

ISSN 1607-0771(Print); ISSN 2408-9494 (Online)

<https://doi.org/10.24835/1607-0771-287>

# Ультразвуковое исследование артериовенозной фистулы для гемодиализа

Е.В. Полухина\*

КГБОУ ДПО “Институт повышения квалификации специалистов здравоохранения” Министерства здравоохранения Хабаровского края;  
680009 Хабаровск, ул. Краснодарская, д. 9, Российская Федерация

Представлен иллюстрированный обзор литературы, посвященный ультразвуковому исследованию артериовенозной фистулы для гемодиализа у пациентов с терминальной почечной недостаточностью. Нативная артериовенозная фистула рассматривается в качестве “золотого стандарта” сосудистого доступа. Ультразвуковое исследование на сегодняшний день является методом визуализации первой линии на всех этапах ведения пациентов, получающих лечение гемодиализом. В статье освещена роль эхографии в предоперационной оценке при планировании формирования артериовенозной фистулы, оценке созревания сосудистого доступа, а также раннего выявления его дисфункции. Представлены основные осложнения артериовенозной фистулы и приведены примеры их диагностики с использованием ультразвукового метода.

**Ключевые слова:** артериовенозная фистула; гемодиализ; сосудистый доступ; ультразвуковое исследование

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии возможных конфликтов интересов.

**Финансирование.** Исследование проведено без спонсорской поддержки.

**Цитирование:** Полухина Е.В. Ультразвуковое исследование артериовенозной фистулы для гемодиализа. *Ультразвуковая и функциональная диагностика*. 2024; 4: 93–114.  
<https://doi.org/10.24835/1607-0771-287>

## ВВЕДЕНИЕ

Распространенность хронической болезни почек в мире составляет около 10%, ввиду этого данная патология представляет собой важную медицинскую и социально-экономическую проблему [1]. При падении скорости клубочковой фильтрации менее 15 мл/мин необходимостью становится решение вопроса о начале заместительной почечной терапии. Ведущим методом экстракорпоральной гемокоррекции является программный гемодиализ, удельный вес

которого в Российской Федерации в структуре заместительной почечной терапии достигает 78% от общего числа больных [2]. Для проведения гемодиализа необходим доступ к сосудистому руслу пациента. В обычном состоянии поверхностные вены не могут быть использованы для проведения процедуры ввиду небольшого диаметра и низкой скорости кровотока. Поэтому необходимым является создание постоянного сосудистого доступа, в качестве которого используют нативную артериовенозную

Полухина Елена Владимировна – доктор мед. наук, доцент, профессор кафедры лучевой и функциональной диагностики КГБОУ ДПО “Институт повышения квалификации специалистов здравоохранения” Министерства здравоохранения Хабаровского края, Хабаровск. <https://orcid.org/0000-0002-8760-4880>

**Контактная информация\*:** Полухина Елена Владимировна – e-mail: [polukhina@inbox.ru](mailto:polukhina@inbox.ru)

фистулу (АВФ), синтетический протез и центральные венозные катетеры.

Обзор литературы, выполненный инициативной группой по улучшению результатов лечения заболеваний почек (Kidney Disease Outcomes Quality Initiative, KDOQI), позволяет считать, что АВФ по сравнению с другими сосудистыми доступами имеет самую большую продолжительность функционирования и наименьшее количество осложнений [3]. “Золотым стандартом” АВФ, наиболее отвечающим требованиям оптимальности сосудистого доступа, признается нативная дистальная фистула недоминантной руки. Наиболее часто при формировании первичной фистулы используется лучевая артерия и латеральная подкожная вена в нижней трети предплечья (радиоцефалическая фистула). Дистальная часть лучевой артерии располагается поверхностно и, кроме того, является недоминантной по сравнению с локтевой артерией, что при создании АВФ в меньшей степени приводит к развитию синдрома обкрадывания. Используется два основных типа соединения артерии и вены между собой: конец вены в бок артерии (наиболее частый), бок вены в бок артерии [3].

Наличие заболеваний периферических сосудов, недостаточный диаметр артерий и вен нередко делают невозможным формирование доступа в дистальной части предплечья. В этих случаях могут использоваться сосуды в области локтевой ямки (проксимальная АВФ). Наибольшее распространение имеет вариант создания анастомоза “бок в бок” между плечевой артерией и промежуточной веной локтя или анастомоз “конец в бок” между плечевой артерией и цефалической (либо базилярной) веной [3, 4].

Если создание нативной АВФ невозможно, сосудистый доступ формируется с использованием артериовенозного протеза. Артерия соединяется с веной кондуитом из синтетического материала, который имплантируют под кожу. Протез требует меньше времени для созревания, однако по сравнению с АВФ имеет более высокий риск тромбоза, формирования псевдоаневризмы и инфекции и, как правило, работает не так долго, как нативная фистула [3].

Ультразвуковое исследование на сегодняшний день играет ведущую роль в каче-

стве метода предоперационной оценки при планировании формирования АВФ, оценки созревания сосудистого доступа, а также раннего выявления осложнений в течение его функционирования [5–11]. В клинических рекомендациях Национального почечного фонда США [3], а также европейских рекомендациях по сосудистому доступу [4] отмечена важная роль ультразвукового метода на всех этапах ведения пациентов, получающих лечение гемодиализом. По данным Американского колледжа радиологии в последней редакции 2023 г. ультразвуковое исследование наряду с фистулографией является основным методом, одобренным для оценки возможной дисфункции АВФ [8].

### ПРЕДОПЕРАЦИОННАЯ РАЗМЕТКА

В целом ряде исследований и метаанализов было показано, что выполнение предоперационного ультразвукового исследования улучшает результаты формирования постоянного сосудистого доступа и снижает риск нарушения созревания фистулы [6, 12–14].

В первую очередь, оцениваются сосуды недоминантной руки, если нет противопоказаний к ее использованию. Предоперационная разметка может проводиться в положении пациента на спине либо в положении сидя лицом к оператору. Рука при этом вытянута и располагается на небольшом валике (рис. 1). Выполняется исследование как артерий, так и вен верхней конечности [6, 14].

#### *Оценка артерий*

Проводится исследование подключичной, подмышечной, плечевой, лучевой и локтевой артерий для исключения стено-окклюзирующих поражений. Присутствие варианта строения плечевой артерии в виде ее высокой бифуркации (до 10–20%) ассоциировано с более продолжительным периодом созревания и более высоким риском недостаточности сосудистого доступа [15], поэтому этот факт также необходимо отразить в протоколе исследования.

Оцениваются внутренний диаметр лучевой артерии в нижней трети предплечья, толщина комплекса интима-медиа, наличие и степень выраженности кальцификации



**Рис. 1.** Проведение ультразвукового исследования сосудов предплечья перед формированием артериовенозной фистулы.

**Fig. 1.** Ultrasound evaluation of the forearm vessels before the creation of an arteriovenous fistula.

стенки. Для успешного формирования сосудистого доступа артерия должна иметь достаточный просвет. Адекватным считается внутренний диаметр артерии, оцененный на уровне предполагаемого анастомоза, более 2 мм [4, 6, 14, 16]. Недостаточный диаметр не является противопоказанием к формированию доступа, однако указывается, что при диаметре менее 1,5–1,6 мм существенно снижается вероятность успешного созревания фистулы [17, 18].

Наличие выраженной кальцификации стенки лучевой артерии может быть существенным препятствием к созданию анастомоза и причиной дисфункции сосудистого доступа [14, 19] (рис. 2).

В норме кровотоки в лучевой артерии имеют трехфазный спектр, характерный для периферических артерий с высоким сопротивлением. Изменение спектра кровотока



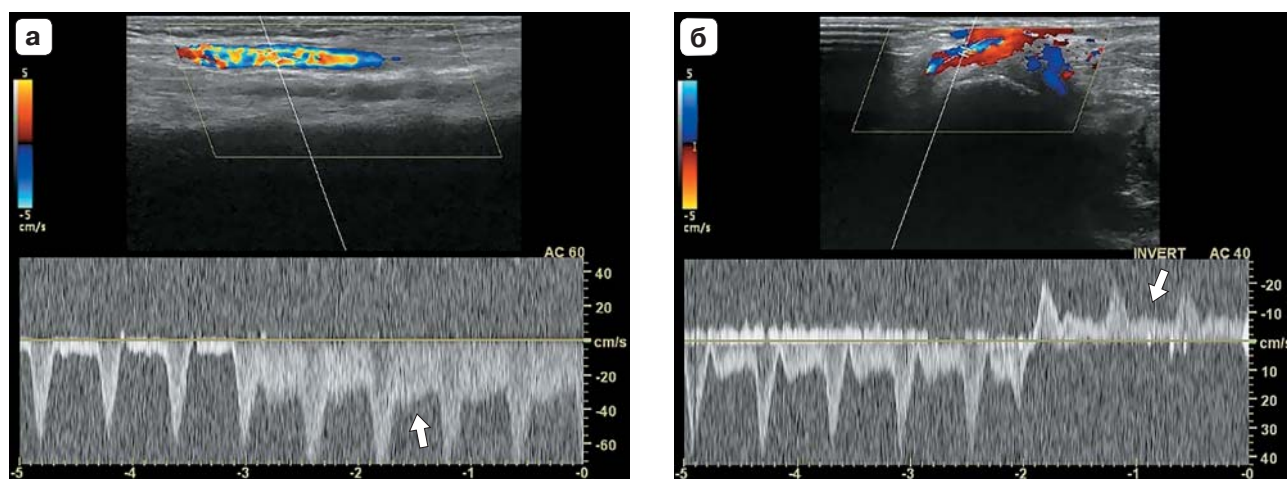
**Рис. 2.** Выраженная кальцификация стенки лучевой артерии (стрелка). Поперечный срез.

**Fig. 2.** Severe calcification of the radial artery wall (arrow). Transverse plane.

на двухфазный или монофазный указывает на наличие патологии (хотя это не является препятствием для создания доступа). Значение пиковой систолической скорости в лучевой артерии более 50 см/с [18], объемной скорости кровотока более 50 мл/мин [20] ассоциировано с более высокой частотой состоятельности АВФ.

Проведение теста с реактивной гиперемией, заключающегося в оценке спектра кровотока в лучевой артерии после сжатия кисти в течение 1–2 мин, является полезным для прогнозирования эффективной работы сосудистого доступа [6]. В норме происходит снижение тонуса артерии (рис. 3а). Значение индекса резистентности менее 0,7 после проведения данного теста указывает на сохранность компенсаторных механизмов ауторегуляции кровотока в кисти и ассоциировано с более высокой вероятностью состоятельности АВФ [17].

Для оценки состоятельности ладонной дуги, играющей важную роль в адекватной перфузии кисти после создания сосудистого доступа, может быть использован модифицированный тест Аллена. Для выполнения теста оценивается спектр кровотока в лучевой артерии в дистальном отделе предплечья или между первой и второй пястными костями после компрессии артерии в более проксимальном отделе. Выявление реверсивного кровотока дистальнее зоны окклюзии указывает на состоятельность артериальной ладонной дуги (рис. 3б).



**Рис. 3.** Оценка кровотока в лучевой артерии перед формированием артериовенозной фистулы. **а** – проведение теста с реактивной гиперемией. Отмечается снижение циркуляторного сопротивления в лучевой артерии после проведения теста (стрелка); **б** – оценки состоятельности ладонной дуги. Появление реверсивного кровотока в дистальном отделе лучевой артерии после компрессии артерии в более проксимальном отделе (стрелка).

**Fig. 3.** Evaluation of the radial artery blood flow before the creation of an arteriovenous fistula. **a** – a reactive hyperemia test. A decrease in vascular resistance in the radial artery is noted after the test (arrow); **б** – evaluation of the palmar arch viability. The appearance of reversed blood flow in the distal part of the radial artery after proximal compression of the artery (arrow).

Несостоятельность кровотока в ладонной дуге предрасполагает к развитию синдрома обкрадывания, если основная артерия будет использована для формирования сосудистого доступа [21].

При необходимости диаметр, наличие кальцификации и скорость кровотока также оцениваются в плечевой артерии на уровне локтевой ямки.

