в этом регионе являются залегание участка внутренней сонной артерии (ВСА) в ограниченной ригидными стенками полости синуса, уязвимость стенки артерии в связи с истончением мышечного слоя и эластического каркаса, извилистый ход пещеристого сегмента артерии (условия для гидравлического удара по ее стенке) и отхождение от нее нескольких ветвей на относительно коротком участке [2].

Это расстройство может либо возникать спонтанно, либо иметь посттравматическое происхождение. Примерно в 75% случаев причиной ККС является черепно-мозговая травма. Травматические причины, как правило, затрагивают молодых пациентов

мужского пола, в то время как спонтанные причины обычно встречаются у пожилых пациенток женского пола. Существуют предрасполагающие факторы, которые могут способствовать формированию спонтанных ККС, такие как разрыв аневризм кавернозного сегмента ВСА, генетические нарушения (синдром Элерса–Данло, фибромышечная дисплазия). У пациентов с дефектами артериальной стенки беременность, гипертония, незначительная травма и коллагеновые сосудистые заболевания могут стать завершающим этапом, ведущим к разрыву сосуда и образованию свища [3]. Отдельно стоит проблема ККС ятрогенной природы, возникающих при эндоскопической хирургии синуса, трансфеноидальной хирургии гипофиза, тригеминальном баллонном микрокомпрессионном ганглиолизе, перфорации менингогипофизарного ствола при эмболизации менингиомы [4].

ККС могут быть классифицированы по анатомии, этиологии и гемодинамической картине. Анатомически ККС можно разделить на 2 категории: прямые и не прямые. При прямых свищах развивается прямой шунт между внутрикавернозной частью ВСА и КС. Они, как правило, посттравматические или возникают в результате спонтанного разрыва аневризмы этой же локализации. Прямые шунты характеризуются высокоскоростным кровотоком. Непрямые ККС, также известные как дуральные шунты, представляют собой соединения между мелкими менингеальными (дуральными) ветвями ВСА или наружной сонной артерии (НСА) и КС. Непрямые шунты характеризуются низкими скоростями кровотока и, как правило, возникают спонтанно у пожилых пациентов с системной гипертонией и атеросклерозом [5]. Наиболее широко принятой классификацией является анатомическая классификация, предложенная D.L. Varrow et al. [6], которая основана на ангиографических данных и делит свищи на 4 типа. Тип А – это прямой высокоскоростной шунт между ВСА и КС. Тип В – это дуральный шунт между менингеальными ветвями ВСА и КС. Тип С – это дуральный шунт между менингеальными ветвями НСА и КС. Тип D – дуральный шунт между менингеальными ветвями ВСА и НСА и КС. Последний является наиболее распространенной формой не прямых

фистул. Типы В, С и D относятся к низкоскоростным [6].

Клиническая картина заболевания определяется типом КСС, скоростью кровотока в шунте и преимущественным направлением дренирования крови [2, 7–9]. Прямая связь между ВСА и КС обычно проявляется в виде глазного синдрома, обусловленного затруднением венозного оттока из орбиты. Глазной синдром включает пульсирующий экзофтальм, орбитальную боль, конъюнктивальный хемоз, обычно односторонний шум в голове (синхронен пульсу, дующий, часто напоминающий шум паровоза, нередко мучительно переносимый больными), диплопию, офтальмоплегия и во многих случаях повышение внутриглазного давления со снижением или даже потерей зрения. Именно прогрессивное и динамичное развитие последних двух пунктов требует незамедлительного оперативного вмешательства [2, 7]. Следует отметить, что пульсирующий шум отчетливо определяется аускультативно над глазницей, височной областью и сосцевидным отростком [7, 8]. Характерной особенностью является уменьшение выраженности шума при пережатии общей сонной артерии со стороны соустья [7]. Если передний дренаж, осуществляемый через верхние (ВГВ) и нижние глазные вены, вызывает глазные симптомы, то задний дренаж, наоборот, сопровождается минимальными орбитальными признаками, параличом черепных нервов и головной болью. Пациенты с задним кортикальным венозным дренажем подвержены риску внутричерепного кровоизлияния, судорог, прогрессирующего неврологического дефицита, внутричерепной гипертензии и деменции [9]. С гемодинамической точки зрения низкоскоростные шунты имеют более скрытое начало клинических проявлений. Клиническая картина относительно мягче, чем при высокоскоростном соустье. Низкоскоростные шунты, как правило, являются диагностически сложными, поскольку они развиваются в течение более длительного периода времени и, как правило, не имеют явной причины в истории болезни [10].

Как правило, первыми и впоследствии лидирующими проявлениями ККС являются нарушения со стороны органа зрения. Они могут быть довольно яркими, однако установление диагноза на этапе клиниче-

ского осмотра неправомерно. Даже типичный односторонний экзофтальм не является патогномичным симптомом ККС. При его наличии следует проводить дифференциальную диагностику между ККС и опухолями орбиты, гемобластомами с поражением орбитальной области, саркоидозом орбиты, орбитальными кистами, эндокринным экзофтальмом, а также другими сосудистыми аномалиями заинтересованного региона (например, варикозное расширение вен орбиты). Другие симптомы являются еще менее надежными и специфичными. К тому же при непрямых ККС клиническая картина зачастую остается стертой, поэтому частота ложных диагнозов в отсутствие адекватной инструментальной диагностики остается высокой [7].

Обычно при ККС отмечается постепенное прогрессирование заболевания, нарастание гемодинамических и трофических изменений, в первую очередь в орбите и головном мозге. Прогноз спонтанного течения заболевания при ККС неблагоприятен. Выздоровление при спонтанном тромбозе соустья отмечают лишь в 5–10% наблюдений, 10–15% больных умирают от внутричерепного или носового кровотечения, 50–60% – устанавливают инвалидность в связи с утратой зрения и психическими нарушениями [11]. Таким образом, своевременная и точная диагностика ККС имеет большое значение. Это позволяет избежать необратимых осложнений от задержки лечения.

При подозрении на КСС используются такие методы диагностики, как ультразвуковое исследование, компьютерная томография (КТ), КТ-ангиография, магнитно-резонансная томография (МРТ), МР-ангиография и цифровая (дигитальная) субтракционная ангиография (ДСА). Безусловно, ДСА является самым точным методом определения патологического соустья, позволяющим описать его расположение, анатомию, классифицировать по типам и определить закономерности дренирования крови из КС. Однако ДСА является технически сложной инвазивной процедурой, требует госпитализации и подвергает пациентов воздействию ионизирующего излучения, а также имеет потенциальный риск перипроцедурных осложнений, включая инсульт с постоянной инвалидизацией или летальный исход в 0,2–0,5% случаев [9, 12].

КТ и МРТ при ККС выявляют асимметричное контрастное усиление КС и окружающей венозной системы, расширение ВГВ, экзофтальм, повышенный сигнал орбитальной жировой клетчатки, утолщение экстраокулярных мышц. Кроме того, МРТ может демонстрировать выпадение сигнала движущейся жидкости (феномен “пустоты потока”) в пораженном КС и наличие тромбов в ВГВ [3]. КТ-ангиография и МР-ангиография обычно являются первыми методами подтверждения диагноза и принятия решения о последующей ДСА.

В исследовании С.С. Chen et al. [13] проводилось сравнение методик КТ-ангиографии, МР-ангиографии и ДСА (“золотой стандарт”) в диагностике ККС. В исследовании вошли 53 пациента, у которых при ДСА были найдены 54 фистулы. При КТ-ангиографии были диагностированы 54 (100,0%) фистулы, при МР-ангиографии – 50 (92,6%). Результаты МР-ангиографии оказались достоверно хуже КТ-ангиографии ( $P = 0,001$ ) в выявляемости ККС по критериям “локализация” и “размеры”. Однако МР-ангиография продемонстрировала приемлемые результаты, поскольку в 80,0% (40 из 50) случаев способность определения локализации и размеров ККС была оценена как умеренная или хорошая [13].

