

АЛГОРИТМ ДУПЛЕКСНОГО СКАНИРОВАНИЯ ПОСТОЯННОГО СОСУДИСТОГО ДОСТУПА ДЛЯ ГЕМОДИАЛИЗА

Коэн В.С.¹, Захматова Т.В.^{1,2}, Себелев К.И.²

Цель исследования. Разработать алгоритм ультразвукового исследования постоянного сосудистого доступа (ПСД) для гемодиализа.

Материалы и методы. Дуплексное сканирование выполнено 54 пациентам перед формированием доступа и 146 пациентам с сформированным ПСД. Оценивали приводящую артерию, зону анастомоза артерии и вены, отводящую вену на всем протяжении, определяли диаметр сосудов, линейные скоростные показатели и объемную скорость кровотока (ОСК).

Результаты. У 9,3% пациентов сосуды предплечья недоминантной руки были непригодны к формированию ПСД, что привело к созданию доступа на доминантной руке, у 13,0% была сформирована проксимальная (плечевая) фистула в связи с небольшим диаметром сосудов на предплечьях. Размер анастомоза, при котором фистула не достигла успешного созревания, составил $2,2 \pm 0,3$ мм. Адекватное функционирование ПСД наблюдалось при ОСК в фистуле равной 600–1500 мл/мин, в протезе – 800–1700 мл/мин. Осложнения были выявлены у 43,8% пациентов, из них стеноз наблюдался в 19,9% случаях, тромбоз отводящей вены – в 13,0%, аневризматическая дилатация вены – в 8,2%, ишемический синдром обкрадывания кисти – 2,7%.

Обсуждение. Для создания ПСД подходит артерия диаметром более 2,0 мм, вена – не менее 2,5 мм при глубине залегания не более 5–6 мм. Минимальная ОСК, способная обеспечить эффективный гемодиализ, составляет 350–400 мл/мин, оптимальная – не менее 600 мл/мин в фистуле и 800 мл/мин в протезе. Критериями стеноза являются пиковая систолическая скорость в зоне стеноза более 400 см/с, отношение скоростных показателей в престенотической и постстенотической зонах больше 2,0 и снижение ОСК. Причинами синдрома обкрадывания кисти считают стенозы приводящей артерии, избыточное шунтирование крови через анастомоз в результате его большого диаметра и патологию микроциркуляторного русла кисти.

Заключение. В результате исследования был разработан алгоритм дуплексного сканирования сосудистого доступа для гемодиализа.

Ключевые слова: артериовенозная фистула, гемодиализ, дуплексное сканирование, стеноз, тромбоз, синдром обкрадывания кисти.

Контактный автор: Коэн В.С., e-mail: valeriia.koen@gmail.com

Для цитирования: Коэн В.С., Захматова Т.В., Себелев К.И. Алгоритм дуплексного сканирования постоянного сосудистого доступа для гемодиализа. REJR 2020; 10(1):83-93. DOI:10.21569/2222-7415-2020-10-1-83-93.

Статья получена: 15.02.20

Статья принята: 01.03.20

ALGORITHM OF DUPLEX ULTRASOUND OF PERMANENT VASCULAR ACCESS FOR HEMODIALYSIS

Koen V.S.¹, Zahmatova T.V.^{1,2}, Sebelev K.I.²

Purpose. To design the algorithm of vascular access for hemodialysis ultrasound examination.

Materials and methods. Duplex ultrasound was performed in 54 patients before vascular access creation and in 146 patients with functioning access. Inflow artery, anastomosis, outflow vein were evaluated, vessels diameters, peak systolic velocity and access flow were measured.

1 - ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова» Минздрава России.

г. Санкт-Петербург, Россия.

2 - ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова» Минздрава России.

г. Санкт-Петербург, Россия.

1 - North-West State Medical University named after I. I. Mechnikov Ministry of Healthcare Russia.

2 - National medical research center named after V. A. Almazov Ministry of Healthcare Russia.

Saint Petersburg, Russia.

Results. In 9.3% of patients forearm vessels of non-dominant arm were unsuitable for vascular access creation, that caused access formation on dominant arm, in 13.0% proximal fistula was created. Anastomosis diameter of failing to mature fistulas was 2.2 ± 0.3 mm. Adequate access functioning was observed in fistulas with access flow of 600–1500 ml/min and 800–1700 ml/min in grafts. Complications were detected in 43.8% of patients, stenosis in 19.9%, outflow vein thrombosis in 13.0%, aneurysmal dilation in 8.2%, hand ischemia in 2.7%.

Discussion. Artery with a diameter more than 2.0 mm and vein at least 2.5 mm with its depth of no more than 5-6 mm suit for creating vascular access. Minimal access flow that can provide effective hemodialysis is 350-400 ml/min, optimal – greater than 600 ml/min in fistula and 800 ml/min in graft. Criteria for stenosis are peak systolic velocity in the stenotic zone more than 400 cm/s, the ratio of peak systolic velocity in the pre-stenotic and post-stenotic zones more than 2.0 and the access flow decrease. Causes of steal syndrome are inflow artery stenosis, excessive access flow due to big anastomosis diameter and pathology of hand microcirculation.

Conclusion. As a result of the study the algorithm for duplex ultrasound of vascular access for hemodialysis was designed.

Keywords: arteriovenous fistula, hemodialysis, duplex ultrasound, stenosis, thrombosis, hand ischemia.

Corresponding author: Koen V. S., e-mail: valerija.koen@gmail.com

For citation: Koen V.S., Zahmatova T.V., Sebelev K.I. Algorithm of duplex ultrasound of permanent vascular access for hemodialysis. REJR 2020; 10(1):83-93. DOI:10.21569/2222-7415-2020-10-1-83-93.