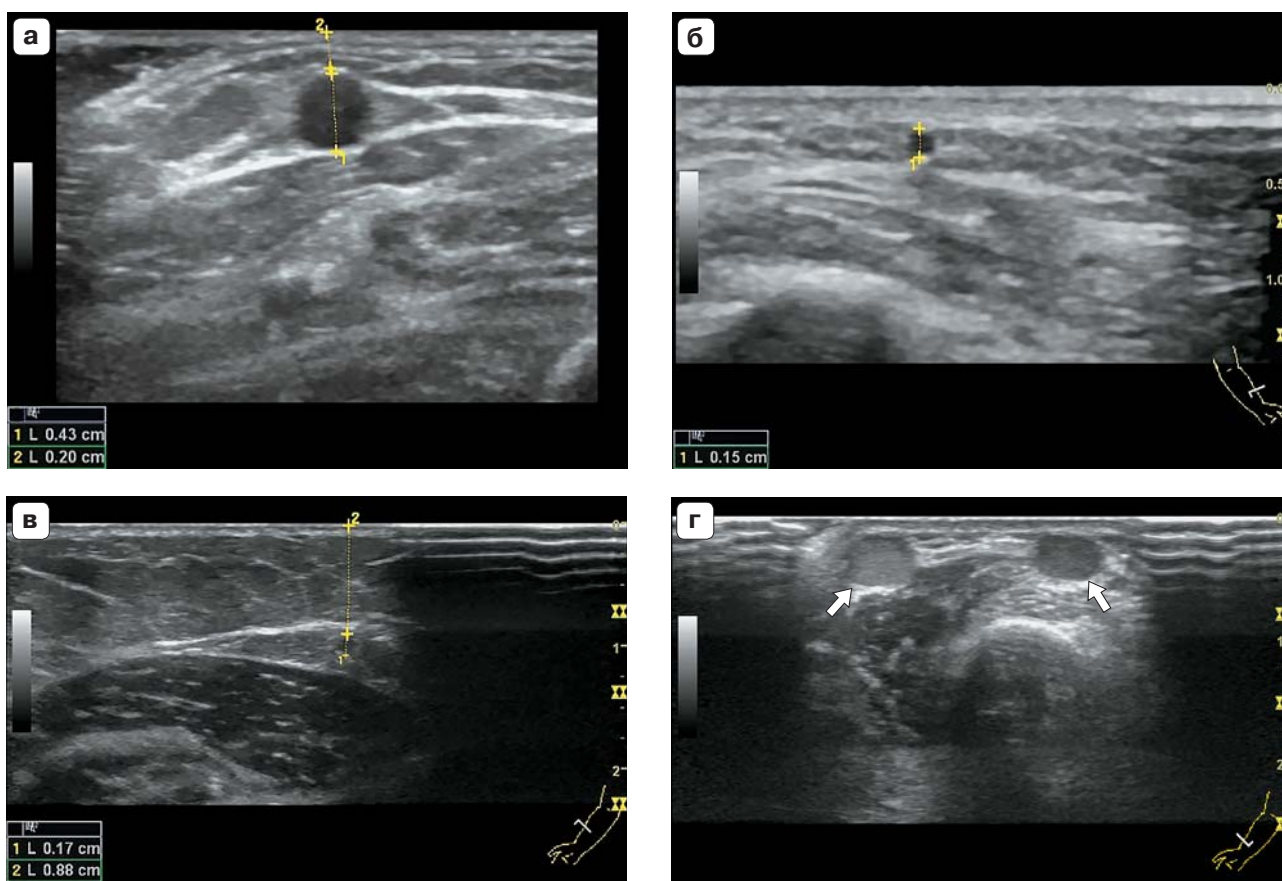
### Оценка вен

Предоперационная оценка венозного русла включает в себя исследование поверхностных и глубоких вен верхней конечности от кисти до центральных вен (подключичной и брахиоцефальной) для исключения наличия зон тромбоза и стеноза [6]. Непосредственная визуализация зоны стенозирования вены в проксимальном сегменте затруднена, однако такой косвенный признак, как отсутствие синхронизированной с дыханием и сердечной деятельностью фазности кровотока в подключичной и внутренней яремной венах, может указывать на наличие стенозующего поражения в проксимальном отделе, что особенно часто встречается у пациентов с предшествующим анамнезом наличия центрального венозного катетера [22].

Латеральная подкожная вена прослеживается на всем ее протяжении от кисти до зоны впадения в подключичную или подмышечную вену. Оценка вены необходимо проводить при минимальной компрессии датчиком с использованием достаточного количества геля. Обращается внимание на состояние стенки вены, анэхогенность просвета, сжимаемость при компрессии. Оптимальным является исследование вены в поперечных срезах перпендикулярно поверхности кожи. Адекватным считается диаметр вены более 2 мм [4, 14, 17].

Для успешного созревания фистулы дренирующая вена после формирования анастомоза должна увеличить свой диаметр, чтобы быть способной перенести повышенный объем крови, а также легко пунктироваться. Для оценки растяжимости вены ее диаметр оценивается до и через 2 мин после проксимальной компрессии (наложения манжеты или жгута) в нижней трети плеча. Оптимальным является диаметр вены на фоне проксимальной компрессии более 2,5 мм (для формирования сосудистого доступа с использованием протеза – 4 мм) [6, 14]. Диаметр вены измеряется в нижней, средней и верхней трети предплечья, в локтевой ямке и при необходимости на





**Рис. 4.** Оценка латеральной подкожной вены перед формированием артериовенозной фистулы. **а** – достаточный диаметр вены, оптимальная глубина задегания; **б** – недостаточный диаметр вены на предплечье; **в** – недостаточный диаметр и избыточная глубина залегания вены; **г** – крупный приток латеральной подкожной вены в нижней трети предплечья (стрелки).

**Fig. 4.** Examination of the cephalic vein before the creation of an arteriovenous fistula. **a** – sufficient vein diameter, optimal location depth; **б** – insufficient vein diameter on the forearm; **в** – insufficient diameter and deep vein location; **г** – large tributary of the cephalic vein in the lower third of the forearm (arrows).

плече. Прирост диаметра вены после наложения турникета более 40% от исходного указывает на адекватную растяжимость вены и является хорошим прогностическим фактором [10, 14, 16].

Еще одним важным оцениваемым параметром является расположение вены относительно кожных покровов. Для выполнения последующих пункций глубина залегания вены оптимально не должна превышать 6 мм [6, 16, 23]. Более глубокое залегание вены может потребовать ее транспозицию. Для успешного использования сосудистого доступа должен быть прямолинейный сегмент вены достаточной длины, пригодный для пункций (не менее 8–10 см)

[3, 7]. Если вена не имеет стволового строения, указываются локализация и диаметр притоков (рис. 4). Чем большее количество притоков имеет вена, особенно в пределах 5–10 см от предполагаемой зоны формирования анастомоза, тем сложнее получить адекватный кровоток по АВФ вследствие обкрадывания потока [23].

Ультразвуковое исследование базиллярной вены проводится в случае, если цефалическая вена не является подходящей для формирования сосудистого доступа [3, 4]. При несоответствии необходимым критериям сосудов доминантной руки проводится исследование сосудов противоположной конечности.

## СОЗРЕВАНИЕ

Время от момента формирования АВФ до ее первой пункции является периодом созревания. Фистула считается “зрелой”, когда она легко пальпируется, может пунктироваться двумя иглами и обеспечивать кровотоки как минимум 350–450 мл/мин при продолжительности процедуры гемодиализа 3–5 ч [3]. В идеале АВФ созревает и может быть использована в качестве сосудистого доступа уже через 4–8 нед после формирования. Полное созревание может занять от 6 до 14 нед [3, 4]. При адекватно функционирующей АВФ отмечается наличие пальпаторно определяемого дрожания в зоне сосудистого анастомоза. Однако у тучных пациентов при глубоком залегании вены, а также у пациентов с отсроченным созреванием АВФ клиническая оценка может быть затруднена [14].

Несмотря на то что АВФ является наиболее предпочтительным вариантом сосудистого доступа, от 20 до 60% фистул не созревают для проведения адекватных процедур диализа [3, 23]. Рекомендуются клиническая оценка АВФ на предмет ее зрелости через 4–6 нед после формирования и в случаях наличия признаков замедленного созревания проведение ультразвукового исследования для оценки возможных проблем [3, 4].

После формирования АВФ происходит структурное ремоделирование как питающей артерии, так и дренирующей вены. Вследствие значимого градиента давления между артерией и веной происходит выраженное увеличение скорости кровотока через созданный анастомоз с повышением нагрузки на сосудистую стенку, что инициирует процесс сосудистой адаптации и приводит к дилатации сосудов и дальнейшему увеличению объемной скорости [23, 24]. Объемный кровоток в лучевой артерии после формирования анастомоза возрастает в 10–20 раз [9].

Для тщательной оценки состояния АВФ специалисту, выполняющему ультразвуковое исследование, важно иметь представление об анатомической конфигурации сосудистого доступа. Исследование уже сформированной АВФ проводится без наложения турникета. При ультразвуковом исследовании оценивают кровоток в приводящей артерии, зоне анастомоза, а также в дрени-

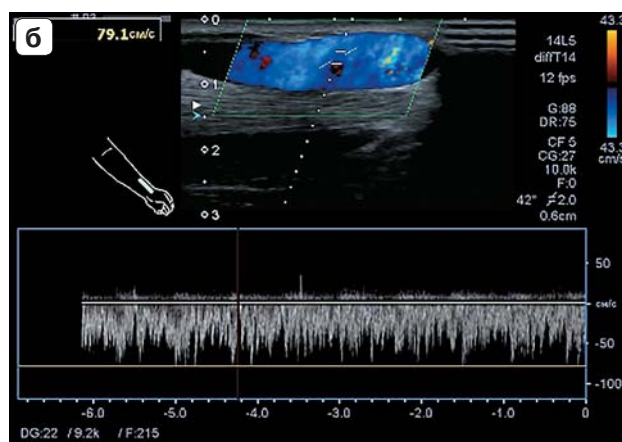
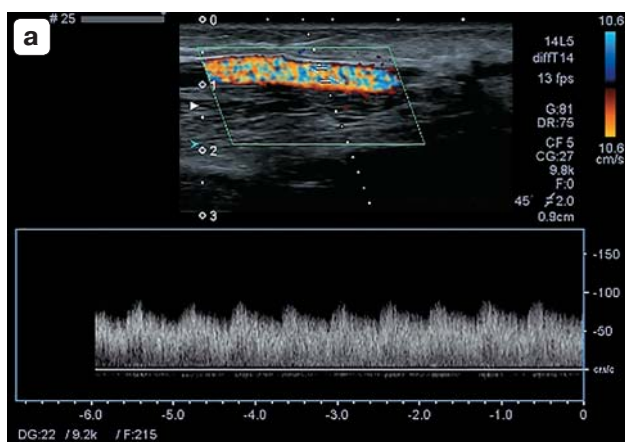
рующей вене на предплечье [5, 25] (рис. 5, 6). При нормально функционирующей АВФ кровотоки в приводящей артерии, снабжающей кровью анастомоз, имеют антеградный характер и низкое периферическое сопротивление (индекс резистентности 0,4–0,6) [24, 26]. При исследовании зоны анастомоза оценивают его диаметр и максимальную скорость кровотока, которая в норме составляет до 150–300 см/с. В дренирующей вене отмечаются явления артериализации. Диаметр вены увеличивается, скорость кровотока возрастает до 30–100 см/с [26]. Ультразвуковая разметка эфферентной вены облегчает проведение первых пункций, что особенно важно у тучных пациентов, когда вена сложна для пальпации при клиническом осмотре.

Один из важнейших факторов поддержания адекватности гемодиализа – достижение достаточной объемной скорости кровотока (ОСК) в сосудистом доступе [3, 4, 23]. ОСК представляет собой количество крови, протекающей через АВФ или протез в мл/мин. Необходима объемная скорость выше, чем в системе диализатора, что препятствует рециркуляции крови [3].

ОСК может быть оценена путем измерения средней скорости кровотока в см/с и диаметра сосуда в зоне оценки скорости (рис. 7). Необходимо получить спектр кровотока на протяжении 3–5 сердечных циклов. Программное обеспечение ультразвукового сканера позволяет, измерив два этих параметра, получить значение ОСК (см. рис. 7). Также объемный кровоток может быть рассчитан по формуле:  $ОСК (мл/мин) = TAMEAN \times r^2 \pi \times 60 \text{ с}$ , где TAMEAN – усредненная по времени средняя скорость кровотока (см/с),  $r$  – радиус сосуда (диаметр сосуда/2, см).