Тем не менее ограничения КТ-ангиографии и МР-ангиографии представлены потенциальным риском введения контрастного препарата, невозможностью выполнения исследований при тяжелой нефропатии и отсутствием гемодинамической информации. Кроме того, КТ-ангиография обеспечивает значительную дозу облучения, а МР-ангиография не может быть выполнена у пациентов с кардиостимуляторами [1]. Эти методики менее чувствительны в диагностике тонких изменений, вызванных непрямыми свищами, что связано с невозможностью оценить скорость и направление кровотока. Поэтому отрицательное заключение все еще не является окончательным [3]. В этой связи встает вопрос о дополнительных информативных методиках диагностики, которые могут использоваться на этапе скрининга. Ультразвуковое исследование имеет определенные преимущества перед другими способами ангиовизуализации при подозрении на ККС, так как явля-

ется неинвазивным, быстрым, экономически эффективным и динамическим методом, может повторяться так часто, как это необходимо, а также не требует введения контрастных препаратов. Дуплексное сканирование (ДС) экстракраниального отдела брахиоцефальных артерий и транскраниальное ДС (ТКДС) артерий и вен – это обычно первые методы исследования, которые назначает врач при подозрении на сосудистую патологию головного мозга. Анализ литературы показал, что сообщений, посвященных ультразвуковой диагностике ККС, в мире не так много и они единичны в отечественной литературе, поэтому данной методике мы уделили особое внимание.

Первые успешные попытки ультразвуковой визуализации ККС были предприняты в 90-х годах XX века [5, 14–20]. Основная идея первых сообщений заключалась в том, что ультразвуковое исследование позволяет визуализировать непосредственно ККС; определять гемодинамические характеристики свища и вовлеченных в патологический процесс сосудов; может быть использовано для динамического наблюдения, в том числе в послеоперационном периоде. Проведенные более поздние работы расширили полученные знания, что позволило выделить прямые и косвенные признаки ККС, определить чувствительность и специфичность ультразвукового исследования [1, 3, 5, 9, 10, 21–24]. Таким образом, на сегодняшний день описаны следующие прямые и косвенные ультразвуковые признаки ККС.

#### 1) Прямые признаки [3, 21–23]

Прямые признаки связаны с непосредственной визуализацией ККС. При ТКДС артерий на глубине примерно 7 см в области супраклиноидного сегмента ВСА и КС в режиме цветового доплеровского картирования (ЦДК) визуализируется округлое сосудистое образование, характеризующееся наличием высокоскоростного турбулентного (мозаичного) кровотока, площадь сечения которого существенно превышает площадь сечения нормального (контралатерального) соответствующего сегмента ВСА [3, 21–23]. При компрессии гомолатеральной общей сонной артерии (проба Матаса) этот признак уменьшается или исчезает. Важно правильно настроить усиление цвета

в режиме ЦДК, так как чрезмерное усиление может вызвать избыточное прокрашивание сосудистой структуры. При импульсноволевой доплерографии в этой области регистрируется разнонаправленный, чаще высокоскоростной, низкорезистентный, синхронизированный с сердечным циклом кровотока. Направление, форма и скорость кровотока меняются в зависимости от места установки контрольного объема. Максимальная скорость кровотока в проекции ККС колеблется от 65 до 190 см/с. При выполнении теста с компрессией гомолатеральной общей сонной артерии скорость кровотока резко снижается, при декомпрессии быстро возвращается к первоначальному уровню, несколько превышая исходные (до компрессии) скоростные величины кровотока первые несколько сердечных циклов [22].

Известно, что анатомически КС представляют собой парные структуры, расположенные латерально по обе стороны от турецкого седла. По данным S.M. Constantin et al. [3], они имеют следующие приблизительные размеры: передне-задний – 2,0 см, вертикальный – 1,3 см и поперечный – 1,0 см. Y. Duan et al. [22] при ультразвуковом исследовании 33 пациентов с ангиографически подтвержденными ККС и 46 добровольцев выяснили, что площадь поперечного сечения образований (ККС), определенных в режиме ЦДК, была значительно больше, чем в соответствующем сегменте ВСА с непораженной стороны или в группе контроля (1,7–5,2 см<sup>2</sup> против 0,2–0,5 см<sup>2</sup>,  $P < 0,01$ ). Для получения изображения поперечного сечения дистального сегмента ВСА и КС при ТКДС через темпоральное окно после получения хорошего изображения артерий виллизиева круга из аксиального среза необходимо слегка наклонить ультразвуковой датчик вниз. В обычной ситуации это небольшое округлое симметричное сосудистое образование, которое определяется в режиме ЦДК по обеим сторонам от гиперэхогенного сигнала переднего крыла клиновидной кости [22].

## *2) Непрямые (косвенные) признаки [1, 3, 5, 9, 21, 22, 24]*

Непрямые признаки делятся на артериальные и венозные. Артериальные представлены в режиме импульсноволевой

доплерографии снижением индексов периферического сопротивления (индекс резистентности (resistive index (RI)) и пульсационный индекс (pulsatility index)) и увеличением объемного кровотока в приносящем отделе заинтересованной ВСА и (или) НСА с возможным увеличением линейной скорости кровотока при достаточно большом размере фистулы. Однако выраженность гемодинамических изменений в сонных артериях зависит от типа и размера ККС [21–23]. H.J. Lin et al. [5] считают снижение RI более ранним и более чувствительным показателем кровотока, чем изменение скорости кровотока. При большом объеме шунтирования может сформироваться внутричерепной феномен обкрадывания, при котором скорость кровотока в средней мозговой, передней мозговой и глазной артериях на пораженной стороне снижается. Компенсаторно за счет функционирования передней соединительной или задней соединительной артерии скорость кровотока может увеличиваться, а индексы сопротивления уменьшаться в передней мозговой артерии на здоровой стороне и задней мозговой артерии со стороны соустья [22].

Венозные непрямые признаки выглядят следующим образом: визуализация через орбитальное окно расширенной ВГВ на стороне поражения (вследствие повышения в ней давления и отсутствия клапанов) с ретроградным кровотоком, который характеризуется артериализацией с высокой скоростью и низкой резистентностью [1, 3, 9, 21, 22, 24]. Следует отметить, что в случае не прямых низкоскоростных свищей ВГВ может не расширяться. Через субокципитальное окно может визуализироваться расширенное базилярное сплетение [21]. Для исследования сосудов орбиты используют линейной датчик, который устанавливается на закрытые веки, при этом пациент должен смотреть вниз. В этом случае хрусталик глаза не препятствует проникновению ультразвукового луча. ВГВ и глазная артерия визуализируются позади глазного яблока медиальнее зрительного нерва, представленного гипозоногенной трубчатой структурой. В норме ВГВ в режиме ЦДК характеризуется кровотоком, направленным от датчика (синий цвет при стандартной маркировке направления кровотока), в режиме импульсноволевой доплерогра-

фии – непрерывным венозным спектром кровотока. Это ее отличает от рядом идущей глазной артерии, характеризующейся направлением кровотока к датчику (красный цвет при стандартной маркировке направления кровотока) и типичным артериальным спектром кровотока с повышенным периферическим сопротивлением (обычно  $RI > 0,7$ ) [1].

При наличии прямых и косвенных признаков КСС диагностируется прямое соустье (тип А по классификации D.L. Varrow et al. [6]). При наличии косвенных признаков и отсутствии или малой выраженности прямых признаков диагностируются непрямые ККС (типы В, С и D по классификации D.L. Varrow et al. [6]) [3, 21].

Y.W. Chen et al. [21] подчеркивают высокую значимость обнаружения аневризмы ВСА с помощью ультразвукового исследования в случае сосуществования аневризмы и ККС. Аневризма ВСА, как правило, располагается дистальнее ККС, поэтому при ангиографии КС заполняется контрастным препаратом раньше, чем аневризма, тем самым маскируя ее наличие и оставляя ее незамеченной. Хотя такие случаи редки, их нельзя игнорировать, поскольку потенциальный разрыв нераспознанной аневризмы чреват тяжелыми клиническими последствиями. Если ККС сочетается с аневризмой в супраклиноидном сегменте ВСА, то чаще выявляются следующие признаки ее наличия в режиме ЦДК: овальная сосудистая структура, разделенная на две части с разнонаправленным кровотоком, между которыми располагается тонкая полоса, в которой кровоток не определяется [21].