Received: 15.02.20

Accepted: 01.03.20

В настоящее время в качестве постоянного сосудистого доступа (ПСД) для проведения процедур гемодиализа применяют следующие конструкции: нативную артериовенозную фистулу (АВФ), синтетический протез или артериовенозный графт (АВГ) и туннельный перманентный катетер [2, 16], который служит промежуточным вариантом между временным и постоянным доступом на срок созревания фистулы или графта [2]. Нетуннелированный центральный венозный катетер является временным доступом и используется при проведении гемодиализа у пациентов с острой почечной недостаточностью, реже в начале хронического гемодиализа перед формированием ПСД. Наиболее предпочтительным доступом является АВФ, однако в 30% случаев отмечается её первичная недостаточность. Этого недостатка лишен АВГ, тем не менее, продолжительность его функционирования меньше, чем у АВФ, так как он связан с большим риском развития инфекционных осложнений и большей смертностью по сравнению с нативной фистулой [2, 16]. Создание и поддержание эффективного сосудистого доступа является залогом успешной и длительной гемодиализной терапии. С учетом ограниченного ресурса сосудов у пациентов нужно стремиться к максимальной продолжительности функционирования уже сформированного ПСД путем своевременной диагностики и коррекции его

осложнений. Основным методом визуализации сосудов перед формированием ПСД и оценки его созревания является дуплексное сканирование (ДС) [11, 14, 16]. Исследование сосудов перед хирургическим вмешательством повышает эффективность функционирования ПСД, так как ДС позволяет выбрать сосуды, пригодные для формирования доступа, а ультразвуковое исследование уже сформированного доступа дает возможность выявить его осложнения, которые не всегда могут быть диагностированы с помощью клиничко-лабораторных методов [7]. Однако в настоящее время обязательное ДС сосудов на дооперационном этапе и исследование сосудистого доступа в динамике не нашли широкого применения, отсутствует единый алгоритм сканирования ПСД.

Цель исследования.

Разработать алгоритм ультразвукового исследования ПСД для гемодиализа на основании изучения параметров гемодинамики.

Материалы и методы.

ДС выполнено 54 пациентам перед формированием доступа и 146 пациентам со сформированным ПСД для гемодиализа (134 АВФ и 12 АВГ) на ультразвуковом сканере Vivid S9 линейным датчиком 7-10 МГц. Перед ультразвуковым исследованием проводили сбор анамнеза о предшествующих катетеризациях центральных и периферических вен, визуальный осмотр верхней конечности с выполнением теста Алле-

на, который позволяет оценить проходимость лучевой и локтевой артерий, адекватность коллатерального кровотока в кисти. Тест заключается в одновременном пережатии лучевой и локтевой артерий, при этом пациент сжимает кисть до возникновения бледности кожи (ишемии) в течение 1 минуты, затем снимается компрессия с локтевой (прямой тест) или лучевой (обратный тест) артерий. При восстановлении нормального цвета кисти в течение 8–10 секунд проба считается положительной и свидетельствует об адекватном функционировании коллатерального кровотока, при сохранении бледности кожи (ишемии) – проба отрицательная и позволяет предположить патологические изменения артерий предплечья, которые будут уточняться при ультразвуковом исследовании.

тяжении для исключения зон стеноза и тромбоза, измеряли диаметры поверхностных вен и глубину их залегания. Для улучшения визуализации венозного русла на плечо накладывали жгут. ДС выполняли при минимальной компрессии датчиком для снижения погрешности измерения диаметра сосудов. Если состояние сосудов недоминантной руки не позволяло сформировать ПСД, то аналогичным образом проводили исследование сосудов доминантной конечности.

При исследовании АВФ в В-режиме, режиме цветового доплеровского картирования и импульсно-волнового доплера оценивали приводящую артерию, зону анастомоза артерии и вены, отводящую вену на всем протяжении, а также вены на плече и предплечье, которые не

Таблица №1. Ультразвуковая оценка параметров ПСД для гемодиализа.

Сосуд	Измеряемые параметры
Приводящая артерия	Диаметр, объемная скорость кровотока
Зона анастомоза (артерии и вены; протеза и артерии; протеза и вены)	Диаметр, пиковая систолическая и средняя скорости кровотока
Отводящая вена	Диаметр, глубина залегания, объемная скорость кровотока
Протез	Диаметр по внутреннему и внешнему контуру, объемная скорость кровотока
Основная и головная вены на плече, не задействованные в формировании ПСД	Диаметр
Артерия дистальнее зоны соустья	Диаметр, направление кровотока, объемная скорость кровотока

При ДС изучали состояние стенок и просвета подключичной, подмышечной, плечевой, лучевой и локтевой артерий, начиная с недоминантной руки, выявляли зоны стеноза и окклюзии. Определяли диаметр сосудов, скоростные показатели кровотока и индексы периферического сопротивления. Для снижения вероятности спазма сосудов ДС проводили в теплой комнате с использованием теплого геля. Уделяли внимание наличию зон концентрической кальцификации стенок артерий, при которой в дальнейшем будет невозможна их дилатация для обеспечения необходимого объемного кровотока, что может послужить причиной первичной недостаточности и дисфункции доступа. В протоколе отражали индивидуальные анатомические особенности сосудистого русла пациента такие, как высокое деление плечевой артерии на лучевую и локтевую (выше локтевой ямки, чаще в аксиллярной области), так как данный вариант строения ассоциирован с большим риском первичной недостаточности фистулы [7, 13].

Проводили исследование поверхностных и глубоких вен предплечья и плеча на всем про-

были использованы при формировании ПСД. Обследование АВГ включало оценку проходимости и состояния стенок протеза, проксимального и дистального анастомозов протеза с артерией и веной соответственно, выявление зон стеноза и аневризматической трансформации. Изучали параметры гемодинамики в артерии дистальнее области соустья. Параметры, которые оценивались при ультразвуковом исследовании ПСД, представлены в таблице №1.

Результаты.

У 54 пациентов провели обследование артерий и вен верхних конечностей на дооперационном этапе и оценку созревания доступа. Оптимальным местом для создания доступа является предплечье недоминантной руки (табл. №2), так как пациент может обслуживать себя сам, минимально используя конечность с фистулой, и сохраняется ресурс сосудов для формирования нового ПСД на плече в случае дисфункции первого [7]. Поэтому ультразвуковое исследование следует начинать с оценки сосудов на недоминантной руке.

Для формирования фистулы считали пригодной вену диаметром более 2,3 мм на уровне

Таблица №2. Очередность выбора ПСД для гемодиализа.

Очередность	Вид ПСД
1	Радиоцефалическая фистула на недоминантной руке
2	Радиоцефалическая фистула на доминантной руке
3	Брахиоцефалическая фистула на недоминантной или доминантной руке
4	Фистула с транспозицией основной вены на плече недоминантной или доминантной руки
5	Петлевой протез на предплечье недоминантной руки
6	Петлевой протез на предплечье доминантной руки
7	Прямой протез на предплечье недоминантной или доминантной руки
8	Петлевой протез на плече недоминантной или доминантной руки
9	Протез на бедре

нижней трети предплечья и 2,5 мм на уровне верхней и средней трети предплечья, а для создания АВГ – не менее 4 мм при глубине залегания не более 5–6 мм. У 5 пациентов (9,3%) сосуды предплечья недоминантной руки были не пригодны к формированию доступа, что привело к необходимости формирования фистулы на предплечье доминантной руки. У 7 обследованных (13,0%) была сформирована проксимальная (плечевая) фистула в связи с диаметром сосудов на предплечьях, при котором невозможно адекватное созревание и функционирование АВФ. У 3 пациентов (5,6%) АВФ между головной веной и лучевой артерией на предплечье, пригодными для создания ПСД, не достигла успешного созревания в результате небольшого диаметра анастомоза и особенностей центральной гемодинамики.