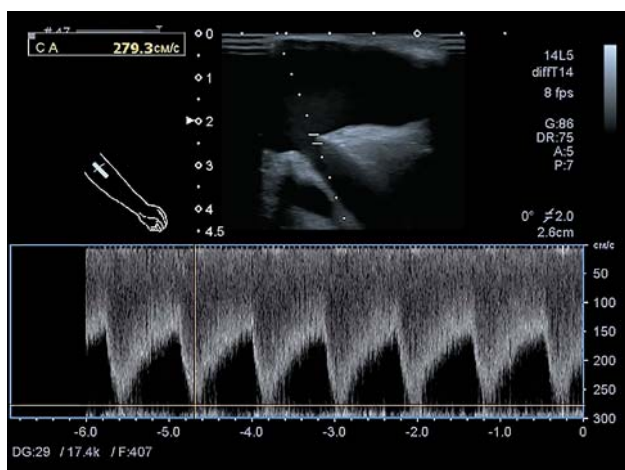
Используется показатель усредненной по времени средней скорости кровотока. Иногда для расчета ОСК некорректно используется показатель усредненной по времени максимальной скорости кровотока (TAMX), характеризующий движение более быстрого центрального потока, что приводит к завышению оценки объемной скорости.

Участок сосуда в зоне оценки объемной скорости должен быть относительно прямолинейный с постоянным диаметром. Необходимо избегать зон высокой турбу-



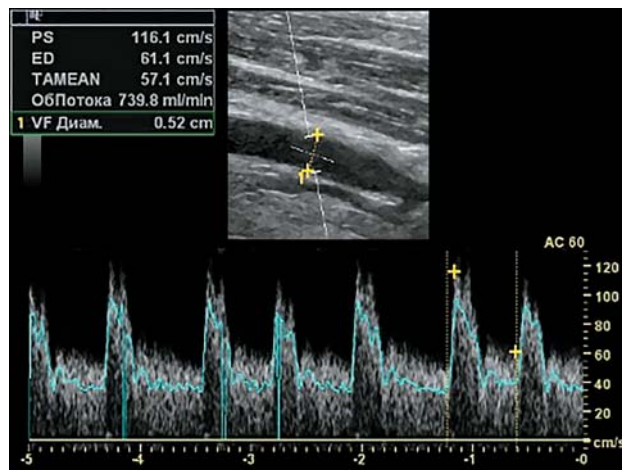
**Рис. 5.** Оценка кровотока в приводящей артерии (а) и дренирующей вене (б). Кровоток в лучевой артерии антеградный низкорезистентный. Артериализированный кровоток в латеральной подкожной вене.

**Fig. 5.** Evaluation of blood flow in the supplying artery (a) and draining vein (b). Antegrade low-resistance blood flow in the radial artery. Arterialized blood flow in the cephalic vein.



**Рис. 6.** Оценка кровотока в зоне анастомоза плечевой артерии и латеральной подкожной вены.

**Fig. 6.** Evaluation of blood flow in the site of anastomosis of the brachial artery and cephalic vein.



**Рис. 7.** Оценка объемной скорости кровотока в плечевой артерии. Расчет основан на оценке радиуса артерии и усредненной по времени средней скорости кровотока.

**Fig. 7.** Evaluation of the volumetric blood flow velocity in the brachial artery. The calculation is based on the evaluation of the artery radius and the time-averaged mean blood flow velocity.

лентности. Оптимальным является оценка ОСК на уровне плечевой артерии [25, 26]. Также возможна оценка объемного кровотока в средней порции дренирующей вены, в зоне, где она относительно прямолинейна и где кровоток менее турбулентный (примерно 10 см от уровня анастомоза). При адекватно функционирующей АВФ и корректной оценке объемный кровоток в при-

носящей артерии не должен быть ниже, чем в дренирующей вене [7]. В протоколе желательно указать, где проводилась оценка ОСК. При наличии артериовенозного протеза расчет объемной скорости проводится непосредственно в самом протезе.

Для учета всего спектра кровотока в сосуде необходимо использование широкого контрольного объема. Допплеровский угол



должен быть менее 60°, курсор коррекции угла расположен параллельно стенке сосуда. Рекомендуется провести несколько последовательных измерений, что особенно важно при наличии аритмии [26]. Ультразвуковую оценку ОСК рекомендуется выполнять в междиализный день либо перед процедурой диализа, так как гемодинамическая нестабильность, возникающая вследствие гемодиализа, может привести к недооценке ОСК. Кроме того, наличие повязки и повышенная кровоточивость после процедуры диализа затрудняют проведение исследования [7].

Основными факторами, влияющими на ОСК в фистуле, являются размер анастомоза, диаметр питающей артерии и дренирующей вены, артериальное давление и периферическое сосудистое сопротивление [23–26]. В типичных случаях хорошо функционирующая АВФ имеет объемный кровоток 600–1300 мл/мин [16]. Объемный кровоток менее 500 мл/мин характеризуется как снижение, являясь критерием дисфункции АВФ и серьезным фактором риска тромбоза [3, 4, 23, 26]. Высокая объемная скорость считается более 1500–2000 мл/мин. Избыточный кровоток по АВФ более типичен для проксимального сосудистого доступа [26].

По данным M.L. Robbin и соавт., диаметр вены более 4 мм и объемная скорость более 500 мл/мин являются предикторами того, что АВФ имеет высокую вероятность поддерживать проведение гемодиализа [23]. В клинических рекомендациях по сосудистому доступу Национального почечного фонда США (NKF KDOQI) в качестве рекомендованных критериев созревания АВФ через 6 нед после ее формирования предложены: ОСК более 600 мл/мин; диаметр дренирующей вены более 6 мм; глубина залегания вены менее 6 мм; сегмент, пригодный для венепункций, более 6 см (“правило шестерок”) [16].

Сосудистый доступ может не созревать по целому ряду причин [7, 23]. Адекватное созревание фистулы требует достаточного притока артериальной крови. Так, если выбранный хирургом сосуд для создания фистулы либо сформированный анастомоз слишком малы, в фистулу поступает недостаточный поток крови, и сосудистый доступ может не созреть. Выраженный

кальциноз стенки артерии также ограничивает дилатацию артерии. Одной из частых причин ранней недостаточности сосудистого доступа является стеноз дренирующей вены, возникший непосредственно рядом с зоной анастомоза. Причинами нарушения артериализации вены могут быть недостаточный ее диаметр, а также наличие боковых ветвей, снижающих в фистуле давление крови и нарушающих процесс созревания. Глубокое залегание вены не препятствует созреванию АВФ, но может сделать затруднительным пункцию во время процедуры диализа. В таких случаях может потребоваться хирургическая транспозиция вены.

Необходима оценка центральных вен, если она не была выполнена на предоперационном этапе, так как наличие центрального венозного стеноза или тромбоза также может стать препятствием к созреванию АВФ [5].

### УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ОЦЕНКА ОСЛОЖНЕНИЙ ПОСЛЕ ФОРМИРОВАНИЯ АВФ

Дисфункция сосудистого доступа является важным фактором заболеваемости и смертности пациентов, получающих лечение гемодиализом [3, 4].

Осложнениями после формирования АВФ являются:

- стеноз дренирующей вены;
- тромбоз;
- аневризма дренирующей вены;
- псевдоаневризма;
- гематомы;
- кальцификация стенок сосудов;
- инфекция;
- синдром обкрадывания;
- сердечная недостаточность.

Ультразвуковое исследование рекомендовано в качестве метода визуализации первой линии при подозрении на дисфункцию сосудистого доступа [3, 4].

**Венозный стеноз.** Является наиболее частой причиной несостоятельности сосудистого доступа и может быть как ранним, так и поздним осложнением АВФ [3, 27]. Наиболее частыми зонами локализации стеноза нативной АВФ являются юкстаанастомозный отдел, зоны пункций, зона впадения латеральной подкожной вены в подключичную вену. При наличии артериове-



нозного протеза стеноз чаще локализуется в зоне венозного анастомоза и прилегающего к нему сегмента вены [27].

Ультразвуковое исследование с доплеровским картированием является очень информативным неинвазивным методом диагностики стеноза сосудов артериовенозного доступа для гемодиализа [9, 11, 28, 29]. Указывалось на наличие хорошей корреляции данных ультразвукового исследования и результатов инвазивной фистулографии в качестве референсного стандарта у пациентов с клинически значимым стенозом АВФ [7].

Ультразвуковая диагностика стеноза основывается на анализе анатомических (морфологических) и гемодинамических параметров. Оцениваемыми ультразвуковыми признаками при подозрении на стеноз являются: минимальный просвет дренирующей вены, пиковая систолическая скорость кровотока в зоне стеноза, отношение скоростей в зоне стеноза и в престенотическом отделе, индекс резистентности в приводящей артерии и ОСК в АВФ [5, 11].

Прямым признаком стеноза является уменьшение просвета сосуда в зоне сужения. Венозный стеноз считается гемодинамически значимым, когда происходит сужение просвета менее 2–3 мм или значительная (более 50%) редукция просвета в сравнении с нормальным сосудистым сегментом до места стеноза [5, 11, 30]. В режиме серой шкалы оценивается наименьший диаметр вены, указывается локализация стеноза по отношению к анастомозу.

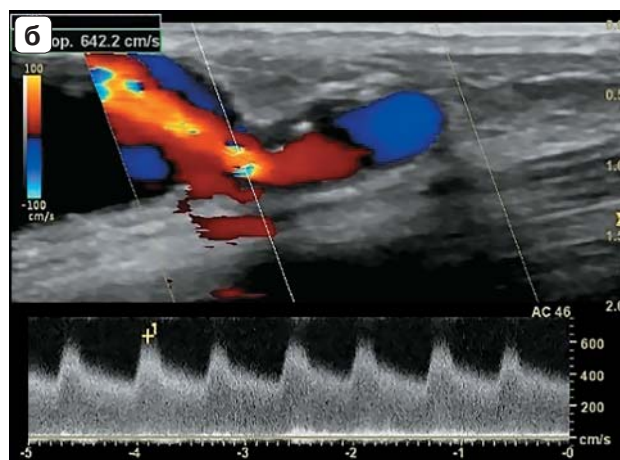
Гемодинамические критерии основаны на данных цветового и импульсно-волнового доплера. При цветовом доплеровском картировании отмечается наличие элайзинга в зоне стеноза. На наличие гемодинамически значимого стеноза указывает увеличение пиковой систолической скорости в зоне стеноза более 250 см/с в питающей артерии и более 300–400 см/с в дренирующей вене или протезе [9, 11]. Соотношение скорости в зоне стеноза дренирующей вены и скорости в вене на 2 см каудальнее более чем 2:1 указывает на наличие стеноза  $\geq 50\%$ , соотношение более 3:1 – на стеноз  $\geq 75\%$  [31].

О наличии гемодинамически значимого стеноза также свидетельствуют высокорезистентный кровоток в питающей артерии

и снижение объемного кровотока в АВФ [10, 11, 31, 32]. Так, по данным S. Cho и соавт., на наличие значимого стеноза указывали снижение ОСК в плечевой артерии менее 612,9 мл/мин и индекс резистентности более 0,63 [32]. Использование данных ультразвуковых критериев у пациентов с клиническими признаками патологических изменений АВФ позволило улучшить отбор пациентов для проведения ангиопластики и уменьшить риск развития тромбоза и потери сосудистого доступа. Еще в одной работе в качестве критериев для разграничения между пограничным и критическим стенозом АВФ были предложены ОСК менее 500 мл/мин (или снижение ее более чем на 25% в динамике), индекс резистентности более 0,7 и резидуальный диаметр вены менее 2 мм [28]. Данные параметры не должны интерпретироваться как жесткие пороговые значения. В расчет всегда должны приниматься клинические данные и, несомненно, объемный кровоток по фистуле, который является наиболее значимым параметром в оценке риска тромбоза [9, 26].

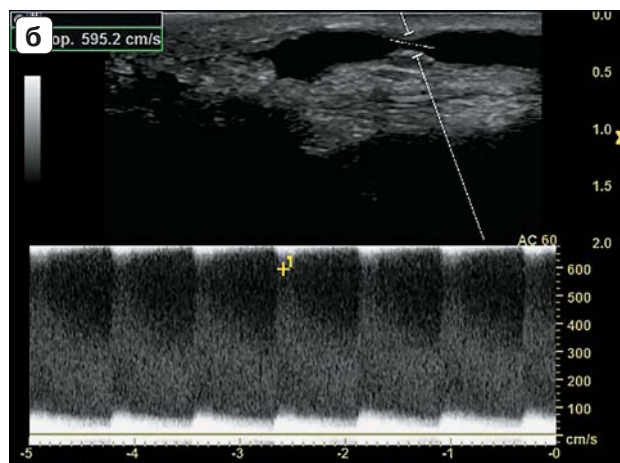
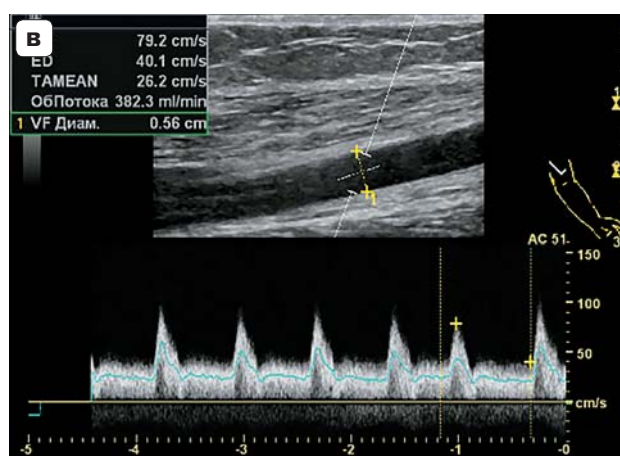
Юктаанастомозный стеноз составляет до 80% всех венозных стенозов [27, 29]. Возникает в области анастомоза артерии и вены либо непосредственно после анастомоза (первые 2 см) (рис. 8). Развитие стеноза чаще является следствием интимальной и фибромускулярной гиперплазии. Другими этиологическими факторами, способствующими развитию стеноза сосудистого доступа, являются атеросклероз, медиакальциноз, а также хирургические манипуляции и травма [29].