С учетом того, что наиболее явные и постоянные изменения при ККС отмечаются в орбитальных сосудах (в частности, ВГВ), встал закономерный вопрос о ценности ультразвукового исследования сосудов орбиты в качестве диагностического инструмента первой линии при подозрении на ККС. M. Venturini et al. [1] проведено исследование, посвященное оценке информативности ультразвукового исследования сосудов орбиты при ККС с преимущественно передним сбросом. В исследование были включены данные 22 пациентов с подозрением на ККС, основанным на наличии офтальмологических симптомов. Методикой сравне-

ния (“золотой стандарт”) служила ДСА. Диагноз при ультразвуковом исследовании ставился на основании наличия как минимум трех из четырех критериев, относящихся к ВГВ на стороне поражения: увеличение диаметра  $>2$  мм, обратное направление кровотока, артериализация кровотока,  $RI < 0,5$ . Ультразвуковое исследование сосудов орбиты обладает 100%-ными чувствительностью, специфичностью, предсказательной ценностью положительного и отрицательного тестов в диагностике ККС с преимущественно передним сбросом. Ограничениями исследования были небольшой размер выборки и особенности дизайна (одноцентровое, ретроспективное) [1].

В более позднем исследовании A. Srinivasan et al. [9] проанализировали результаты ультразвукового исследования сосудов орбиты у 37 пациентов с 43 предполагаемыми ККС без тромбоза в сравнении с данными КТ и МРТ головного мозга (при использовании ДСА в роли “золотого стандарта”). Ультразвуковое исследование сосудов орбиты обладает высокой чувствительностью (96,8%), существенно превышающей таковую для КТ и МРТ (44,0 и 57,9% соответственно), но самой низкой из рассматриваемых методик специфичностью (41,7% против 60,0 и 71,4% соответственно). Возможно, это объясняется тем, что большинство пациентов (90,3%) в представленном исследовании имели непрямые ККС при ангиографии (типы В, С и D по классификации D.L. Varrow et al. [6]), которые хуже диагностируются при КТ и МРТ головного мозга. Наиболее распространенной находкой при ККС со стороны ВГВ на стороне поражения была артериализация кровотока (83,7%), за которой следовали увеличенный диаметр сосуда (78,3%) и ретроградное направление потока крови (75,6%) [9]. Это помогает дифференцировать ККС и некоторые другие заболевания, такие как болезнь Грейвса, синдром Толоса–Ханта, опухоли орбиты и тромбоз ВГВ. Однако кровоток в ВГВ при этих заболеваниях не характеризуется артериализацией и имеет физиологическое направление [22]. Ультразвуковое исследование сосудов орбиты играет очень важную роль в дифференциальной диагностике между ККС и тромбозом ВГВ. В последнем случае вена расширена, но кровоток в ней не регистрируется [20].

Как и любой метод, ультразвуковое исследование имеет свои ограничения в диагностике ККС: 1) отсутствие или неудовлетворительное качество темпоральных ультразвуковых окон; 2) низкий класс прибора; 3) значительная зависимость от опыта и знаний врача, проводящего ультразвуковое обследование; 4) невозможность точно различить типы непрямых ККС, когда изменения в гемодинамических параметрах не столь очевидны [5, 20].

Ультразвуковая диагностика является полезным инструментом не только диагностики ККС, но и оценки эффективности хирургического лечения или спонтанной эмболизации [3, 8, 20, 22]. Вместо повторных ангиографических методов для мониторинга клинического течения ККС ультразвуковое исследование может быть использовано без дополнительных рисков для пациента и с меньшими затратами. Известно, что примерно 50% дуральных шунтов КС спонтанно тромбируются, поэтому в ряде случаев нет необходимости проходить инвазивные или дорогостоящие диагностические мероприятия и выполнять оперативное лечение низкоскоростных ККС, поскольку пациенты с такими видами шунтов имеют больше шансов на спонтанное разрешение [10].

В самом крупном российском наблюдении [25], включавшем 358 пациентов, оперированных по поводу прямых ККС, было показано, что рецидивы соустьев после трансартериального баллонного разобщения ККС в раннем послеоперационном периоде развиваются у 10,3% больных и связаны с уменьшением объема или смещением баллонов в КС, что потребовало проведения повторных вмешательств. Тотального разобщения соустья удается достичь в 92,3% случаев, субтотального – 3,6%, частичного – 4,1%. В отдаленном периоде могут наблюдаться последствия, связанные с формированием ложных аневризм ВСА в КС и пазухе основной кости (10,3%). Все это обуславливает необходимость тщательного послеоперационного мониторинга [25].

В ряде работ [8, 10, 22] были продемонстрированы достоверные изменения гемодинамических показателей (снижение скорости кровотока и увеличение RI) в заинтересованной ВСА после успешного хирургического разобщения ККС. При оценке данных ТКДС артерий и ультразвукового ис-

следования сосудов орбиты признаками полной эмболизации являются: отсутствие визуализации сосудистого образования с мозаичным кровотоком в режиме ЦДК в пораженной области КС, возвращение параметров кровотока к нормальным в кавернозном сегменте ВСА при импульсно-волновой доплерографии, а также отсутствие изменений кровотока в ВГВ на стороне поражения. Частичная эмболизация подразумевает уменьшение площади сосудистого образования с мозаичным кровотоком в режиме ЦДК и снижение скорости кровотока в пораженном участке при сохранности турбулентности [8, 10, 22].

Ниже мы приводим описание клинического наблюдения больного с прогрессирующим прямым ККС, у которого на момент ультразвукового исследования не было типичных глазных симптомов заболевания. На данном примере продемонстрировано большое значение ультразвукового исследования на этапе диагностики и при последующем динамическом наблюдении после хирургического лечения фистулы.

### КЛИНИЧЕСКОЕ НАБЛЮДЕНИЕ

Пациент У. (мужчина в возрасте 35 лет) обратился за консультацией в ФГБНУ “Научный центр неврологии” (г. Москва) с жалобами на пульсирующий шум в голове справа, головную боль, искажение зрения, общую заторможенность, быструю утомляемость, вялость, сонливость, головокружение, пошатывание при ходьбе.

При опросе и анализе медицинских документов стало известно, что месяц назад после дорожно-транспортного происшествия пациент получил черепно-мозговую травму с получасовой утратой сознания. За медицинской помощью обратился на следующий день и был госпитализирован в ГБУЗ г. Москвы “Городская клиническая больница имени С.С. Юдина ДЗ г. Москвы”, где ему выполнены МРТ головного мозга с выявлением признаков ушиба правой височной доли и минимального субарахноидального кровоизлияния и МР-ангиография, не выявившая патологических изменений интракраниальных сосудов. Через 10 дней после травмы при КТ головного мозга обнаружены признаки контузионных изменений правой височной и теменной об-

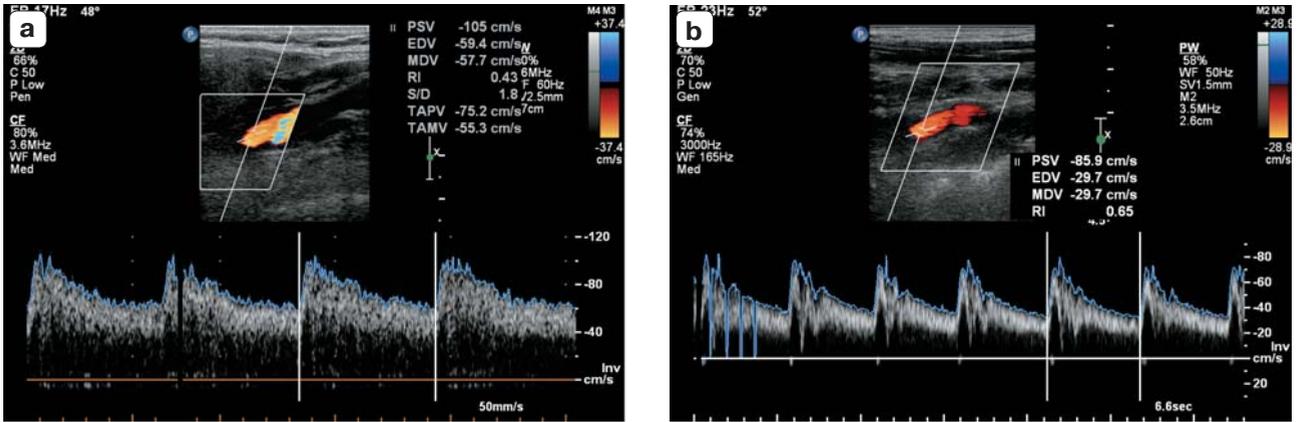


Рис. 1. ДС экстракраниального отдела брахиоцефальных артерий. Спектры кровотока в правой (а) и левой (б) ВСА.