Для прогнозирования эффективности созревания будущей АВФ выполняли тест сжатия-разжатия кисти в течение 2 минут. В норме вследствие снижения тонуса резистивных сосудов в ответ на физическую нагрузку трехфазный спектр кровотока в артерии становится двух- или монофазным (рис. 1). Если в конце теста индекс резистентности в артерии превышает 0,7, вероятность развития первичной недостаточности фистулы достигает 95% [13]. В нашем исследовании значение индекса резистентности после проведения теста у большинства обследованных в среднем составило $0,63 \pm 0,12$. У 3 пациентов (5,6%), страдающих сахарным диабетом 2 типа, индекс резистентности в лучевой артерии был выше 0,7, что свидетельствовало о том, что артерия не пригодна для формирования соустья.

В норме стенки вены тонкие, просвет анэхогенный, вена полностью сжимается при компрессии датчиком, кровоток синхронизирован с дыханием [6, 15]. При дооперационной оценке топографии сосудистого русла необходимо уделять внимание обнаружению крупных

притоков вены с целью их своевременной перевязки, так как они могут отводить значительную часть крови и препятствовать созреванию АВФ [7, 8]. Если головная вена не соответствовала вышеуказанным критериям, переходили к исследованию медиальной подкожной (основной) вены. В случае необходимости формирования петлевого АВГ на плече оценивали подмышечные артерию и вену.

Кроме оценки вен плеча и предплечья проводили исследование подключичной и внутренней яремной вен для исключения стеноза и тромбоза, которые могут встречаться вследствие предшествующей катетеризации вен [3, 19]. Одним из признаков перенесенного тромбоза вен является монофазный спектр кровотока, не синхронизированный с сердечным циклом и дыханием [7, 16]. Своевременная диагностика проксимальных стенозов вен на дооперационном этапе имеет особое значение для снижения риска дисфункции сосудистого доступа.

При ДС сформированного доступа оценивали созревание фистулы и выявляли осложненный её функционирования. Исследование проводили через 1, 3, 6 и 12 месяцев после операции. Для уменьшения погрешности измерения объемную скорость кровотока (ОСК) определяли трижды в зонах с ламинарным кровотоком с последующим расчетом среднего арифметического значения. Не следует определять ОСК в зонах дилатации вены, извитых участках, а также на расстоянии менее 2 см от анастомоза, так как вследствие турбулентного кровотока отмечаются существенные погрешности измерения. В среднем ОСК в фистуле через 1 месяц после операции составила $304 \pm 51,3$ мл/мин, через 3 месяца – $487 \pm 74,2$ мл/мин, через 6 месяцев – $622 \pm 102,8$ мл/мин. Проведенное нами исследование показало, что оптимальным является значение ОСК 600–1500 мл/мин в нативной фистуле и 800–1700 мл/мин в протезе. Большую роль в созревании АВФ и увеличении

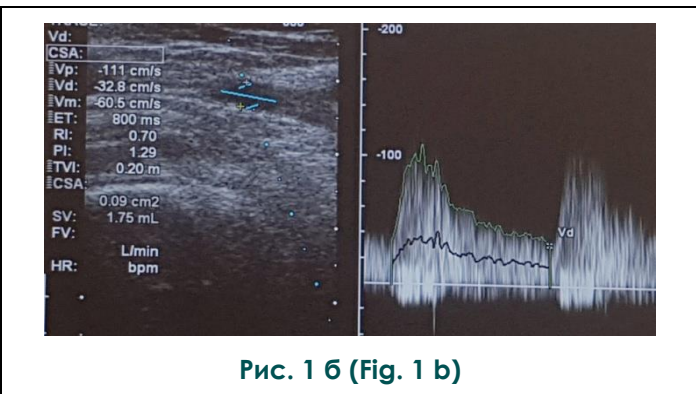
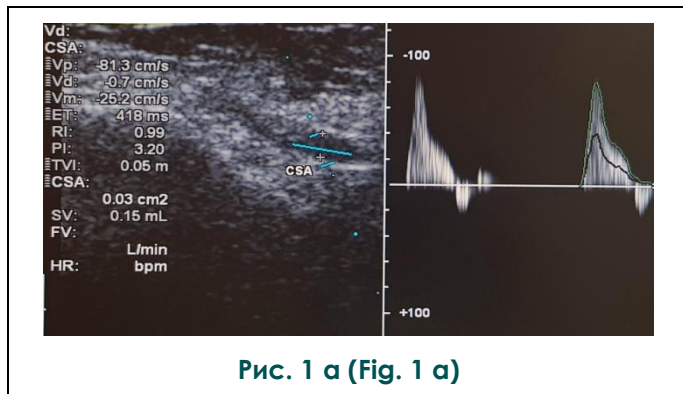


Рис. 1. УЗИ, продольное сканирование.

Эхограммы лучевой артерии в режиме импульсно-волнового доплера. а – Кровоток в лучевой артерии в покое, б – после физической нагрузки.

Fig. 1. Ultrasound, longitudinal scanning.

Sonogram of the radial artery in pulse wave Doppler mode. Blood flow in the radial artery at rest (a) and after exercise (b).