Стеноз в области анастомоза между лучевой артерией и латеральной подкожной веной является гемодинамически значимым ( $\geq 50\%$ ) при увеличении пиковой систолической скорости кровотока более 350–400 см/с, а также при отношении скоростей в зоне стеноза и в лучевой артерии на 2 см проксимальнее анастомоза более 3 [10, 29]. Тщательная оценка зоны анастомоза в режиме серой шкалы является очень важной, так как цветовое картирование может препятствовать визуализации тромба и привести как к недооценке, так и переоценке выраженности стеноза [5]. Часто наличие острого угла отхождения вены в зоне анастомоза может приводить к повышению скорости и симулировать стеноз [29].



**Рис. 8.** Стеноз АВФ в юкстаанастомозном отделе. **а** – режим серой шкалы. Уменьшение просвета вены в зоне стеноза; **б** – импульсно-волновой доплеровский режим. Увеличение пиковой скорости кровотока в зоне стеноза (642 см/с); **в** – снижение объемной скорости кровотока в АВФ (382 мл/мин).

**Fig. 8.** AVF stenosis in the juxta-anastomotic area. **a** – B-mode. Narrow vein lumen at the site of stenosis; **б** – pulsed wave Doppler mode. An increase in peak blood flow velocity in the area of stenosis (642 cm/s); **в** – a decrease in volumetric blood flow velocity in the AVF (382 ml/min).



**Рис. 9.** Стеноз дренирующей вены в зоне венеопункций. **а** – уменьшение просвета вены в зоне стеноза до 1,5 мм; **б** – повышение пиковой скорости кровотока в зоне стеноза (595 см/с).

**Fig. 9.** Stenosis of the draining vein in the venipuncture area. **a** – narrowing of the vein lumen in the area of stenosis to 1.5 mm; **б** – an increase in peak blood flow velocity in the area of stenosis (595 cm/s).

Типичным осложнением зрелых фистул является стеноз в зоне венопункций, возникающий в связи с фиброзной реакцией стенки вены на повторные канюляции [27, 29] (рис. 9). Может вовлекать короткий участок вены, быть пролонгированным, а также множественным.

Стеноз приводящей артерии встречается редко, составляя не более 8% всех стенозов сосудистого доступа, и преимущественно возникает у пожилых людей с атеросклерозом [27]. Атеросклеротическая дегенерация сосудистой стенки препятствует дилатации и ремоделированию артерии. Артериальный стеноз может быть заподозрен при пиковой систолической скорости более 250 см/с и отношении скорости в зоне стеноза к скорости в вышележащем сегменте артерии более 2–2,5. Артериальный стеноз расценивается как значимый, если он ведет к уменьшению ОСК в фистуле, снижает эффективность диализа и/или вызывает ишемию [26].

В случае снижения ОСК в АВФ и при отсутствии стеноза питающей артерии или дренирующей вены необходимо исключение центрального венозного стеноза или тромбоза [29].

Чрескожная транслуминальная ангиопластика в настоящее время является стандартом лечения стенозов АВФ [3, 33]. Ультразвуковое исследование позволяет своевременно выявить стеноз и помочь отобрать пациентов, нуждающихся в хирургическом и эндоваскулярном лечении.

**Тромбоз.** Одним из наиболее частых осложнений после формирования АВФ является тромбоз, составляющий до 85% всех причин утраты сосудистого доступа [3].

Ультразвуковое исследование является наиболее предпочтительным неинвазивным методом диагностики тромбоза с чувствительностью, достигающей 100% [11]. В клинических рекомендациях Европейского общества сосудистых хирургов указывается, что мониторингирование АВФ с помощью ультразвукового исследования, ассоциированного с профилактическим лечением стеноза, позволяет существенно уменьшить риск развития тромбоза [4].

Ультразвуковое исследование позволяет непосредственно визуализировать тромбо-

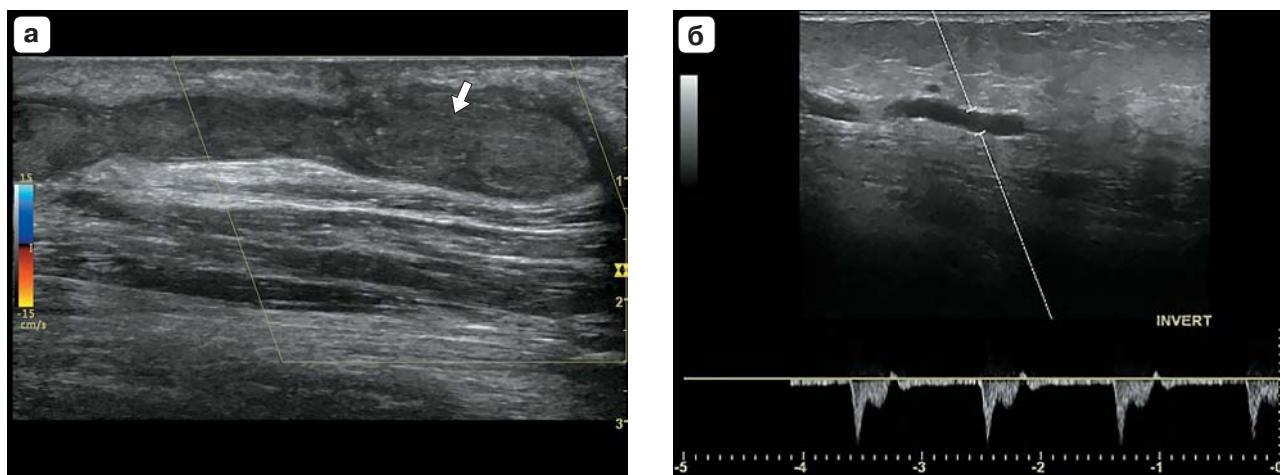
тические массы в просвете сосудов АВФ, оценить их локализацию и протяженность. Тромб определяется в виде масс тканевой плотности, несжимаемых при компрессии (рис. 10). Непрямыми признаками тромбоза являются регистрация высокорезистентного спектра кровотока в питающей артерии, а также снижение ОСК в АВФ [11, 32]. Так, увеличение индекса резистентности более 0,7 указывает на риск тромбоза [32]. ОСК менее 500 мл/мин позволяет прогнозировать дисфункцию АВФ, а скорость менее 300 мл/мин – развитие тромбоза [31].

Наличие стенозирования вены приводит к снижению ОСК в АВФ и повышает риск развития тромботических осложнений. До 75–85% тромбозов артериовенозного доступа являются следствием предшествующего венозного стеноза [27]. При бессимптомном стенозе такие критерии, как уменьшение просвета вены менее 2 мм и объемная скорость менее 400 мл/мин для дистальной фистулы и менее 500 мл/мин для проксимальной фистулы, указывают на высокий риск тромбоза [26].

Свежие тромботические массы могут быть достаточно гипоэхогенными и неотчетливо визуализироваться в режиме серой шкалы. Отсутствие кровотока в режимах цветового и импульсно-волнового доплеровского картирования в таких случаях является более значимым (рис. 11). Стенки фистульной вены, в отличие от стенок нативных вен, могут быть достаточно плотными, и такой признак, как отсутствие сжимаемости вены, может быть недостаточно информативным.

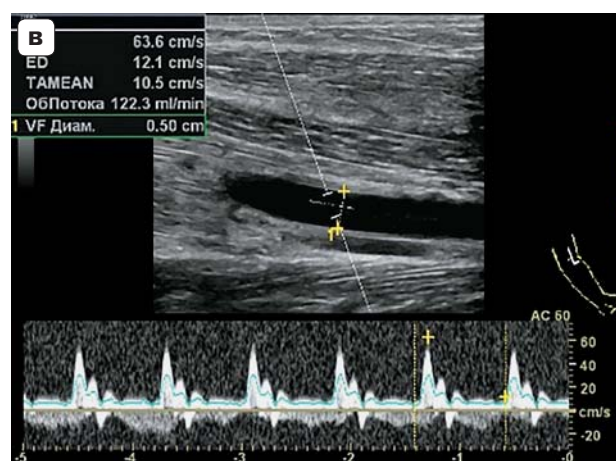
Тромб может быть окклюзирующим, полностью блокирующим кровоток, или неокклюзирующим, если вокруг тромба продолжает регистрироваться кровоток при цветовом доплеровском картировании (рис. 12). Острый окклюзирующий тромбоз проявляется появлением боли и исчезновением систолического дрожания в зоне фистулы. Данное состояние требует как можно более быстрого удаления тромба, чтобы не допустить его прогрессирования в хронический тромбоз и потерю сосудистого доступа (рис. 13). При хроническом тромбозе тромб имеет повышенную эхогенность и часто кальцифицируется.





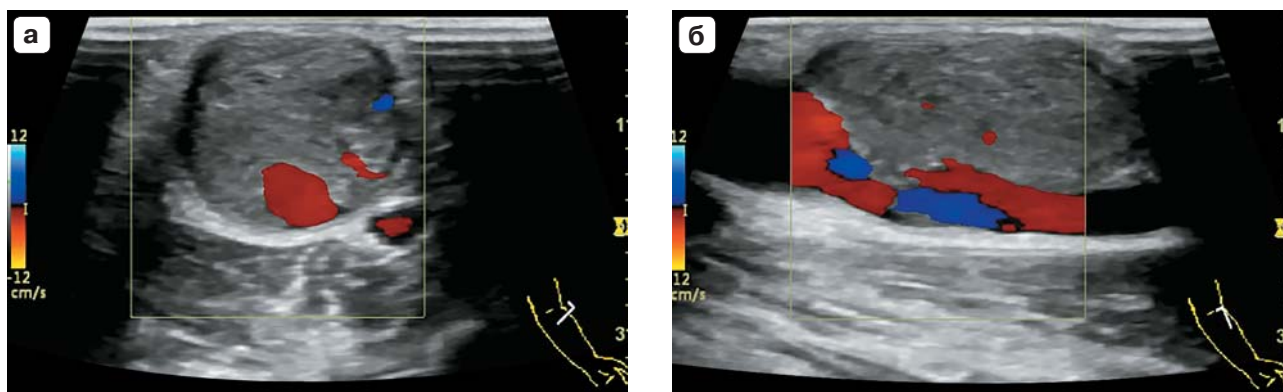
**Рис. 10.** Тромбоз дренирующей вены. **а** – режим цветового доплеровского картирования. В просвете вены определяются тромботические массы, окклюзирующие просвет (стрелка); **б** – импульсно-волновой доплеровский режим. Высокорезистентный кровоток в лучевой артерии, свидетельствующий об отсутствии функционирования АВФ; **в** – импульсно-волновой доплеровский режим. Выраженное снижение объемной скорости кровотока в плечевой артерии (122 мл/мин).

**Fig. 10.** Thrombosis of the draining vein. **a** – Color Doppler imaging. Thrombotic masses occluding the vein lumen (arrow); **б** – pulsed-wave Doppler mode. High-resistance blood flow in the radial artery indicates the AVF malfunction; **в** – pulsed-wave Doppler mode. Marked decrease in volumetric blood flow velocity in the brachial artery (122 ml/min).