Fig. 1. Right (a) and left (b) internal carotid artery spectral waveforms.

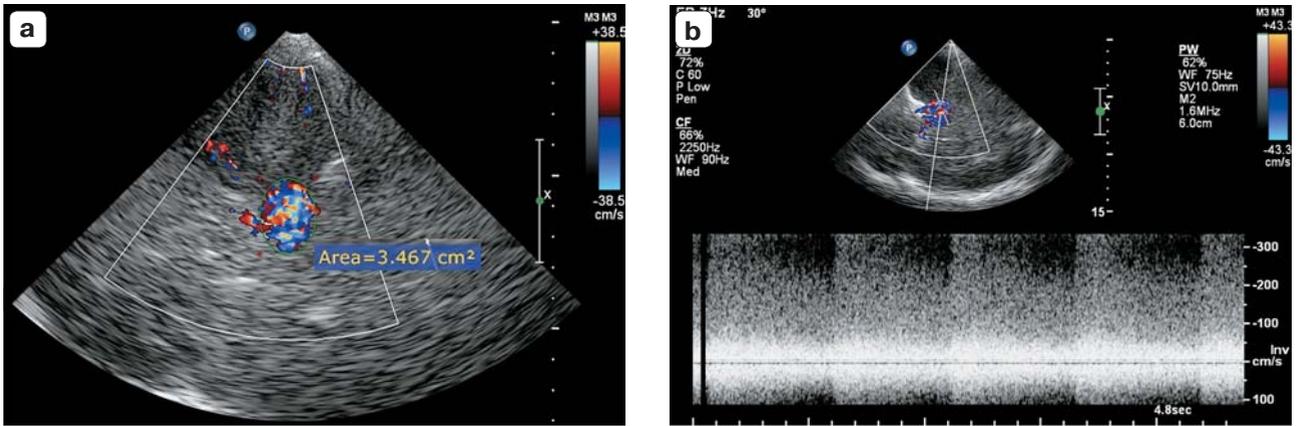
ластей, субарахноидальное кровоизлияние, переломы теменной кости, клиновидной кости, латеральной стенки орбиты слева.

Осмотр невролога в нашем центре не выявил патологической неврологической симптоматики. Был поставлен предварительный диагноз “Закрытая черепно-мозговая травма: ушиб правой височно-теменной области с локальным субарахноидальным кровоизлиянием. Переломы костей черепа” и было рекомендовано проведение ультразвукового исследования сосудов головы и шеи.

Ультразвуковое исследование проводилось на аппарате iU22 (Philips, Нидерланды). При исследовании экстракраниального отдела брахиоцефальных артерий и сосудов орбиты использовали линейный датчик с частотой 3,0–9,0 МГц, для ТКДС артерий и вен – фазированный секторный датчик с частотой 1,0–5,0 МГц.

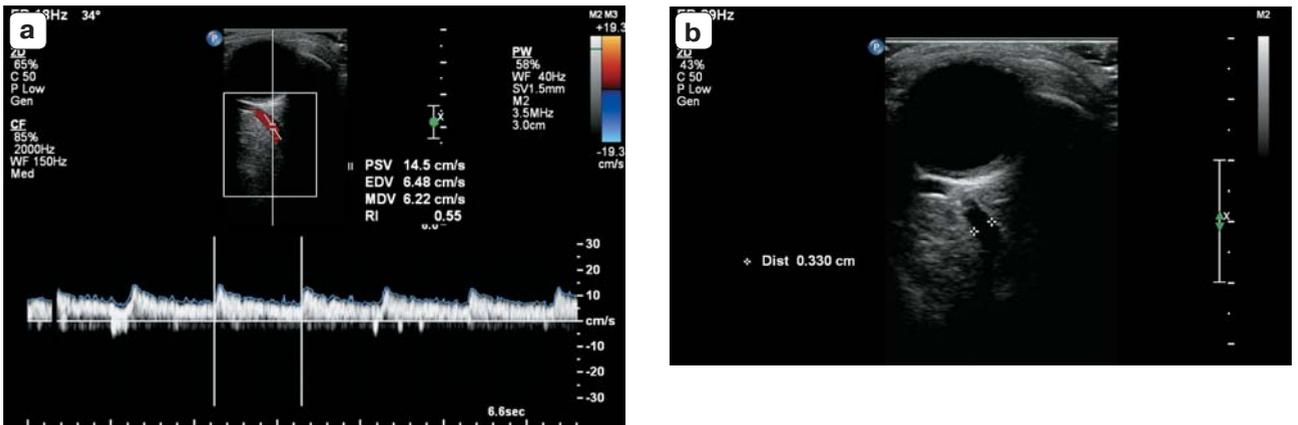
При ДС экстракраниального отдела брахиоцефальных артерий была выявлена полная проходимость исследуемых сосудов. Однако отмечалось повышение линейной и объемной скоростей кровотока со снижением периферического сопротивления в правой ВСА и небольшим увеличением ее диаметра по сравнению с контрлатеральной ВСА. В правой ВСА диаметр – 6,4 мм, пиковая систолическая скорость кровотока – 105 см/с, объемная скорость кровотока – 1 061 мл/мин, RI – 0,43. В левой ВСА диаметр – 5,1 мм, пиковая систолическая скорость кровотока – 86 см/с, объемная скорость кровотока – 367 мл/мин, RI – 0,65

(рис. 1). Это указывало на сброс артериальной крови в интракраниальном отделе правой ВСА в венозную систему. При ТКДС артерий через правый транстемпоральный доступ в режиме ЦДК в области супраклиноидного сегмента ВСА визуализировалось мозаичной окраски сосудистое образование, площадь которого составила 3,5 см<sup>2</sup>. При импульсно-волновой доплерографии в образовании регистрировался двунаправленный, разноскоростной кровотоков (максимальная скорость от 80 до 350 см/с) со значительной турбулентностью (рис. 2). При трансорбитальном сканировании определялась расширенная до 3,3 мм ВГВ, кровотоков в которой характеризовался ретроградным направлением и артериализацией (пиковая систолическая скорость кровотока – 15 см/с, конечная диастолическая скорость кровотока – 6 см/с, RI – 0,55). Левая ВГВ характеризовалась нормальным диаметром (1,9 мм), максимальной скоростью 5 см/с, физиологическим направлением и типичной формой спектра (рис. 3). По остальным интракраниальным артериям, включая глазные артерии, гемодинамических изменений выявлено не было. Полученные при ультразвуковом исследовании данные указывали на наличие у пациента артерио-венозной мальформации в области каротидного синуса правой ВСА (вероятнее всего, ККС). Было рекомендовано проведение повторной МР-ангиографии сосудов головного мозга, так как исследование месячной давности не выявило никаких патологических сосудистых изменений (рис. 4а). При



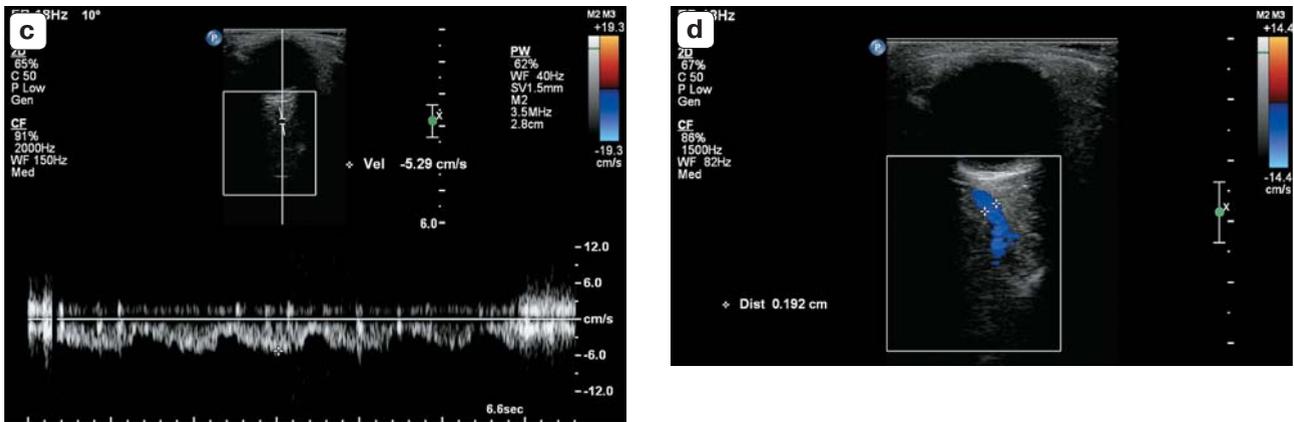
**Рис. 2.** ТКДС артерий через правый транстемпоральный доступ. ККС площадью 3,5 см<sup>2</sup> (а) визуализируется как округлое мозаичной окраски сосудистое образование в проекции супраклиноидной части ВСА. b, c – двунаправленный турбулентный кровоток в области ККС со скоростными показателями разной величины.