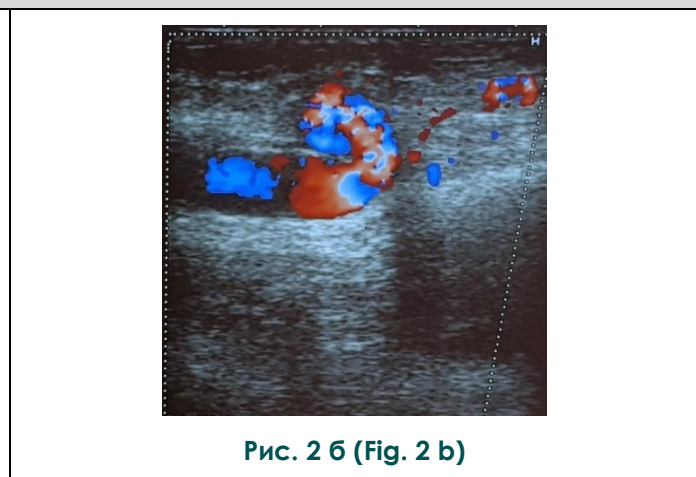
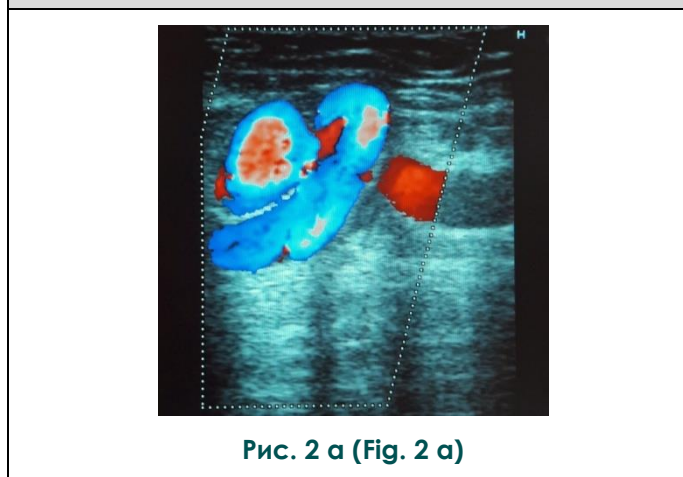


Рис. 2. УЗИ, продольное сканирование.

Эхограммы приводящей артерии в режиме цветового доплеровского картирования. а, б – Удлинение артерии с формированием петлеобразной извитости.

Fig. 2. Ultrasound, longitudinal scanning.

Sonogram of the inflow artery in color Doppler imaging mode. Elongation of the artery with the coiling tortuosity formation (a, b).

ОСК играет размер соустья. Диаметр анастомоза фистул, которые не достигли успешного созревания (5,6%, 3 пациента), в среднем составил $2,2 \pm 0,3$ мм.

Для обеспечения необходимого кровотока приносящая артерия удлиняется и расширяется, что на поздних стадиях сопровождается её аневризматической трансформацией вследствие атрофии гладкомышечных клеток меди [10].

Диаметр отводящей вены также постепенно увеличивается. АВФ считали пригодной для проведения адекватного гемодиализа при диаметре вены не менее 5 мм, глубине ее залегания не более 5–6 мм и ОСК выше 350-400

мл/мин.

Диаметр анастомоза оказывает влияние на кровоток в артерии дистальнее соустья. При небольшом размере анастомоза кровоток в артерии дистальнее анастомоза антеградный, по мере увеличения размера соустья кровоток становится двунаправленным (антеградным в систолу и ретроградным в диастолу). При большом размере соустья ток крови полностью меняет направление на ретроградное. В случае ретроградного кровотока в лучевой артерии дистальнее анастомоза кровоток осуществляется по локтевой артерии через артериальную ладонную дугу в фистульную вену. Объем крови, поступающей в АВФ из дистальной части лучевой

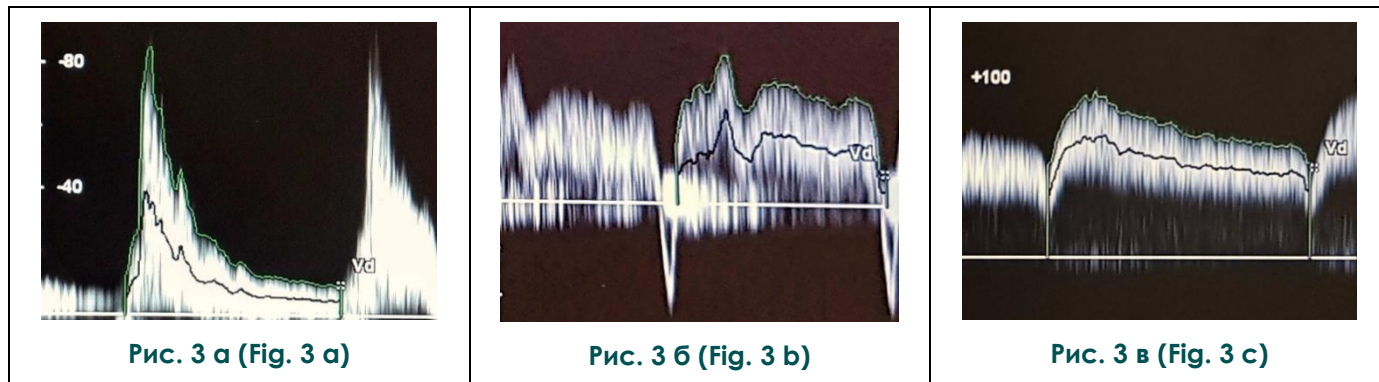


Рис. 3. УЗИ.

Эхограммы артерии дистальнее зоны анастомоза в режиме импульсно-волнового доплера: а – антеградный, б – двунаправленный, в – ретроградный кровоток.

Fig. 3. Ultrasound.

Sonogram of artery distal to the anastomotic zone in the pulse wave Doppler mode: antegrade (a), bidirectional (b) and retrograde (c) blood flow.

артерии, может достигать 20–30%. При этом в норме происходит увеличение скорости кровотока в локтевой, передней межкостной артериях и коллатеральных ветвях на предплечье для компенсации дефицита кровоснабжения кисти [2, 9, 10]. У 92 пациентов (63,0%) с ПСД выявили ретроградный кровоток в артерии дистальнее анастомоза, у 24 (16,4%) – двунаправленный кровоток (рис. 3). Показатель ОСК ретроградного потока значительно отличался (от 12 мл/мин до 650 мл/мин) и в среднем составил $148,7 \pm 94,3$ мл/мин, поэтому источниками кровоснабжения кисти являлись локтевая, передняя межкостная артерии и коллатеральные ветви.

Осложнения были выявлены у 64 пациентов (43,8%). Наиболее часто встречался рубцовый стеноз отводящей вены (17,1%, 25 человек). Стенозы зоны анастомоза и приводящей артерии были диагностированы у 2 обследованных (1,4%) в каждом случае. Зону стеноза выявляли в В-режиме как участок сужения просвета артерии более чем на 50%, диаметр свободного просвета в области гемодинамически значимого стеноза (70–90%) в среднем составил $1,5 \pm 0,4$ мм. Определяли показатели кровотока в месте стеноза, в престенотическом и постстенотическом отделах, рассчитывали отношение пиковых систолических скоростей в области стеноза и в проксимальном, дистальном участках соответственно. Пиковая систолическая скорость в зоне гемодинамически значимого стеноза отводящей вены составила в среднем $451,6 \pm 53,5$ см/с, в проксимальном отделе – $109 \pm 32,4$ см/сек. В приводящей артерии и дистальнее зоны стеноза отмечали снижение ОСК до 150–350 мл/мин (рис. 4). Для стеноза анастомоза отношение пиковых систолических скоростей в области стеноза и в престенотиче-

ском отделе считали равным 4:1 и более, учитывали увеличение скорости кровотока в анастомозе более 400–500 см/с.