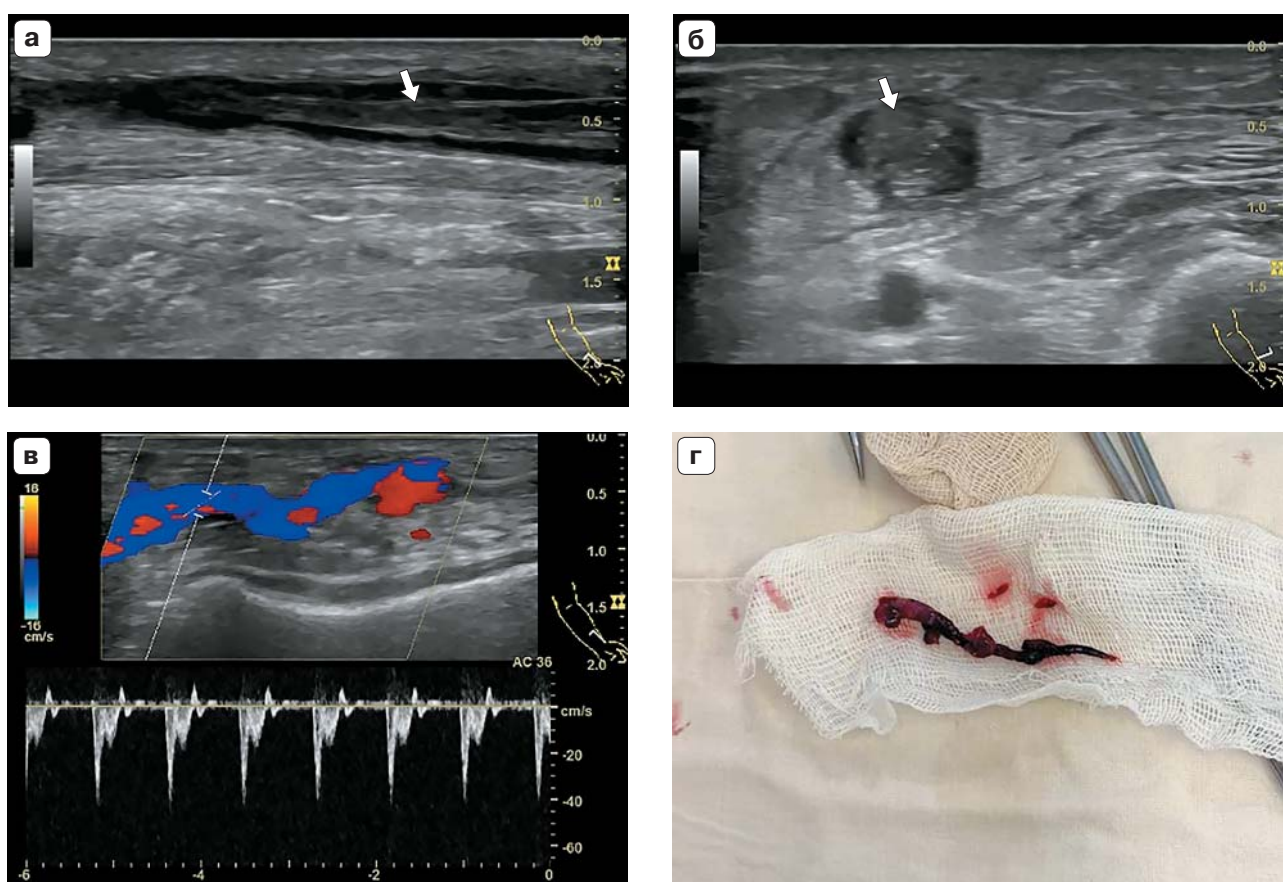
**Рис. 11.** Тромбоз в зоне анастомоза, 3-и сутки после операции. **а** – поперечный срез. Гипоэхогенные тромботические массы в зоне анастомоза (стрелка) неотчетливо визуализируются в режиме серой шкалы; **б** – режим цветового доплеровского картирования. В дренирующей вене кровоток не определяется (стрелка).

**Fig. 11.** Thrombosis of AVF area, 3rd day after surgery. **a** – transverse plane. Hypoechoic thrombotic masses in the anastomosis area (arrow) are poorly visible in B-mode; **б** – Color Doppler imaging. No blood flow is detected in the draining vein (arrow).



**Рис. 12.** Неокклюзирующий тромбоз дренирующей вены. Режим цветового доплеровского картирования. **а** – поперечный срез; **б** – продольный срез.

**Fig. 12.** Non-occlusive thrombosis of the draining vein. Color Doppler imaging. **a** – transverse plane; **б** – longitudinal plane.



**Рис. 13.** Острый тромбоз дренирующей вены АВФ. **а** – продольный срез; **б** – поперечный срез. Определяются тромботические массы в просвете вены (стрелка); **в** – высокорезистентный кровоток в лучевой артерии (признак отсутствия функционирования АВФ); **г** – макропрепарат удаленного тромба.

**Fig. 13.** Acute thrombosis of the draining vein of the AVF. **a** – longitudinal plane; **б** – transverse plane. Thrombotic masses are detected in the lumen of the vein (arrow); **в** – High-resistance blood flow in the radial artery (a sign of non-functioning AVF); **г** – image of the removed thrombus.

### Скопления жидкости

**Гематомы** чаще возникают в случаях прокалывания вены при пункции насквозь или формировании надрыва, позволяющего крови вытекать в окружающие ткани. Являются нередким осложнением, особенно в случаях АВФ, трудных для пункций [34]. Гематома также может формироваться после операции вследствие использования антикоагулянтов, неадекватного гемостаза, неконтролируемой артериальной гипертензии. В раннем послеоперационном периоде гематому необходимо дифференцировать от псевдоаневризмы [11].

Гематома располагается снаружи сосуда и не имеет связи с его просветом. Определяется как образование с неровным контуром пониженной эхогенности и неоднородной структуры (рис. 14). Может распространяться вдоль мышечных пучков и в подкожных тканях в виде диффузного пропитывания. Небольшие гематомы без признаков компрессии вены по данным ультразвукового исследования ведутся консервативно. В случае серьезного кровотечения, сопровождающегося увеличением размера гематомы, может потребоваться проведение хирургической ревизии и гемостаза [4].

**Серома** является редким осложнением, возникающим в 2–4% случаев в течение первого месяца после установки артериовенозного протеза. При этом возникает трансудация стерильной серозной жидкости

в ткани, окружающие протез (чаще в зоне артериального анастомоза) [34]. Серома в режиме серой шкалы определяется как однородное анэхогенное скопление жидкости без детрита. В режиме цветового доплеровского картирования отсутствуют сигналы кровотока. Для проведения дифференциальной диагностики может быть выполнена аспирация под контролем ультразвукового исследования [11, 34].

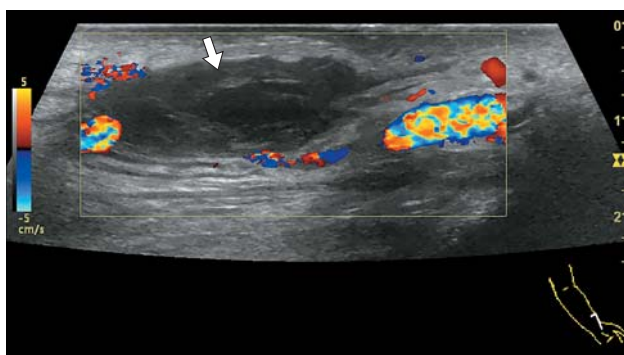
**Инфекционные осложнения** более характерны для артериовенозных протезов, чем для фистул. В большинстве случаев развиваются в первый месяц после установки графта [11, 34, 35]. Возбудителем часто является стафилококк. В случаях инфекционных осложнений, как правило, диагноз устанавливается на основании клинической картины, и ультразвуковое исследование преимущественно проводится с целью оценки проходимости протеза и исключения тромбоза.

Инфекционные осложнения определяются в виде сложного по структуре неоднородного содержимого вокруг протеза, имеющего сходство с гематомой. Могут присутствовать включения газа (рис. 15). Дифференциальная диагностика с гематомой основывается на клинико-лабораторных данных, подтверждающих наличие воспалительного процесса (покраснение, лихорадка). Чаще всего требуется проведение ревизии и удаление протеза с его последующей заменой [3, 35].

**Кальцификация стенок** сосудов часто встречается при длительном существовании АВФ, а также у пациентов с нарушениями кальциево-фосфорного обмена (рис. 16).

**Аневризма дренирующей вены.** Аневризма может развиваться в любом месте по ходу сосудистого доступа, включая приводящую артерию. Однако наиболее типична аневризматическая дилатация дренирующей вены, возникающая до 60% случаев [3, 11, 26]. Аневризма чаще образуется ретроградно от венозного стеноза, особенно в местах повторных пункций. Принято аневризмой АВФ считать дилатацию сосуда за счет всех слоев сосудистой стенки с диаметром более 18 мм либо в 3 раза превышающим диаметр соседних участков дренирующей вены [36].

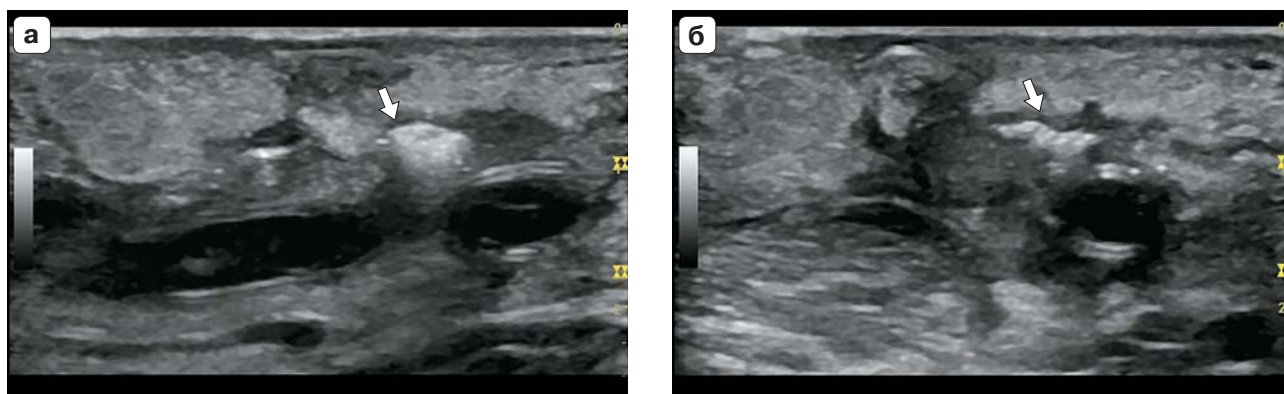
Кроме местного раздражения стенки вены в результате многократного пункти-



**Рис. 14.** Гематома мягких тканей предплечья. Аваскулярное образование пониженной эхогенности неоднородной структуры рядом с дренирующей веной (стрелка).

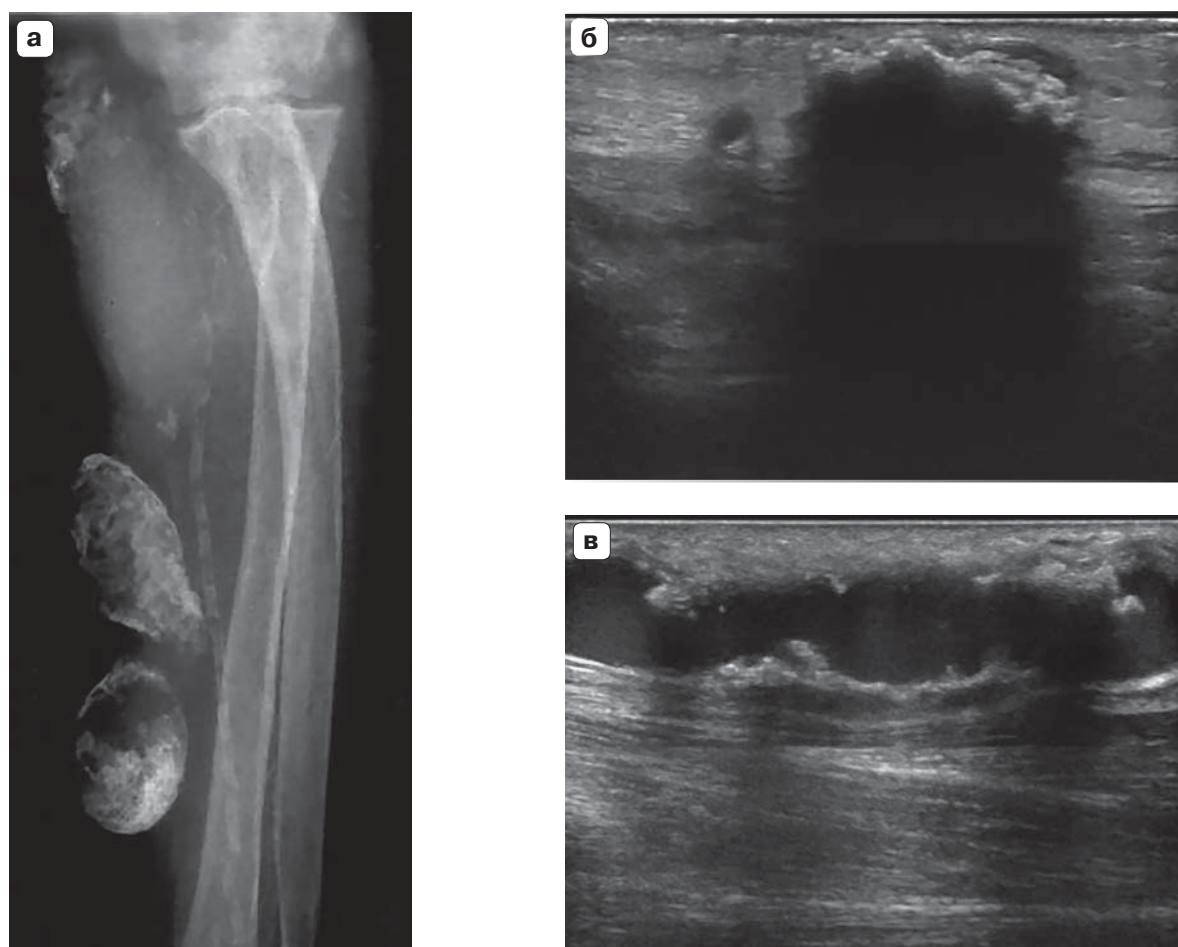
**Fig. 14.** Forearm soft tissue hematoma. Avascular heterogeneous hypoechoic mass near the draining vein (arrow).