**Fig. 2.** Transcranial Doppler examination of carotid-cavernous fistula through transtemporal window. a – abnormal mosaic flow in the right cavernous sinus area. b, c – carotid-cavernous fistula spectral waveforms demonstrate different velocity.



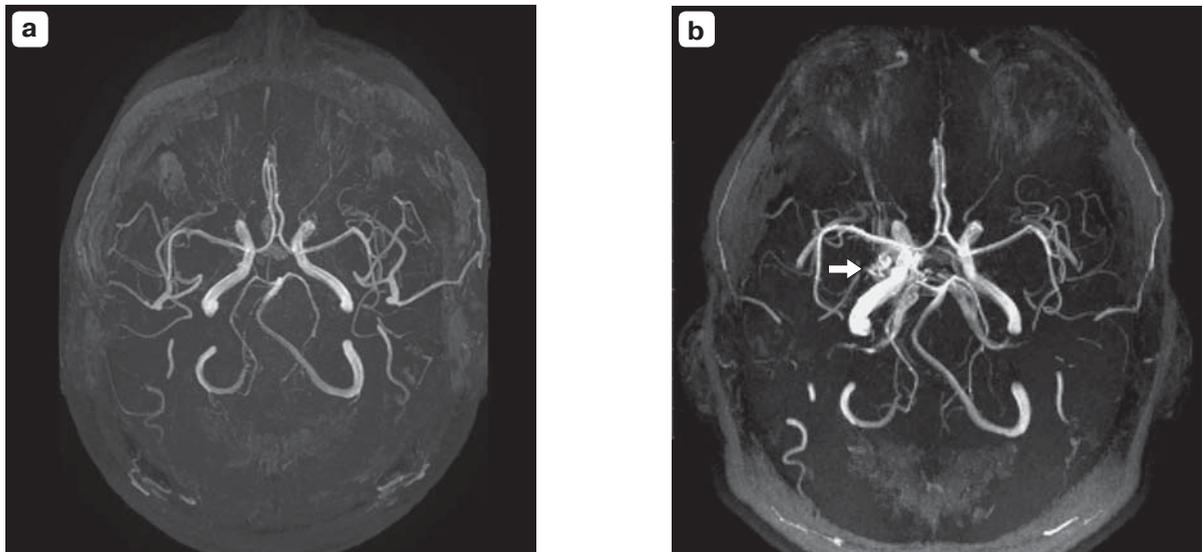
**Рис. 3.** Ультразвуковое исследование сосудов орбиты через трансорбитальный доступ. Ретроградный (направленный к датчику) кровоток с признаками артериализации (а) в расширенной (b) правой верхней глазной вене.

**Fig. 3.** Orbital Doppler ultrasound examination through transorbital window. Inversion of flow direction with flow arterialization (a) in dilated (b) right superior ophthalmic vein.



**Рис. 3 (окончание).** Антеградный (направленный от датчика) кровоток (с) в левой ВГВ нормального диаметра (d).

**Fig. 3 (end).** Physiological flow direction (c) in normal caliber (d) left superior ophthalmic vein.



**Рис. 4.** 3D TOF МР-ангиография сосудов головного мозга. а – визуализация интракраниальных артерий на 2-й день после черепно-мозговой травмы. Сосуды не изменены. b – ККС справа (стрелка) через месяц после черепно-мозговой травмы.

**Fig. 4.** 3D time-of-flight magnetic resonance angiography. a – normal intracranial artery imaging 2 days after traumatic brain injury. b – carotid-cavernous fistula (arrow) 1 month after traumatic brain injury.

динамической 3D TOF МР-ангиографии сосудов головного мозга, проведенной на следующий день, отмечался сброс артериальной крови в правый КС и синус основания мозга с расширением правой ВГВ (рис. 4б), что подтверждало ККС справа.

С учетом ультразвуковых и МР-ангиографических находок невролог направил пациента на консультацию к эндоваскулярному хирургу для решения вопроса о проведении оперативного вмешательства. Через неделю пациент отметил отечность и

пульсацию правого глаза, а еще через 2 дня – опущение правого века. Через 11 дней после МР-ангиографии произведена ДСА, при которой в кавернозном сегменте правой ВСА имелся патологический артерио-венозный сброс в КС (ККС). Также при ДСА выявлены расширение КС, рефлюкс в глазные вены, рефлюкс в контрлатеральную сторону, частичный тромбоз нижнего каменистого синуса (рис. 5). К моменту проведения операции (через 25 дней от момента ультразвукового исследования)



**Рис. 5.** ДСА сосудов головного мозга, боковая проекция. 1 – ККС справа в области кавернозного сегмента ВСА, 2 – расширенная ВГВ с оттоком через расширенную лицевую вену. Раннее контрастирование венозной системы в артериальную фазу.

**Fig. 5.** Intracranial digital subtraction angiography, lateral view. 1 – right carotid-cavernous fistula, 2 – dilated right superior ophthalmic vein with drainage via dilated facial vein. Arterial angiographic phase.



**Рис. 6.** Внешний вид правого глаза пациента с прямым ККС. а – перед операцией, б – через 3 мес после операции.

**Fig. 6.** Patient right eye before (a) and after (b) operation.

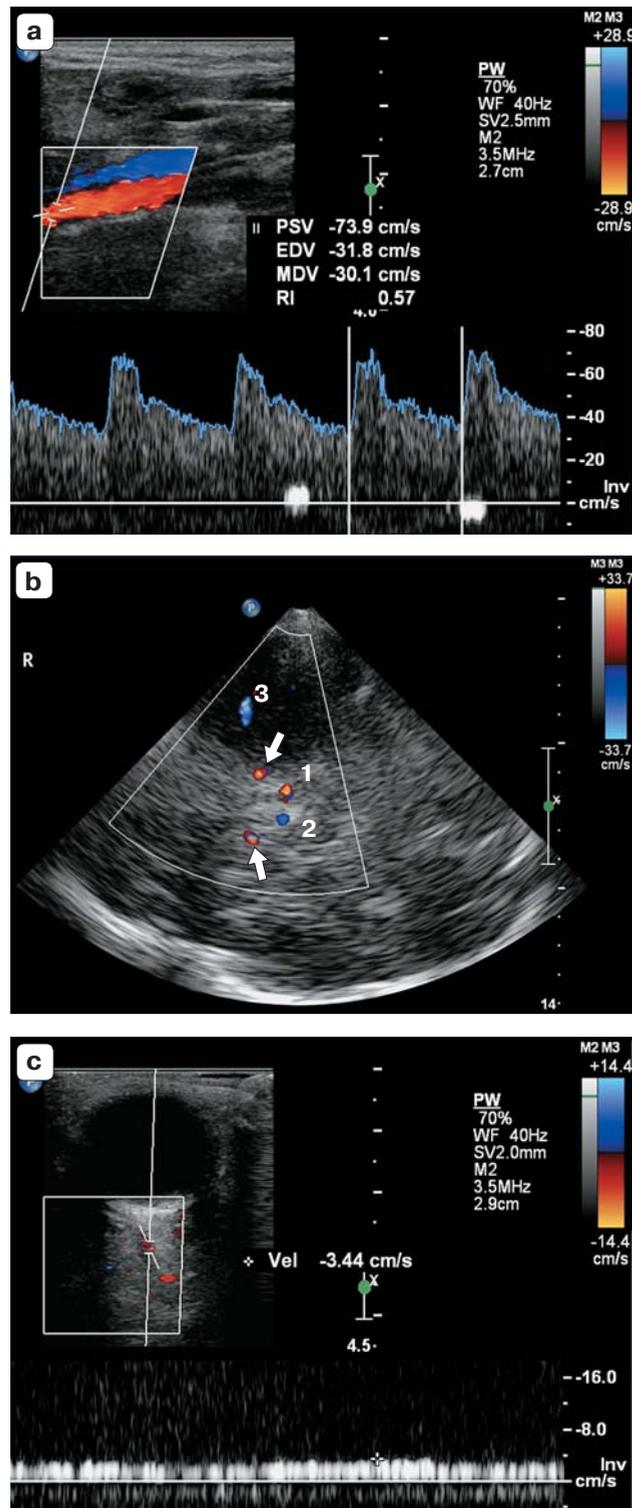
у пациента прогрессировала клиническая симптоматика заболевания: появились выраженный пульсирующий экзофтальм, диплопия, птоз и хемоз конъюнктивы, вывернулось нижнее веко с травматической эрозией (рис. 6а), определялись офтальмоплегия и выраженный болевой синдром по типу невралгии тройничного нерва. В ФГБУ “Национальный медико-хирургический центр имени Н.И. Пирогова” Министерства здравоохранения Российской Федерации выполнена эндоваскулярная операция: стент-ассистированная эмболизация ККС.