У 11 обследованных (7,5%) пиковая систолическая скорость в зоне анастомоза была выше 500 см/с, однако ОСК в фистуле превышала 450 мл/мин, поэтому не следует диагностировать значимый стеноз анастомоза только на основании показателя пиковой систолической скорости. При определении степени стеноза необходимо использовать планиметрический метод (рис. 5), обращать внимание на наличие кальциноза в зоне анастомоза и обязательно определять ОСК в фистуле.

В случае отсутствия стеноза приводящей артерии или фистульной вены и низкой объемной скорости в АВФ выполняли ДС с целью выявления стеноза подключичной и внутренней яремной вен, который был диагностирован у 2 пациентов (1,4%). В обоих случаях причиной стеноза стала предшествующая катетеризация вен.

У 7 пациентов (4,8%) со стенозом отводящей вены выявили её неокклюзирующий тромбоз. Среди всех обследованных неокклюзирующий тромбоз вены (рис. 6) встречался в 15 случаях (10,3%), окклюзирующий – в 4 (2,7%). К ультразвуковым критериям тромбоза АВФ, кроме визуализации тромботических масс в просвете сосуда, относили отсутствие сжимаемости вены при компрессии датчиком и нарушение фазности кровотока при дыхании. Одной из причин тромбоза считают турбулентный характер кровотока, встречающийся при дилатации вены [6, 8]. В нашем исследовании ανεвризматическая дилатация вены выявлена у 12 пациентов (9,0%) с АВФ, из них тромбоз встречался у трети (4 человека).

Другим осложнением функционирования

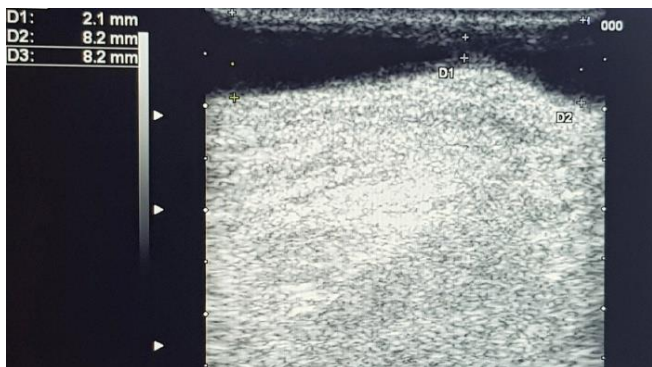


Рис. 4 а (Fig. 4 а)

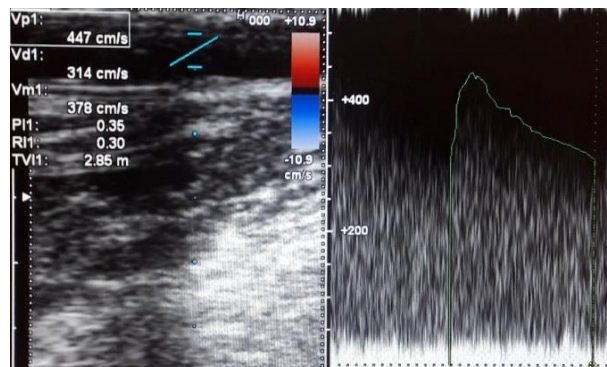


Рис. 4 б (Fig. 4 б)

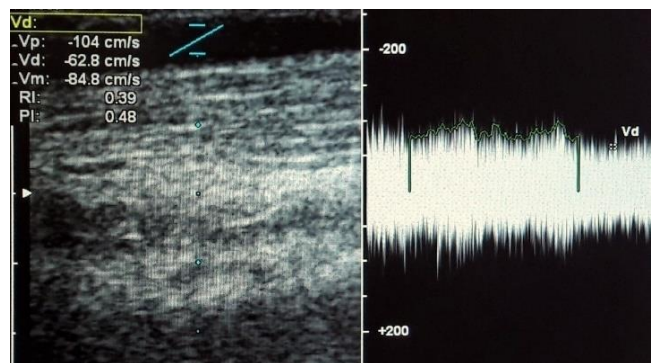


Рис. 4 в (Fig. 4 с)

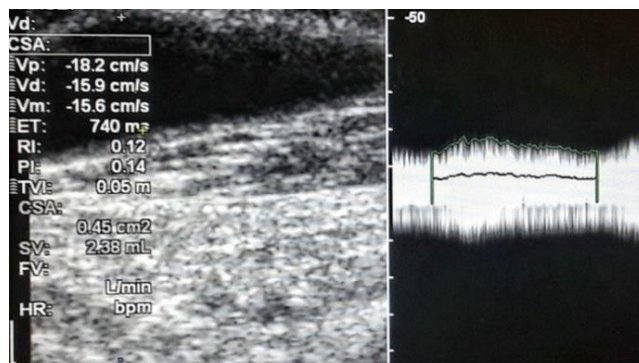


Рис. 4 г (Fig. 4 д)

Рис. 4. УЗИ, продольное сканирование.

Эхограммы отводящей вены: а – область стеноза в В-режиме (свободный просвет вены равен 2,1 мм), б – скоростные показатели в зоне стеноза (пиковая систолическая скорость 447 см/с), в – скоростные показатели проксимальнее области сужения (пиковая систолическая скорость 104 см/с), г – ОСК в отводящей вене дистальнее зоны стеноза (238 мл/мин).

Fig. 4. Ultrasound, longitudinal scanning.

Sonogram of the outflow vein: a - stenotic area in B-mode (vein lumen is 2,1 mm), b - velocity in the stenotic area (peak systolic velocity is 447 cm/s), c - velocity in proximal to the narrowing area (peak systolic velocity is 104 cm/s), d - access flow in the outflow vein distal to the stenotic zone (238 ml/min).