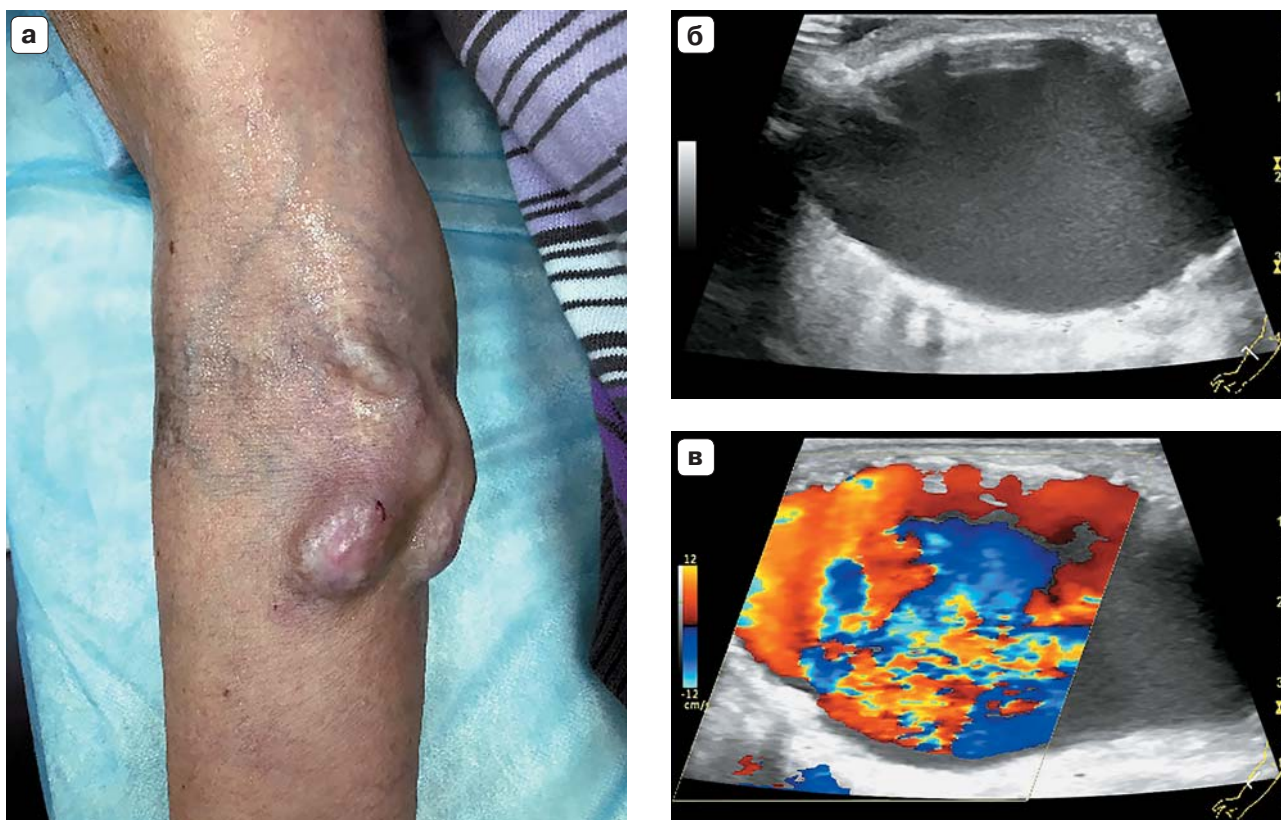
**Рис. 15.** Инфекционное осложнение вокруг артериовенозного протеза. **а** – продольный срез; **б** – поперечный срез. Режим серой шкалы. Вокруг протеза определяется неоднородное по структуре гипозоногенное содержимое с включениями газа (стрелки).

**Fig. 15.** Infectious complications around the arteriovenous graft. **a** – longitudinal plane; **б** – transverse plane. B-mode. Heterogeneous hypoechoic content with gas foci imaging around the graft (arrows).



**Рис. 16.** Выраженная кальцификация стенок артериовенозной фистулы у пациента с вторичным гиперпаратиреозом, в течение 10 лет получающего лечение гемодиализом. **а** – рентгенограмма; **б, в** – эхограммы.

**Fig. 16.** Severe calcification of the AVF walls in a patient with secondary hyperparathyroidism, receiving hemodialysis treatment for 10 years. **a** – X-ray image; **б, в** – ultrasound images.



**Рис. 17.** Аневризма дренирующей вены. а – внешний вид верхней конечности; б – эхограмма, режим серой шкалы; в – эхограмма, режим цветового доплеровского картирования.

**Fig. 17.** Aneurysm of the draining vein. а – upper limb image; б – B-mode ultrasound image; в – color Doppler image.

рования во время процедур гемодиализа, причинами формирования аневризм являются повышенное напряжение стенки сосуда в результате ее ремоделирования, наличие стеноза путей оттока, ведущего к повышению внутрисосудистого давления, центральный стеноз в связи с длительной катетеризацией центральным венозным катетером, а также генетическая предрасположенность [36, 37].

Хотя диагностика аневризмы основывается, прежде всего, на клинических данных, проведение ультразвукового исследования позволяет подтвердить диагноз, оценить диаметр сосуда и наличие сопутствующего стеноза и тромбоза. Истинная аневризма определяется как веретеновидное или мешковидное расширение просвета вены (рис. 17). Кровоток в полости аневризмы выглядит как круговой вихрь, хорошо определяемый даже в режиме серой шкалы из-за замедления кровотока.

Аневризма часто содержит тромботические массы, что снижает эффективность функционирования сосудистого доступа и уменьшает количество зон для канюляций (рис. 18).

Измерение расстояния между стенкой вены и поверхностью кожных покровов может быть полезным, так как пациенты с атрофией и изъязвлением кожи в зонах пункций находятся в группе риска по развитию жизнеугрожаемых кровотечений [38] (рис. 19).

Выделяют несколько типов аневризм дренирующей вены [36]:

тип 1 – аневризма без стеноза и тромбоза;

тип 2 – аневризма при гемодинамически значимом стенозе приводящей артерии, зоны анастомоза, дренирующей вены или центральной вены;

тип 3. – аневризма при частичном тромбозе дренирующей вены;

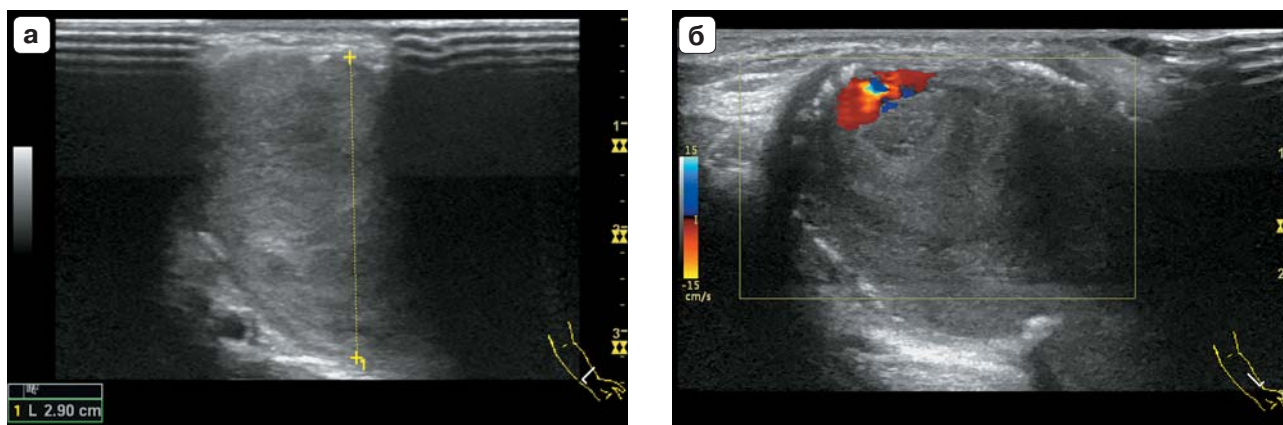


Рис. 18. Тромбированная аневризма. а – режим серой шкалы; б – режим цветового доплеровского картирования.

Fig. 18. Thrombosed aneurysm. а – B-mode image; б – color Doppler image.

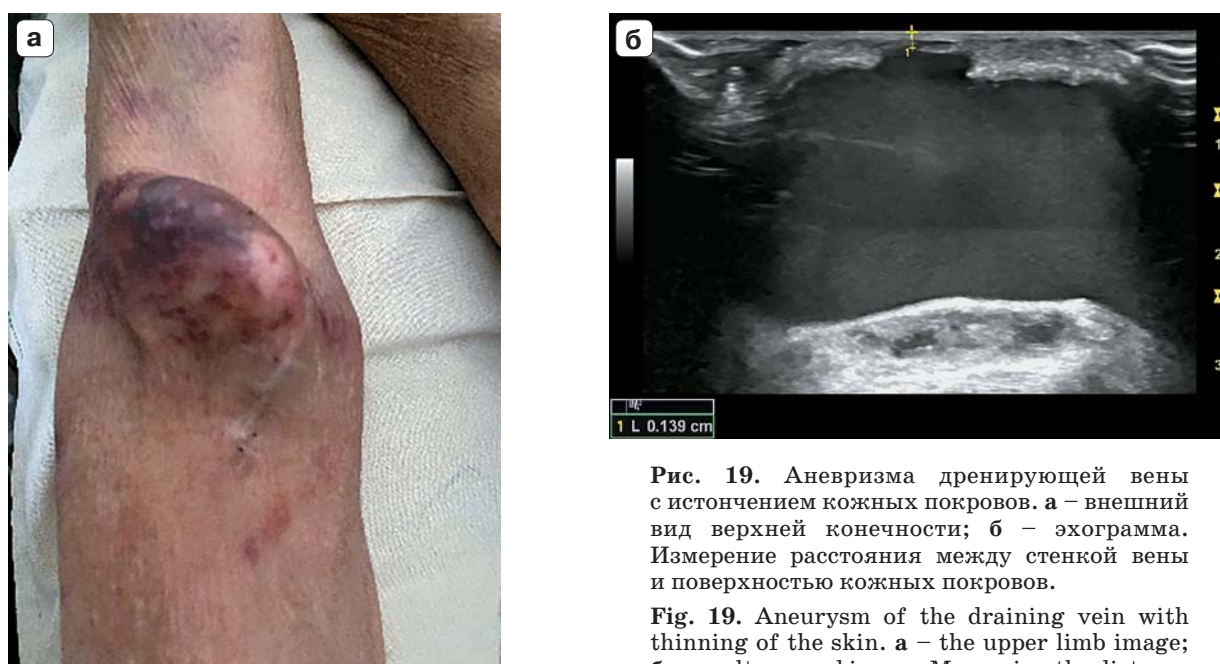


Рис. 19. Аневризма дренирующей вены с истончением кожных покровов. а – внешний вид верхней конечности; б – эхограмма. Измерение расстояния между стенкой вены и поверхностью кожных покровов.

Fig. 19. Aneurysm of the draining vein with thinning of the skin. а – the upper limb image; б – an ultrasound image. Measuring the distance between the vein wall and the skin surface.