Через 3 мес после операции на момент проведения контрольного ультразвукового исследования пациент отмечает небольшое снижение остроты зрения на правый глаз. Внешне орбитальная область справа не отличается от левой стороны (рис. 6б). При ДС экстракраниального отдела брахиоцефальных артерий отмечалось уменьшение диаметра правой ВСА до 5,0 мм с нормализацией скоростных показателей кровотока и периферического сопротивления (пиковая систолическая скорость кровотока – 74 см/с, объемная скорость кровотока – 376 мл/мин, RI – 0,57) (рис. 7а). При ТКДС артерий и вен в режиме ЦДК прежде выявляемое справа патологическое сосудистое образование отсутствовало. На уровне КС с двух сторон ВСА в супраклиноидном сегменте визуализировались в виде небольших симметричных по размеру округлых образований (рис. 7б). При ультразвуковом исследовании сосудов орбиты в правой ВГВ отмечены исчезновение артериализации кровотока с восстановлением его направления, снижение максимальной скорости до 3 см/с и уменьшение диаметра до 1,8 мм (рис. 7в).

Таким образом, наше клиническое наблюдение пациента с прямым ККС наглядно показало значение ультразвукового исследования сосудов, кровоснабжающих головной мозг. Это позволило на ранней стадии заболевания при незначительной выраженности клинических симптомов своевременно направить диагностику в нужное русло и способствовало уменьшению сроков до проведения операции. Кроме того, ультразвуковое исследование показало себя как превосходный метод контроля восстановления гемодинамических параметров крово-

**Рис. 7.** Послеоперационное ультразвуковое исследование вовлеченных в патологический процесс сосудов (через 3 мес после операции). а – при ДС экстракраниального отдела брахиоцефальных артерий в правой ВСА снижение пиковой систолической скорости кровотока и повышение периферического сопротивления до нормальных значений. б – при ТКДС артерий через правый транстемпоральный доступ визуализация дистальной части ВСА на уровне КС. С двух сторон ВСА определяются в виде небольших по размеру симметричных округлых сосудистых образований (стрелки). 1 – правая задняя мозговая артерия в сегменте P1, 2 – левая задняя мозговая артерия в сегменте P1, 3 – дистальный отдел правой средней мозговой артерии в сегменте M1. с – при ультразвуковом исследовании сосудов орбиты через трансорбитальный доступ в правой ВГВ исчезновение артериализации кровотока с восстановлением его направления и нормализация скорости кровотока.

**Fig. 7.** Postoperative Doppler ultrasound examination (3 months after stent-assisted embolization of carotid-cavernous fistula). a – peak systolic velocity decreasing and RI increasing in the right internal carotid artery. b – symmetric little round intracranial internal carotid arteries (arrows). 1 – right posterior cerebral artery (P1 segment), 2 – left posterior cerebral artery (P1 segment), 3 – right middle cerebral artery (M1 segment). c – flow direction and spectral waveform normalization with velocity decreasing in right superior ophthalmic vein.



тока в вовлеченных в патологический процесс сосудах после выполнения эндоваскулярного вмешательства.

В заключение хотелось бы еще раз отметить, что ультразвуковое исследование является неинвазивным, недорогим, простым, быстрым и достаточно информативным методом диагностики, способным в режиме реального времени на основании прямых и косвенных признаков получить информацию о наличии у пациента ККС и предположить его анатомический тип. Ультразвуковое исследование помогает отследить естественное течение ККС, планировать дальнейшие диагностические процедуры и лечение, оценивать эффективность хирургического лечения или спонтанной эмболизации. Более детальное знание врачами ультразвуковой и функциональной диагностики типов и особенностей ККС должно помочь в ведении пациентов с этой редкой, но серьезной по последствиям сосудистой патологией.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Venturini M., Cristel G., Marzoli S.B., Simionato F., Agostini G., Barboni P., De Cobelli F., Falini A., Bandello F., Del Maschio A. Orbital color Doppler ultrasound as noninvasive tool in the diagnosis of anterior-draining carotid-cavernous fistula. *Radiol. Med.* 2016; 121 (4): 301–307. <https://dx.doi.org/10.1007/s11547-015-0607-0>
- Арифджанов Ш.Х., Захидов А.Я., Мубарков Ш.Р. Эндоваскулярное лечение каротидно-кавернозного соустья с применением стент-графта. *Вестник экстренной медицины.* 2015; 1: 82–84.
- Constantin S.M., Ionescu M., Antochi F., Iana G. The utility of Doppler ultrasonography in carotid-cavernous fistulas. In: ECR 2018, Vienna, Austria, 28 February – 4 March 2018, poster no. C-1201, pp. 1–27. <https://dx.doi.org/10.1594/ecr2018/C-1201>
- Шпеков А.С., Махамбетов Е.Т., Бердиходжаев М.С., Смагулов Ф.Х., Калиев А.Б., Байжигитов Б.Б., Есмуханов И.М. Особенности хирургического лечения каротидно-кавернозных фистул. *Нейрохирургия и неврология Казахстана.* 2013; 3 (32): 23–26.
- Lin H.J., Yip P.K., Liu H.M., Hwang B.S., Chen R.C. Noninvasive hemodynamic classification of carotid-cavernous sinus fistulas by duplex carotid sonography. *J. Ultrasound Med.* 1994; 13 (2): 105–113. <https://dx.doi.org/10.7863/jum.1994.13.2.105>
- Barrow D.L., Spector R.H., Braun I.F., Landman J.A., Tindall S.C., Tindall G.T. Classification and treatment of spontaneous carotid-cavernous sinus fistulas. *J. Neurosurg.* 1985; 62 (2): 248–256. <https://dx.doi.org/10.3171/jns.1985.62.2.0248>
- Барсуков С.Ф. Синдром кавернозного синуса в аспекте дифференциальной диагностики заболеваний орбиты и близлежащих анатомических структур головного мозга и черепа. *Анналы клинической и экспериментальной неврологии.* 2009; 3 (2): 31–36.
- Пятикоп В.А., Котляревский Ю.А., Кутовой И.А., Сергиенко Ю.Г., Пшеничный А.А., Набойченко А.Г., Тесленко Д.С., Генкин А.В. Эндоваскулярное лечение артериовенозных соустьев в области пещеристого синуса. *Украинский нейрохирургический журнал.* 2014; 1: 42–46.
- Srinivasan A., Biro N.G., Murchison A.P., Sergott R.C., Moster M.L., Jabbour P.M., Bilyk J.R. Efficacy of orbital color Doppler imaging and neuroimaging in the diagnosis of carotid cavernous fistulas. *Ophthalmic Plast. Reconstr. Surg.* 2017; 33 (5): 340–344. <https://dx.doi.org/10.1097/IOP.0000000000000781>
- Kilic T., Elmaci I., Bayri Y., Pamir M.N., Erzen C. Value of transcranial Doppler ultrasonography in the diagnosis and follow-up of carotid-cavernous fistulae. *Acta Neurochir. (Wien).* 2001; 143 (12): 1257–1264. <https://dx.doi.org/10.1007/s007010100022>
- Щеглов Д.В., Завгородний В.Н. Эндоваскулярное лечение каротидно-кавернозных соустьев (собственный опыт). *Эндоваскулярная нейроинтервенционная хирургия.* 2013; 294: 51–60.
- Cloft H.J., Joseph G.J., Dion J.E. Risk of cerebral angiography in patients with subarachnoid hemorrhage, cerebral aneurysm, and arteriovenous malformation: a meta-analysis. *Stroke.* 1999; 30 (2): 317–320. <https://dx.doi.org/10.1161/01.str.30.2.317>
- Chen C.C., Chang P.C., Shy C.G., Chen W.S., Hung H.C. CT angiography and MR angiography in the evaluation of carotid cavernous sinus fistula prior to embolization: a comparison of techniques. *AJNR Am. J. Neuroradiol.* 2005; 26 (9): 2349–2356.
- Kotval P.S., Weitzner I. Jr., Tenner M.S. Diagnosis of carotid-cavernous fistula by periorbital color Doppler imaging and pulsed Doppler volume flow analysis. *J. Ultrasound Med.* 1990; 9 (2): 101–106. <https://dx.doi.org/10.7863/jum.1990.9.2.101>
- Flaharty P.M., Lieb W.E., Sergott R.C., Bosley T.M., Savino P.J. Color Doppler imaging. A new noninvasive technique to diagnose and monitor carotid cavernous sinus fistulas. *Arch. Ophthalmol.* 1991; 109 (4): 522–526. <https://dx.doi.org/10.1001/archophth.1991.01080040090035>
- Muttaqin Z., Arita K., Uozumi T., Kuwabara S., Oki S., Ohba S., Kurisu K., Nakahara T., Kohno H., Satoh H. Transcranial Doppler sonography in carotid-cavernous fistulas: analysis of five cases. *Surg. Neurol.* 1992; 38 (3): 179–185. [https://dx.doi.org/10.1016/0090-3019\(92\)90167-1](https://dx.doi.org/10.1016/0090-3019(92)90167-1)
- Wu Z., Yang H. Color Doppler imaging in the diagnosis and follow-up of carotid cavernous sinus fistulas. *Yan Ke Xue Bao.* 1993; 9 (3): 153–157.
- Zhao Y., Duan Y., Cao T. Application of transcranial color Doppler flow imaging in the carotid cavernous sinus fistulae. *Zhonghua Yi Xue Za Zhi.* 1995; 75 (3): 141–143, 189 (in Chinese)
- Chen Y.W., Jeng J.S., Liu H.M., Yip P.K., Hwang B.S., Lin W.H., Chang Y.C., Tu Y.K. Diagnosis and follow-up of carotid-cavernous fistu-