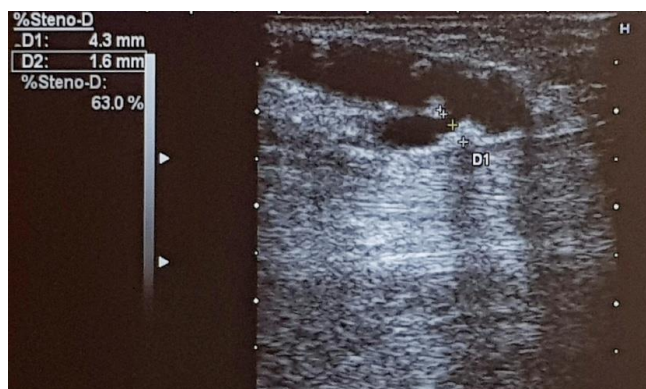


Рис. 5 (Fig. 5)

Рис. 5. УЗИ, продольное сканирование.

Эхограмма зоны анастомоза в В-режиме. Расчет степени стеноза анастомоза по диаметру.

Fig. 5. Ultrasound, longitudinal scanning.

Sonogram of the anastomosis zone in B-mode. Calculation of the stenosis degree in diameter.

АВФ является ишемический синдром обкрадывания кисти. Стил-синдром был выявлен у 4 обследованных (2,7%), когда встречались клинические проявления синдрома (боль, парестезии, цианоз и трофические нарушения кожи пальцев кисти). В половине случаев они наблюдались у пациентов с увеличенной ОСК (2,3 л/мин и 2,8 л/мин), а у 2 пациентов – со средними значениями ОСК (0,93 л/мин и 1,2 л/мин). Статистически значимых отличий в диаметрах анастомоза и отводящей вены у пациентов с синдромом обкрадывания кисти и без него не выявили. Причинами синдрома обкрадывания являлись изменения лучевой артерии на фоне сахарного диабета и атеросклероза, что делает невозможным прирост кровотока по артериям предплечья; избыточное шунтиро-

вания. Данный компенсаторный механизм способствует увеличению притока крови в микроциркуляторное русло кисти и является важным механизмом адаптации кисти к гипоперфузии. При синдроме обкрадывания кисти реакция на физическую нагрузку отсутствовала, что указывает на срыв компенсаторных механизмов ауторегуляции кровотока в кисти. Важное значение для компенсации кровотока в кисти имеет увеличение скорости кровотока по локтевой (ОСК составила $269,5 \pm 70,5$ мл/мин) и передней межкостной (ОСК равна $75,3 \pm 26,9$ мл/мин) артериям, а также многочисленным коллатеральным ветвям на предплечье.

Обсуждение.

При диаметре артерии менее 2 мм адекватного созревания АВФ не происходит, что



Рис. 6 а (Fig. 6 а)



Рис. 6 б (Fig. 6 б)

Рис. 6. УЗИ, поперечное сканирование.

Эхограммы отводящей вены в В-режиме. а, б – Неокклюзирующий тромбоз вены.

Fig. 6. Ultrasound, cross scanning.

Sonogram of the outflow vein in B-mode. Non-occlusive vein thrombosis (a, b).

вание крови через анастомоз в результате его большого диаметра, ведущее к значительной дилатации вены и увеличению ОСК; а также патология микроциркуляторного русла кисти и нарушение механизмов регуляции тонуса резистивных сосудов. К развитию стил-синдрома предрасполагают такие анатомические особенности строения пальмарных дуг, как неполный вариант их строения.

При ДС была проведена проба с физической нагрузкой (сжимание-разжимание кисти в кулак) для оценки состояния компенсаторных механизмов ауторегуляции кровотока в кисти (рис. 7). При пробе с физической нагрузкой показатель ОСК у 45 обследованных (30,8%) увеличился на $53,8 \pm 8,3\%$ меньше по сравнению с контрлатеральной конечностью, что свидетельствует о резком снижении тонуса резистивных сосудов и уровня периферического сопротивле-

совпадает с мнением других авторов, которые не рекомендуют формировать соустье с артерией данного диаметра [4, 7, 8, 15, 16]. Установлено, что для формирования фистулы пригодна вена диаметром не менее 2,5 мм, а для создания АВГ диаметр вены должен быть не менее 4 мм при глубине залегания не более 5–6 мм [7, 8, 12, 13, 15, 16, 18, 19].

К понятию «созревание фистулы» в первую очередь относят увеличение ОСК и диаметра отводящей вены [9]. После формирования соустья в результате значительного градиента давления между артерией и веной происходит резкое увеличение ОСК в артерии, она может увеличиться в 5–10 раз интраоперационно и на 50–100% в дальнейшем [2, 9, 10]. Доказано, что при диаметре соустья, составляющем около 20% диаметра приносящей артерии, существенного изменения ОСК и созревания

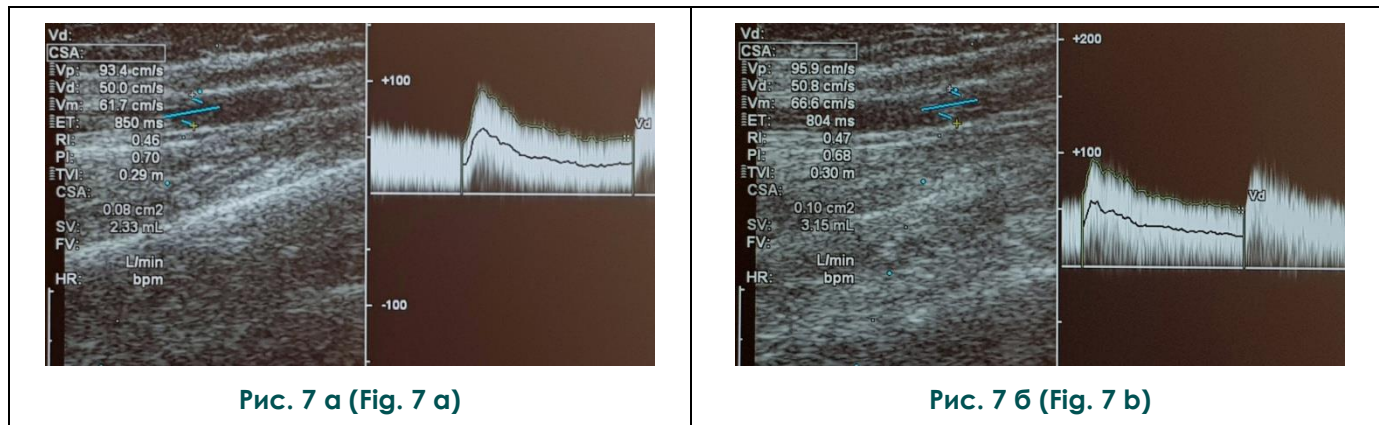


Рис. 7 а (Fig. 7 а)

Рис. 7 б (Fig. 7 б)

Рис. 7. УЗИ, продольное сканирование.