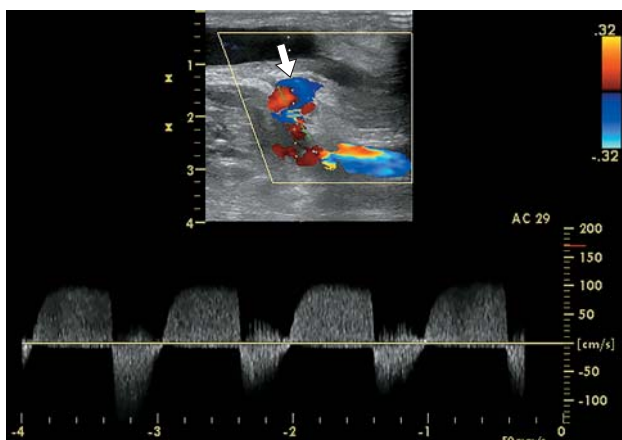
тип 4 – аневризма при полном тромбозе дренирующей вены.

Небольшие аневризмы дренирующей вены с интактными кожными покровами, как правило, не требуют лечения. В ряде случаев аневризмы могут ассоциироваться с различными осложнениями, приводить к дисфункции сосудистого доступа (тромбоз, вторичный стеноз вены, развитие сердечной недостаточности) и потребовать хирургического лечения [4, 36, 39]. Редким

осложнением является истончение и изъязвление кожных покровов с развитием спонтанного разрыва и жизнеугрожающего кровотечения [38].

**Ложные аневризмы (псевдоаневризмы)** встречаются значительно реже, чем истинные, и преимущественно возникают в результате погрешностей пункций сосудистого доступа. Более типичны для артериовенозных протезов (зоны пункций и зоны анастомоза) [11, 34]. Формирование псевдо-





**Рис. 20.** Псевдоаневризма. Расположенная рядом с сосудом анэхогенная пульсирующая полость с двунаправленным кровотоком (стрелка).

**Fig. 20.** Pseudoaneurysm. An anechoic pulsating cavity with bidirectional blood flow located near the vessel (arrow).

аневризм может происходить и в АВФ, если дренирующая вена пунктируется в одни и те же места.

Псевдоаневризма характеризуется наличием дефекта стенки сосуда с расположенной рядом пульсирующей полостью с двунаправленным кровотоком с возвращением крови из псевдоаневризматической полости в сосудистое русло во время диастолы (рис. 20). В отличие от истинной аневризмы, псевдоаневризма не имеет собственной стенки и ограничена реактивно измененной фиброзной тканью, выстланной эндотелием [34].

Небольшие псевдоаневризмы, остающиеся стабильными по размеру, можно наблюдать. Псевдоаневризма может подвергаться спонтанному тромбированию и, таким образом, самостоятельно исключаться из кровотока. Ультразвуковое исследование позволяет диагностировать тромбированные псевдоаневризмы, которые могут вестись консервативно. В ряде случаев при размере псевдоаневризмы более 1 см может потребоваться установка внутрисосудистого стента или хирургическое иссечение. Риск разрыва псевдоаневризмы выше, чем истинной аневризмы сопоставимого размера, из-за неадекватной поддержки стенки [34].

К осложнениям АВФ относится *дистальная ишемия конечности с артериовеноз-*

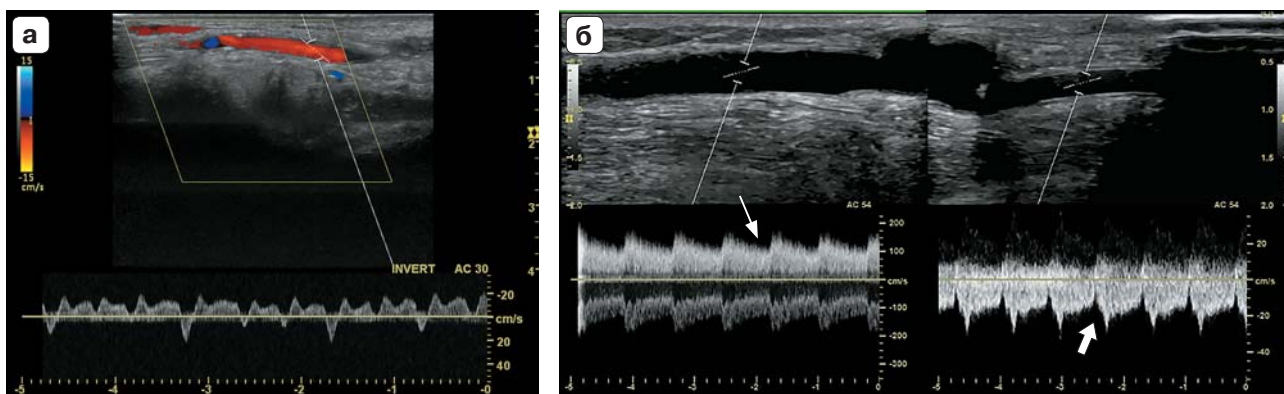
*ным доступом* (ишемический гипоперфузионный синдром, диализ-ассоциированный синдром обкрадывания). Данное осложнение встречается в 2–15% случаев и связано с избыточным шунтированием артериальной крови в дренирующую вену, в результате чего снижается капиллярная перфузия в дистальном отделе конечности [21, 40, 41]. Вследствие низкого сопротивления в дренирующей вене в АВФ поступает кровь не только антеградно из приводящей артерии, но и ретроградно с кисти через ладонную дугу.

В определенной степени некоторый клинически незначимый феномен обкрадывания присутствует у 75–90% пациентов после создания сосудистого доступа [41]. При этом ткани адаптируются к снижению потока крови за счет дилатации артериол и мелких коллатеральных артерий, отсутствуют признаки дистальной ишемии. Феномен обкрадывания переходит в клинически значимый синдром обкрадывания, когда компенсаторные механизмы поддержания периферической перфузии оказываются несостоятельными.

Основными причинами стил-синдрома являются артериальный стеноз с антеградным снижением кровотока, а также неспособность сосудистого русла предплечья адаптироваться к новым гемодинамическим условиям (как правило, связано с артериосклерозом или медиакальцинозом). Важным этиологическим фактором является высокая ОСК в АВФ вследствие большого размера анастомоза. Так, у пациентов с проявлениями синдрома обкрадывания был отмечен значительно больший средний объемный кровоток по фистуле, чем у пациентов без признаков ишемии (соответственно 1542 и 1087 мл/мин,  $p < 0,002$ ) [42].

Пожилые пациенты, пациенты с сахарным диабетом и заболеванием периферических сосудов составляют группу риска развития синдрома обкрадывания. Также к факторам риска относятся наличие предыдущих хирургических вмешательств на конечности в анамнезе и использование проксимального артериовенозного доступа на плече или артериовенозного протеза ввиду более высокого потока [41, 42].

Ишемия кисти может возникать вскоре после формирования сосудистого доступа



**Рис. 21.** Оценка кровотока в лучевой артерии при синдроме обкрадывания. **а** – двунаправленный кровоток в лучевой артерии дистальнее анастомоза (антеградный в систолу и ретроградный в диастолу); **б** – антеградный кровоток в проксимальном отделе лучевой артерии (тонкая стрелка), ретроградный кровоток в дистальном отделе лучевой артерии (толстая стрелка).

**Fig. 21.** Evaluation of blood flow in the radial artery in the steal syndrome. **a** – bidirectional blood flow in the radial artery distal to the anastomosis (antegrade in systole and retrograde in diastole); **b** – antegrade blood flow in the proximal part of the radial artery (thin arrow), retrograde blood flow in the distal part of the radial artery (thick arrow).

или несколько лет спустя при увеличении ОСЖ в фистуле или развитии поражения стенки приводящей артерии или дренирующей вены [43]. Пациенты предъявляют жалобы на побледнение пальцев, ощущение холода и снижение чувствительности в пораженной конечности, особенно при физических нагрузках и во время диализа. В более выраженных случаях могут наблюдаться трофические нарушения, изъязвление кожи и некроз, что при несвоевременном выявлении может привести к потере конечности [41, 43].

Ультразвуковое исследование позволяет подтвердить наличие синдрома обкрадывания, определить его причину и является важным в планировании лечебных мероприятий [41]. В первую очередь, оно позволяет оценить объемный кровоток в АВФ и исключить таким образом синдром обкрадывания, связанный с большим потоком через анастомоз. Также эхография позволяет выявить наличие патологии артериальных сосудов и оценить направление кровотока в питающей артерии дистальнее анастомоза. При наличии синдрома обкрадывания в дистальном отделе артерии наблюдается двунаправленный или ретроградный поток (рис. 21), отмечается снижение или отсутствие перфузии в пальцевых артериях. Полезным является проведение компрессионного теста для оценки вклада

артериального стил-синдрома в дистальную ишемию и прогнозирования эффективности хирургического лечения. Уменьшение симптомов ишемии и восстановление нормального дистального кровотока после компрессии зоны анастомоза (что имитирует эффект лигирования АВФ и уменьшение объемного потока по фистуле) подтверждает диагноз диализ-ассоциированного синдрома обкрадывания [5, 21].

Важной задачей является выявление с помощью ультразвукового метода пациентов с высоким риском развития дистальной ишемии, связанной с сосудистым доступом, еще до создания АВФ. Предоперационное исследование позволяет оценить диаметр и кровоток в лучевой и локтевой артериях, выявить стеноз или окклюзию. Проба с реактивной гиперемией позволяет прогнозировать риск развития синдрома обкрадывания. Отсутствие или низкий диастолический кровоток коррелирует со снижением возможностей ладонной дуги к вазодилатации [6, 17].

При наличии незначительных и умеренных симптомов ишемии пациенты нуждаются в наблюдении на предмет прогрессирования синдрома обкрадывания. Выраженные симптомы, как правило, требуют хирургической коррекции гемодинамических нарушений для предотвращения развития серьезных осложнений. Выбор метода

лечения зависит от непосредственной причины ишемии и может включать коррекцию изменений в приводящей артерии, уменьшение потока по фистуле, лигирование или эмболизацию дистальной лучевой артерии для предотвращения ретроградного потока или полное закрытие анастомоза [3, 41].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, ультразвуковое исследование является методом визуализации первой линии при оценке состояния артериовенозной фистулы для гемодиализа. Применение ультразвукового исследования дает возможность оценить состояние артерий и вен перед формированием сосудистого доступа, оценить адекватность созревания фистулы, выявить острую дисфункцию сосудистого доступа, а также осуществить мониторинг для оценки хронических осложнений, помогая в принятии решения о необходимости хирургического и эндоваскулярного лечения. Для более эффективного применения метода необходима стандартизация исследования с использованием четкого протокола, что облегчает мультидисциплинарное ведение пациентов с сосудистыми доступом и своевременное предупреждение возможных осложнений.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ [REFERENCES]