- las by carotid duplex sonography and transcranial color Doppler imaging. *Ultrasound Med. Biol.* 1996; 22 (9): 1155–1162. [https://dx.doi.org/10.1016/s0301-5629\(96\)00152-4](https://dx.doi.org/10.1016/s0301-5629(96)00152-4)
20. Costa V.P., Molnar L.J., Cerri G.G. Diagnosing and monitoring carotid cavernous fistulas with color Doppler imaging. *J. Clin. Ultrasound.* 1997; 25 (8): 448–452. [https://dx.doi.org/10.1002/\(sici\)1097-0096\(199710\)25:8<448::aid-jcu7>3.0.co;2-j](https://dx.doi.org/10.1002/(sici)1097-0096(199710)25:8<448::aid-jcu7>3.0.co;2-j)
  21. Chen Y.W., Jeng J.S., Liu H.M., Hwang B.S., Lin W.H., Yip P.K. Carotid and transcranial color-coded duplex sonography in different types of carotid-cavernous fistula. *Stroke.* 2000; 31 (3): 701–706. <https://dx.doi.org/10.1161/01.str.31.3.701>
  22. Duan Y., Liu X., Zhou X., Cao T., Ruan L., Zhao Y. Diagnosis and follow-up study of carotid cavernous fistulas with color Doppler ultrasonography: analysis of 33 cases. *J. Ultrasound Med.* 2005; 24 (6): 739–745. <https://dx.doi.org/10.7863/jum.2005.24.6.739>
  23. Tseng G.W., Kuo T.Y., Yen P.S., Tsai C.H., Lu M.K. Sonographic clue in non-traumatic carotid-cavernous fistula: report of a case and literature review. *Acta Neurol. Taiwan.* 2020; 29 (1): 18–23.
  24. Каткова Е.А., Важенин А.В. Способ диагностики каротидно-кавернозного соустья. Патент на изобретение № А61В8/06, Россия, 2006. <https://findpatent.ru/patent/228/2284153.html>
  25. Яковлев С.Б., Бочаров А.В., Бухарин Е.Ю., Арустамян С.Р., Архангельская Я.Н. Прямые каротидно-кавернозные соустья: клиническая картина, ангиоархитектоника и эндоваскулярное лечение. *Вопросы нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко.* 2008; 4: 3–11.
- ## REFERENCES
1. Venturini M., Cristel G., Marzoli S.B., Simionato F., Agostini G., Barboni P., De Cobelli F., Falini A., Bandello F., Del Maschio A. Orbital color Doppler ultrasound as noninvasive tool in the diagnosis of anterior-draining carotid-cavernous fistula. *Radiol. Med.* 2016; 121 (4): 301–307. <https://dx.doi.org/10.1007/s11547-015-0607-0>
  2. Arifdjanov Sh.Kh., Zakhidov A.Ya., Mubarakov Sh.R. Endovascular treatment of carotid-cavernous fistula using stent-graft. *Journal of Emergency Medicine.* 2015; 1: 82–84. (in Russian)
  3. Constantin S.M., Ionescu M., Antochi F., Iana G. The utility of Doppler ultrasonography in carotid-cavernous fistulas. In: ECR 2018, Vienna, Austria, 28 February – 4 March 2018, poster no. C-1201, pp. 1–27. <https://dx.doi.org/10.1594/ecr2018/C-1201>
  4. Shpekov A.S., Makhambetov E.T., Berdikhodzhaev M.S., Smagulov F.Kh., Kaliev A.B., Bayzhigitov B.B., Esmukhanov I.M. Features of surgical treatment of carotid-cavernous fistulas. *Neurosurgery and Neurology of Kazakhstan.* 2013; 3 (32): 23–26. (in Russian)
  5. Lin H.J., Yip P.K., Liu H.M., Hwang B.S., Chen R.C. Noninvasive hemodynamic classification of carotid-cavernous sinus fistulas by duplex carotid sonography. *J. Ultrasound Med.* 1994; 13 (2): 105–113. <https://dx.doi.org/10.7863/jum.1994.13.2.105>
  6. Barrow D.L., Spector R.H., Braun I.F., Landman J.A., Tindall S.C., Tindall G.T. Classification and treatment of spontaneous carotid-cavernous sinus fistulas. *J. Neurosurg.* 1985; 62 (2): 248–256. <https://dx.doi.org/10.3171/jns.1985.62.2.0248>
  7. Barsukov S.F. Cavernous sinus syndrome in the context of differential diagnosis of disorders of the orbit and nearby anatomic structures of the cerebrum and skull. *Annals of Clinical and Experimental Neurology.* 2009; 3 (2): 31–36. (in Russian)
  8. Pyatykop V.O., Kotlyarevskiy Yu.A., Kutovoy I.A., Sergienko Yu.G., Pshenichny A.A., Naboychenko A.G., Teslenko D.S., Genkin A.V. Endovascular treatment of arteriovenous anastomoses in the cavernous sinus region. *Ukrainian Neurosurgical Journal.* 2014; 1: 42–46. (in Russian)
  9. Srinivasan A., Biro N.G., Murchison A.P., Sergott R.C., Moster M.L., Jabbour P.M., Bilyk J.R. Efficacy of orbital color Doppler imaging and neuroimaging in the diagnosis of carotid cavernous fistulas. *Ophthalmic Plast. Reconstr. Surg.* 2017; 33 (5): 340–344. <https://dx.doi.org/10.1097/IOP.0000000000000781>
  10. Kilic T., Elmaci I., Bayri Y., Pamir M.N., Erzen C. Value of transcranial Doppler ultrasonography in the diagnosis and follow-up of carotid-cavernous fistulae. *Acta Neurochir. (Wien).* 2001; 143 (12): 1257–1264. <https://dx.doi.org/10.1007/s007010100022>
  11. Shcheglov D.V., Zavgorodny V.N. Endovascular treatment of carotid-cavernous fistulas (own experience). *Endovascular X-ray Neurosurgery.* 2013; 294: 51–60. (in Ukrainian)
  12. Cloft H.J., Joseph G.J., Dion J.E. Risk of cerebral angiography in patients with subarachnoid hemorrhage, cerebral aneurysm, and arteriovenous malformation: a meta-analysis. *Stroke.* 1999; 30 (2): 317–320. <https://dx.doi.org/10.1161/01.str.30.2.317>
  13. Chen C.C., Chang P.C., Shy C.G., Chen W.S., Hung H.C. CT angiography and MR angiography in the evaluation of carotid cavernous sinus fistula prior to embolization: a comparison of techniques. *AJNR Am. J. Neuroradiol.* 2005; 26 (9): 2349–2356.
  14. Kotval P.S., Weitzner I. Jr., Tenner M.S. Diagnosis of carotid-cavernous fistula by periorbital color Doppler imaging and pulsed Doppler volume flow analysis. *J. Ultrasound Med.* 1990; 9 (2): 101–106. <https://dx.doi.org/10.7863/jum.1990.9.2.101>
  15. Flaharty P.M., Lieb W.E., Sergott R.C., Bosley T.M., Savino P.J. Color Doppler imaging. A new noninvasive technique to diagnose and monitor carotid cavernous sinus fistulas. *Arch. Ophthalmol.* 1991; 109 (4): 522–526. <https://dx.doi.org/10.1001/archophth.1991.01080040090035>
  16. Muttaqin Z., Arita K., Uozumi T., Kuwabara S., Oki S., Ohba S., Kurisu K., Nakahara T., Kohno H., Satoh H. Transcranial Doppler sonography in carotid-cavernous fistulas: analysis of five cases. *Surg. Neurol.* 1992; 38 (3): 179–185. [https://dx.doi.org/10.1016/0090-3019\(92\)90167-1](https://dx.doi.org/10.1016/0090-3019(92)90167-1)
  17. Wu Z., Yang H. Color Doppler imaging in the diagnosis and follow-up of carotid cavernous sinus fistulas. *Yan Ke Xue Bao.* 1993; 9 (3): 153–157.
  18. Zhao Y., Duan Y., Cao T. Application of transcranial color Doppler flow imaging in the carotid cavernous sinus fistulae. *Zhonghua Yi Xue Za Zhi.* 1995; 75 (3): 141–143, 189 (in Chinese)
  19. Chen Y.W., Jeng J.S., Liu H.M., Yip P.K., Hwang B.S., Lin W.H., Chang Y.C., Tu Y.K.