Эхограммы лучевой артерии в режиме импульсно-волнового доплера. а – Линейные и объемная скорости кровотока в покое, б – увеличение скоростных показателей (ОСК на 26%) после нагрузки.

Fig. 7. Ultrasound, longitudinal scanning.

Sonogram of the radial artery in pulse wave Doppler mode. Peak systolic velocity and access flow at rest (a), increase of access flow (26%) after exercise (b).

фистулы не происходит. При формировании анастомоза размером около 75% диаметра артерии кровотоки в АВФ значительно увеличивается, а при последующем увеличении размера анастомоза отмечается дальнейший, но умеренный рост ОСК в отводящей вене [10].

Минимальная объемная скорость, способная обеспечить эффективный гемодиализ, составляет 350–400 мл/мин [10, 18]. Однако данная ОСК не является достаточной для снижения риска образования тромбов. Согласно американским и европейским клиническим рекомендациям, оптимальная скорость кровотока составляет не менее 600 мл/мин в нативной АВФ и не менее 800 мл/мин в АВГ [18, 19]. С увеличением объемного кровотока на каждые 100 мл/мин частота первичной недостаточности и осложнений снижается на 10% [1]. Однако повышение скоростных показателей в сосудистом доступе увеличивает нагрузку на правые камеры сердца, и возрастает риск развития хронической сердечной недостаточности. Установлено, что ОСК в фистуле не должна превышать 30% от сердечного выброса, в среднем составляя не более 1500–2000 мл/мин [5, 18]. Имеются данные о влиянии высокой скорости кровотока в АВФ на развитие таких осложнений, как ишемический синдром обкрадывания кисти и стеноз отводящей вены [2, 8, 9].

Минимальный диаметр вены, пригодной для пункции и адекватного гемодиализа, составляет 4–6 мм при глубине залегания не более 5–6 мм [7, 8, 15, 16, 18, 19]. Рабочая группа NKF KDOQI предложила правило шестерок для оценки пригодности фистулы к проведению гемодиализа: диаметр отводящей вены должен быть не менее 6 мм, глубина залегания вены не больше 6 мм, ОСК в фистуле должна быть выше

600 мл/мин [18].

Критериями стеноза АВФ более 50% считают пиковую систолическую скорость в зоне стеноза более 400 см/с, отношение пиковых систолических скоростей в престенотической и постстенотической зонах больше 2,0 и ОСК в отводящей вене менее 500 мл/мин [7]. Ультразвуковая диагностика стеноза АВФ должна основываться на определении пиковой систолической скорости в зоне стеноза, в престенотической и постстенотической отделах, ОСК дистальнее зоны стеноза, расчете отношения пиковых систолических скоростей в зоне стеноза и в проксимальном, дистальном участках соответственно. При снижении ОСК на 25% по сравнению с результатами предыдущего ДС следует исключать стеноз [6, 9, 10, 16, 17, 18].

Основными причинами тромбоза АВФ являются рубцовый стеноз вены, нарушение реологических свойств крови, связанное с повышением уремических токсинов у пациентов с хронической болезнью почек, низкое системное артериальное давление и постоянная травма сосуда вследствие многократных пункций в локальной зоне [1, 4, 6, 10, 17, 18]. Установлено, что для снижения образования тромбов необходимо формирование фистулы с достаточной доступной для пункций длиной отводящей вены – не менее 30–35 см [5].

Среди факторов, предрасполагающих к развитию синдрома обкрадывания кисти, описаны большой диаметр соустья и дилатация отводящей вены, ведущие к увеличению объемного кровотока в ПСД, патология периферических артерий [2, 3]. По нашим данным, существенное значение для развития стил-синдрома имеет состояние артерий предплечья, не участвующих в формировании фистулы, и микроцир-

куляторного русла кисти, а также сохранение компенсаторных механизмов ауторегуляции кровотока. Компенсация кровотока в кисти осуществляется по локтевой, передней межкостной артериям и коллатеральным ветвям на предплечье.

Заключение.

Таким образом, в результате исследования был разработан алгоритм ДС сосудистого доступа для гемодиализа, который включает последовательную оценку:

- 1) приводящей артерии;
- 2) зоны анастомоза артерии и отводящей вены;
- 3) отводящей вены на всем протяжении, анатомических особенностей ее хода и наличия притоков;
- 4) области слияния отводящей вены с промежуточной веной локтя либо головной (основной, плечевой) венами в зависимости от вида ПСД;
- 5) основной и головной вен на протяжении плеча в случаях формирования АВФ на предплечье;
- 6) основной или головной вены на плече, которая не использована при формировании АВФ на плече;
- 7) протеза на всем протяжении;
- 8) области проксимального и дистального анастомозов протеза с артерией и веной соот-

ветственно;

9) ипсилатеральных подключичной и внутренней яремной вен;

10) артерии дистальнее зоны формирования соустья.

Необходимо определять следующие количественные показатели: диаметры приводящей артерии, анастомоза, отводящей вены, протеза, головной, основной вен на плече, не задействованных в формировании ПСД; глубину залегания отводящей вены; линейную скорость кровотока в зоне анастомоза; ОСК в приводящей артерии, отводящей вене и в артерии дистальнее соустья. Оценивают направление кровотока в артерии дистальнее зоны анастомоза. С целью уменьшения погрешности при расчете ОСК ее следует измерять в зонах с ламинарным кровотоком трижды с последующим расчетом среднего арифметического значения. Перед выполнением ДС целесообразно проводить сбор анамнеза, визуальный осмотр верхней конечности и тест Аллена.

Источник финансирования и конфликт интересов.

Авторы данной статьи подтвердили отсутствие финансовой поддержки исследования и конфликта интересов, о которых необходимо сообщить.