1. Kampmann J.D., Heaf J.G., Mogensen C.B. et al. Prevalence and incidence of chronic kidney disease stage 3–5 – results from KidDiCo. *BMC Nephrol.* 2023; 24 (1): 17. <http://doi.org/10.1186/s12882-023-03056-x>
2. Андрусев А.М., Томила Н.А., Перегудова Н.Г., Шинкарев М.Б. Заместительная почечная терапия хронической болезни почек 5 стадии в Российской Федерации 2015–2019 гг. Отчет по данным Общероссийского Регистра заместительной почечной терапии Российского диализного общества. *Нефрология и диализ.* 2021; 23 (3): 255–329. <https://doi.org/10.28996/2618-9801-2021-3-255-329>  
Andrusev A.M., Tomilina N.A., Peregudova N.G., Shinkarev M.B. Kidney replacement therapy for end Stage Kidney Disease in Russian Federation, 2015-2019. Russian National Kidney Replacement Therapy Registry Report of Russian Public Organization of Nephrologists “Russian Dialysis Society”. *Nephrology and Dialysis.* 2021; 23 (3): 255–329. <https://doi.org/10.28996/2618-9801-2021-3-255-329> (In Russian)
3. Lok C.E., Huber T.S., Lee T. et al.; National Kidney Foundation. KDOQI Clinical Practice Guideline for Vascular Access: 2019 Update. *Am. J. Kidney Dis.* 2020; 75 (4, Suppl. 2): S1–S164. <https://doi.org/10.1053/j.ajkd.2019.12.001>
4. Schmidli J., Widmer M.K., Basile C. et al. Editor's Choice – Vascular Access: 2018 Clinical Practice Guidelines of the European Society for Vascular Surgery (ESVS). *Eur. J. Vasc. Endovasc. Surg.* 2018; 55 (6): 757–818. <https://doi.org/10.1016/j.ejvs.2018.02.001>
5. AIUM Practice Parameter for the Performance of Vascular Ultrasound Examinations for Postoperative Assessment of Hemodialysis Access. *J. Ultrasound Med.* 2020; 39 (5): E39–E48. <https://doi.org/10.1002/jum.15262>
6. The AIUM Practice Parameter for the Performance of Ultrasound Vessel Mapping Prior to Dialysis Access Creation. *J. Ultrasound Med.* 2022; 41 (4): E16–E20. <https://doi.org/10.1002/jum.15876>
7. Chytilova E., Jemcov T., Malik J. et al. Role of Doppler ultrasonography in the evaluation of hemodialysis arteriovenous access maturation and influencing factors. *J. Vasc. Access.* 2021; 22 (1, Suppl.): 42–55. <https://doi.org/10.1177/1129729820965064>
8. Expert Panels on Interventional Radiology and Vascular Imaging / Higgins M.C.S., Diamond M., Mauro D.M. et al. ACR Appropriateness Criteria● Dialysis Fistula Malfunction. *J. Am. Coll. Radiol.* 2023; 20 (11S): S382–S412. <https://doi.org/10.1016/j.jacr.2023.08.016>
9. Lomonte C., Meola M., Petrucci I. et al. The key role of color Doppler ultrasound in the work-up of hemodialysis vascular access. *Semin. Dial.* 2015; 28 (2): 211–215. <https://doi.org/10.1111/sdi.12312>
10. Mario M., Ibeas J., Malik J. Current role of ultrasound in hemodialysis access evaluation. *J. Vasc. Access.* 2021; 22 (1, Suppl.): 56–62. <https://doi.org/10.1177/11297298211034638>
11. Meola M., Marciello A., Di Salle G., Petrucci I. Ultrasound evaluation of access complications: Thrombosis, aneurysms, pseudoaneurysms and infections. *J. Vasc. Access.* 2021; 22 (1, Suppl.): 71–83. <https://doi.org/10.1177/11297298211018062>
12. Georgiadis G.S., Charalampidis D.G., Argyriou C. et al. The Necessity for Routine Pre-operative Ultrasound Mapping Before Arteriovenous Fistula Creation: A Meta-analysis. *Eur. J. Vasc. Endovasc. Surg.* 2015; 49 (5): 600–605. <https://doi.org/10.1016/j.ejvs.2015.01.012>
13. Sharbidre K.G., Alexander L.F., Varma R.K. et al. Hemodialysis Access: US for Preprocedural Mapping and Evaluation of Maturity and Access Dysfunction. *Radiographics.* 2024; 44 (1): e230053. <https://doi.org/10.1148/rg.230053>
14. Suryawanshi M., Dutta P., Ganduboina R. et al. Standardization of Pre-operative Evaluation to Improve the Outcome of Arteriovenous Fistula for Vascular Access of Hemodialysis: A Review of 700 Cases. *Cureus.* 2023; 15 (9): e45999. <https://doi.org/10.7759/cureus.45999>
15. Kian K., Shapiro J.A., Salman L. et al. High brachial artery bifurcation: clinical considerations and practical implications for an arteriovenous



- access. *Semin. Dial.* 2012; 25 (2): 244–247. <https://doi.org/10.1111/j.1525-139X.2011.00964>
16. Vascular Access 2006 Work Group. Clinical practice guidelines for vascular access. *Am. J. Kidney Dis.* 2006; 48 (Suppl 1): S176–247. <https://doi.org/10.1053/j.ajkd.2006.04.029>
17. Malovrh M. Native arteriovenous fistula: preoperative evaluation. *Am. J. Kidney Dis.* 2002; 39 (6): 1218–1225. <https://doi.org/10.1053/ajkd.2002.33394>
18. Parmar J., Aslam M., Standfield N. Pre-operative radial arterial diameter predicts early failure of arteriovenous fistula (AVF) for haemodialysis. *Eur. J. Vasc. Endovasc. Surg.* 2007; 33 (1): 113–115. <https://doi.org/10.1016/j.ejvs.2006.09.001>
19. Marques M.G., Ponce P. Pre-operative Assessment for Arteriovenous Fistula Placement for Dialysis. *Semin. Dial.* 2017; 30 (1): 58–62. <https://doi.org/10.1111/sdi.12561>
20. Masengu A., McDaid J., Maxwell A.P., Hanko J.B. Preoperative radial artery volume flow is predictive of arteriovenous fistula outcomes. *J. Vasc. Surg.* 2016; 63 (2): 429–435. <https://doi.org/10.1016/j.jvs.2015.08.106>
21. Pirozzi N., De Alexandris L., Scrivano J. et al. Ultrasound evaluation of dialysis access-related distal ischaemia. *J. Vasc. Access.* 2021; 22 (1, Suppl.): 84–90. <https://doi.org/10.1177/1129729820932420>
22. Tedla F.M., Clerger G., Distant D., Salifu M. Prevalence of Central Vein Stenosis in Patients Referred for Vein Mapping. *Clin. J. Am. Soc. Nephrol.* 2018; 13 (7): 1063–1068. <https://doi.org/10.2215/CJN.14001217>
23. Robbin M.L., Greene T., Allon M. et al. Hemodialysis Fistula Maturation Study Group. Prediction of Arteriovenous Fistula Clinical Maturation from Postoperative Ultrasound Measurements: Findings from the Hemodialysis Fistula Maturation Study. *J. Am. Soc. Nephrol.* 2018; 29 (11): 2735–2744. <https://doi.org/10.1681/ASN.2017111225>
24. Shintaku S., Kawanishi H., Moriishi M. et al. Postoperative day 1 access blood flow and resistive index can predict patency in distal forearm arteriovenous fistula. *J. Vasc. Access.* 2017; 18 (5): 371–378. <https://doi.org/10.5301/jva.5000777>
25. Nalesso F., Garzotto F., Petrucci I. et al. Standardized Protocol for Hemodialysis Vascular Access Assessment: The Role of Ultrasound and ColorDoppler. *Blood Purif.* 2018; 45 (1–3): 260–269. <https://doi.org/10.1159/000485590>
26. Pichot O., Diard A., Bosc J.Y. et al.; AV Access Network Investigators; Société Française de Médecine Vasculaire and the Société Francophone de l'Abord Vasculaire. Standardized Methodology for Duplex Ultrasound Examination of Arteriovenous Access for Hemodialysis: A Proposal of the French Society of Vascular Medicine and the French-Speaking Society of Vascular Access. *Ultrasound Med. Biol.* 2023; 49 (10): 2213–2220. <https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2023.07.007>
27. Quencer K.B., Arici M. Arteriovenous Fistulas and Their Characteristic Sites of Stenosis. *Am. J. Roentgenol.* 2015; 205 (4): 726–734. <https://doi.org/10.2214/AJR.15.14650>
28. Castro A., Moreira C., Almeida P. et al. The Role of Doppler Ultrasonography in Significant and Borderline Stenosis Definition. *Blood Purif.* 2018; 46 (2): 94–102. <https://doi.org/10.1159/000488442>
29. Malik J., de Bont C., Valerianova A. et al. Arteriovenous Hemodialysis Access Stenosis Diagnosed by Duplex Doppler Ultrasonography: A Review. *Diagnostics (Basel)*. 2022; 16; 12 (8): 1979. <https://doi.org/10.3390/diagnostics12081979>
30. Tirinescu D.C., Bondor C.I., Vlăduțiu D.Ș. et al. Ultrasonographic diagnosis of stenosis of native arteriovenous fistulas in haemodialysis patients. *Med. Ultrason.* 2016; 18 (3): 332–338. <https://doi.org/10.11152/mu.2013.2066.183.fis>
31. Robbin M.L., Oser R.F., Allon M. et al. Hemodialysis access graft stenosis: US detection. *Radiology.* 1998; 208 (3): 655–661. <https://doi.org/10.1148/radiology.208.3.9722842>
32. Cho S., Lee Y.J., Kim S.R. Value of Doppler evaluation of physically abnormal fistula: hemodynamic guidelines and access outcomes. *Korean J. Intern. Med.* 2019; 34 (1): 137–145. <https://doi.org/10.3904/kjm.2016.299>
33. Tordoir J.H.M., Zonnebeld N., van Loon M.M. et al. Surgical and Endovascular Intervention for Dialysis Access Maturation Failure During and After Arteriovenous Fistula Surgery: Review of the Evidence. *Eur. J. Vasc. Endovasc. Surg.* 2018; 55 (2): 240–248. <https://doi.org/10.1016/j.ejvs.2017.12.001>
34. Padberg F.T. Jr., Calligaro K.D., Sidawy A.N. Complications of arteriovenous hemodialysis access: recognition and management. *J. Vasc. Surg.* 2008; 48 (5, Suppl.): 55S–80S. <https://doi.org/10.1016/j.jvs.2008.08.067>
35. MacRae J.M., Dipchand C., Oliver M. et al. Canadian Society of Nephrology Vascular Access Work Group. Arteriovenous Access: Infection, Neuropathy, and Other Complications. *Can. J. Kidney Health Dis.* 2016; 3: 2054358116669127. <https://doi.org/10.1177/2054358116669127>
36. Balaz P., Björck M. True aneurysm in autologous hemodialysis fistulae: definitions, classification and indications for treatment. *J. Vasc. Access.* 2015; 16 (6): 446–453. <https://doi.org/10.5301/jva.5000391>
37. Valenti D., Mistry H., Stephenson M. A novel classification system for autogenous arteriovenous fistula aneurysms in renal access patients. *Vasc. Endovasc. Surg.* 2014; 48 (7–8): 491–496. <https://doi.org/10.1177/1538574414561229>
38. Jose M.D., Marshall M.R., Read G. et al. Fatal Dialysis Vascular Access Hemorrhage. *Am. J. Kidney Dis.* 2017; 70 (4): 570–575. <https://doi.org/10.1053/j.ajkd.2017.05.014>
39. Inston N., Mistry H., Gilbert J. et al. Aneurysms in vascular access: state of the art and future developments. *J. Vasc. Access.* 2017; 18 (6): 464–472. <https://doi.org/10.5301/jva.5000828>
40. Huber T.S., Larive B., Imrey P.B. et al. HFM Study Group. Access-related hand ischemia and the Hemodialysis Fistula Maturation Study. *J. Vasc. Surg.* 2016; 64 (4): 1050–1058.e1. <https://doi.org/10.1016/j.jvs.2016.03.449>

41. Malik J., Tuka V., Kasalova Z. et al. Understanding the dialysis access steal syndrome. A review of the etiologies, diagnosis, prevention and treatment strategies. *J. Vasc. Access.* 2008; 9 (3): 155–166. PMID: 18850575
42. Bavare C.S., Bismuth J., El-Sayed H.F. et al. Volume Flow Measurements in Arteriovenous Dialysis Access in Patients with and without Steal Syndrome. *Int. J. Vasc. Med.* 2013; 328601. <https://doi.org/10.1155/2013/328601>
43. Scheltinga M.R., van Hoek F., Bruijninx C.M. Time of onset in haemodialysis access-induced distal ischaemia (HAIDI) is related to the access type. *Nephrol. Dial. Transplant.* 2009; 24 (10): 3198–3204. <https://doi.org/10.1093/ndt/gfp200>

## ***Ultrasound evaluation of arteriovenous fistula for hemodialysis***

*E.V. Polukhina\**

*Postgraduate Institute for Public Health Workers; 9, Krasnodarskaya str.,  
Khabarovsk 680009, Russian Federation*

**Elena V. Polukhina** – Doct. of Sci. (Med.), Associate Professor, Professor of Division of Radiology and Functional Diagnostics, Postgraduate Institute for Public Health Workers, Khabarovsk.  
<https://orcid.org/0000-0002-8760-4880>

**Correspondence\*** to Dr. Elena V. Polukhina – e-mail: [polukhina@inbox.ru](mailto:polukhina@inbox.ru)

The article presents a pictorial literature review on ultrasound evaluation of arteriovenous fistula for hemodialysis in patients with end-stage renal failure. Native arteriovenous fistula (AVF) is considered the “gold standard” of vascular access. Nowadays ultrasound is the first-line imaging modality of management of patients receiving hemodialysis treatment at all stages. The article highlights the role of ultrasound in preoperative assessment when planning the AVF creation, assessing the maturation of vascular access, as well as early detection of its dysfunction. The main complications of arteriovenous fistulas are presented, and examples of their diagnosis using the ultrasound are given.

**Keywords:** arteriovenous fistula; hemodialysis; vascular access; ultrasound

**Conflict of interests.** The authors have no conflicts of interest to declare.

**Financing.** This study had no sponsorship.

**Citation:** Polukhina E.V. Ultrasound evaluation of arteriovenous fistula for hemodialysis. *Ultrasound and Functional Diagnostics.* 2024; 4: 93–114. <https://doi.org/10.24835/1607-0771-287> (In Russian)