- Diagnosis and follow-up of carotid-cavernous fistulas by carotid duplex sonography and transcranial color Doppler imaging. *Ultrasound Med. Biol.* 1996; 22 (9): 1155–1162. [https://dx.doi.org/10.1016/s0301-5629\(96\)00152-4](https://dx.doi.org/10.1016/s0301-5629(96)00152-4)
20. Costa V.P., Molnar L.J., Cerri G.G. Diagnosing and monitoring carotid cavernous fistulas with color Doppler imaging. *J. Clin. Ultrasound.* 1997; 25 (8): 448–452. [https://dx.doi.org/10.1002/\(sici\)1097-0096\(199710\)25:8<448::aid-jcu7>3.0.co;2-j](https://dx.doi.org/10.1002/(sici)1097-0096(199710)25:8<448::aid-jcu7>3.0.co;2-j)
21. Chen Y.W., Jeng J.S., Liu H.M., Hwang B.S., Lin W.H., Yip P.K. Carotid and transcranial color-coded duplex sonography in different types of carotid-cavernous fistula. *Stroke.* 2000; 31 (3): 701–706. <https://dx.doi.org/10.1161/01.str.31.3.701>
22. Duan Y., Liu X., Zhou X., Cao T., Ruan L., Zhao Y. Diagnosis and follow-up study of carotid cavernous fistulas with color Doppler ultrasonography: analysis of 33 cases. *J. Ultrasound Med.* 2005; 24 (6): 739–745. <https://dx.doi.org/10.7863/jum.2005.24.6.739>
23. Tseng G.W., Kuo T.Y., Yen P.S., Tsai C.H., Lu M.K. Sonographic clue in non-traumatic carotid-cavernous fistula: report of a case and literature review. *Acta Neurol. Taiwan.* 2020; 29 (1): 18–23.
24. Katkova E.A., Vazhenin A.V. *Method for predicting carotid-cavernous anastomosis.* Patent A61B8/06, Russian Federation, 2006. <https://findpatent.ru/patent/228/2284153.html> (in Russian)
25. Yakovlev S.B., Bocharov A.V., Bukharin E.Yu., Arustamyan S.R., Arkhangel'skaya Ya.N. Direct carotid-cavernous fistulas: clinical presentation, angioarchitectonics and endovascular management. *Burdenko's Journal of Neurosurgery.* 2008; 4: 3–11. (in Russian)

## Doppler ultrasound in carotid-cavernous fistula diagnosis and follow-up: brief literature review and case report

A.O. Chechetkin, A.R. Karshieva, I.A. Sinitsyn, R.N. Konovalov, N.Kh. Gorst

Research Center of Neurology, Moscow

A.O. Chechetkin – M.D., Ph.D., Chief Researcher, Head of Ultrasound Diagnostics Department, Research Center of Neurology, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-8726-8928>

A.R. Karshieva – M.D., Ph.D., Ultrasound Diagnostics Department, Research Center of Neurology, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-0274-9694>

I.A. Sinitsyn – M.D., Department of Vascular Surgery, Research Center of Neurology, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-6862-6980>

R.N. Konovalov – M.D., Ph.D., Senior Researcher, Department of Radiology, Research Center of Neurology, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-5539-245X>

N.Kh. Gorst – M.D., Clinical Resident, Research Center of Neurology, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-8922-5764>

Correspondence to Dr. Andrey O. Chechetkin. E-mail: [andreychechetkin@gmail.com](mailto:andreychechetkin@gmail.com)

The brief review presents the main classifications, clinical manifestations, and diagnostic tools for carotid-cavernous fistulas. Ultrasound criteria of direct (high-speed) and indirect (low-speed) carotid-cavernous fistulas diagnosis are considered in detail. The article presents a clinical case of direct carotid-cavernous fistula in a 35-year-old patient, occurring following traumatic brain injury. No signs of vascular brain pathology on MR-angiography in the emergency setting were revealed. Due to the clinical worsening (1 month after traumatic brain injury) Doppler ultrasound was performed. The following ultrasound signs were found: an increase of the right internal carotid artery diameter (6.4 mm versus 5.1 mm on the contralateral side), an increase of peak systolic velocity (105 cm/s versus 86 cm/s on the contralateral side) with a decrease of resistance index (0.43 versus 0.65 on the contralateral side); abnormal mosaic flow flash (3.5 cm<sup>2</sup>) in the right cavernous sinus area; an increase of the right superior ophthalmic vein diameter (3.3 mm versus 1.9 mm on the contralateral side) with blood flow arterialization and inversion of flow direction. The diagnosis confirmed by digital subtraction angiography and MR-angiography. The patient was undergoing surgical treatment. No signs of pathology were found on control Doppler ultrasound 3 month after surgery. This clinical case demonstrates the value of ultrasound in early recognition of the carotid-cavernous fistula and postsurgical follow-up.

**Key words:** ultrasound, transcranial Doppler, carotid-cavernous fistula, direct carotid-cavernous fistula, dural carotid-cavernous fistula, high flow carotid-cavernous fistula, low flow carotid-cavernous fistula, superior ophthalmic vein.

**Citation:** Chechetkin A.O., Karshieva A.R., Sinitsyn I.A., Konovalov R.N., Gorst N.Kh. Doppler ultrasound in carotid-cavernous fistulas diagnosis and follow-up: brief literature review and case report. *Ultrasound and Functional Diagnostics.* 2021; 1: 50–64. <https://doi.org/10.24835/1607-0771-2021-1-50-64> (in Russian)