Список Литературы:

1. Васильев А.Н., Михеева Ю.С., Смирнов А.В. Патофизиология артериовенозной фистулы. *Нефрология*. 2015; 19 (66): 61–72.
2. Гринев К.М. Пути улучшения диагностики и хирургического лечения гемодинамических осложнений артериовенозных фистул для хронического гемодиализа. Дис. докт. мед. наук. СПб., 2016. 215 с.
3. Гринев К.М., Карпов С.А., Алферов С.В. Нетромботические осложнения постоянного сосудистого доступа при программном гемодиализе и способы их хирургической коррекции. *Вестник СПбГУ. Медицина*. 2017; 12 (4): 340–353.
4. Манафов Э.Н. Постоянный сосудистый доступ для гемодиализа: хирургическая тактика. Дис. ... канд. мед. наук. М., 2015. 109 с.
5. Попов А.Н. Оптимальные варианты длительно функционирующих артериовенозных фистул у пациентов, находящихся на хроническом гемодиализе. Дис. ... канд. мед. наук. Екатеринбург, 2015. 129 с.
6. Хатчинсон С.Дж., Холмс К.К. Ультразвуковая диагностика в ангиологии и сосудистой хирургии. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2018. 400 с.
7. Цвибель В.Дж., Пелерито Дж.С. Ультразвуковое исследование сосудов. 5-е издание. М.: Видар, 2008. 646 с.
8. Шольц Х. Сосудистый доступ для гемодиализа. Пер. с англ. под ред. Гуркова А.С. М.: Практическая медицина, 2019. 262 с.
9. Agarwal A.K., Shah R., Haddad N.J. Access blood flow testing. *Seminars in dialysis*. 2014; 27 (6): 595–598.
10. Aragoncillo I., Abad S., Caldés S., Amézquita Y., Vega A., Cirugeda A. et al. Adding access blood flow surveillance reduces thrombosis and improves arteriovenous fistula patency: a randomized controlled trial. *JVA*. 2017; 18 (4): 352–358.
11. Itoga N.K., Ullery B.W., Tran K., Lee G.K., Aalami O.O., Bech F.R. et al. Use of a proactive duplex ultrasound protocol for hemodialysis access. *J. Vasc. Surg.* 2016; 64 (4): 1042–1049.
12. Marques M.G., Ponce P. Pre-operative assessment for arteriovenous fistula placement for dialysis. *Semin Dial.* 2017; 30 (1): 58–62.
13. Ferring M.M. An investigation into factors predicting patency and maturation of arteriovenous fistulae used for haemodialysis in endstage renal disease. 2013. 161 с.
14. Mudoni A., Caccetta F., Caroppo M., Musio F., Accogli A., Zacheo M.D. et al. Echo color doppler ultrasound: a valuable diagnostic tool in the assessment of arteriovenous fistula in hemodialysis patients. *J Vasc Access*. 2016; 17 (5): 446–452.
15. Murakami M., Sakaguchi G., Mori N. Arteriovenous fistula combined with brachial artery superficialization is effective in patients with a high risk of maturation failure. *J. Vasc. Surg.* 2017; 65 (2): 452–458.
16. Pietryga J.A., Little M.D., Robbin M.L. Sonography of arteriovenous fistulas and grafts. *Seminars in dialysis*. 2017; 30 (4): 309–318.
17. Quencer K.B., Kidd K., Kinney T. Preprocedure evaluation of a dysfunctional dialysis access. *Elsevier*. 2017; 20 (1): 20–30.
18. Vascular access work group. Clinical practice guidelines for vascular access. *Am. J. Kidney*. 2006; 48 (1): S248–S273.

19. Vascular access work group. EBPG on vascular access. *Nephrol. Dial. Transplant.* 2007; 22 (2): ii88–ii117.

References:

1. Vasil'ev A.N., Miheeva J.S., Smirnov A.V. Pathophysiology of arteriovenous fistula. *Nefrologija.* 2015; 19 (66): 61–72 (in Russian).
2. Grinev K.M. Ways to improve the diagnostics and surgical treatment of hemodynamic complications of arteriovenous fistulas for hemodialysis. *Doct.diss. Saint-Petersburg.* 2016. 215 p. (in Russian).
3. Grinev K.M., Karpov S.A., Alferov S.V. Non-thrombotic complications of permanent vascular access for hemodialysis and methods of its surgical treatment. *Vestnik SPbGU. Medicina.* 2017; 12 (4): 340–353 (in Russian).
4. Manafov Je.N. Permanent vascular access for hemodialysis: surgical tactics. *Candidate's thesis. Moscow.* 2015. 109 p. (in Russian).
5. Popov A.N. Optimal variants of long-term functioning arteriovenous fistulas in hemodialysis patients. *Candidate's thesis. Ekaterinburg.* 2015. 129 p. (in Russian).
6. Hatchinson S.J., Holms K.K. Ultrasound diagnostics in angiology and vascular surgery. *Moscow: GJeOTAR-Media.* 2018. 400 p. (in Russian).
7. Cvibel' V.J., Pelerito J.S. Ultrasound examination of vessels. *5-e izdanie. Moscow: Vidar.* 2008. 646 p. (in Russian).
8. Shol'c H. Vascular access for hemodialysis. *Per. s angl. pod red. Gurkova A.S. Moscow: Prakticheskaja medicina.* 2019. 262 p. (in Russian).
9. Agarwal A.K., Shah R., Haddad N.J. Access blood flow testing. *Seminars in dialysis.* 2014; 27 (6): 595–598.
10. Aragoncillo I., Abad S., Caldés S., Amézquita Y., Vega A., Cirugeda A. et al. Adding access blood flow surveillance reduces thrombosis and improves arteriovenous fistula patency: a randomized controlled trial. *JVA.* 2017; 18 (4): 352–358.
11. Itoga N.K., Ullery B.W., Tran K., Lee G.K., Aalami O.O., Bech F.R. et al. Use of a proactive duplex ultrasound protocol for hemodialysis access. *J. Vasc. Surg.* 2016; 64 (4): 1042–1049.
12. Marques M.G., Ponce P. Pre-operative assessment for arteriovenous fistula placement for dialysis. *Semin Dial.* 2017; 30 (1): 58–62.
13. Ferring M.M. An investigation into factors predicting patency and maturation of arteriovenous fistulae used for haemodialysis in endstage renal disease. 2013. 161 p.
14. Mudoni A., Caccetta F., Caroppo M., Musio F., Accogli A., Zacheo M.D. et al. Echo color doppler ultrasound: a valuable diagnostic tool in the assessment of arteriovenous fistula in hemodialysis patients. *J Vasc Access.* 2016; 17 (5): 446–452.
15. Murakami M., Sakaguchi G., Mori N. Arteriovenous fistula combined with brachial artery superficialization is effective in patients with a high risk of maturation failure. *J. Vasc. Surg.* 2017; 65 (2): 452–458.
16. Pietryga J.A., Little M.D., Robbin M.L. Sonography of arteriovenous fistulas and grafts. *Seminars in dialysis.* 2017; 30 (4): 309–318.
17. Quencer K.B., Kidd K., Kinney T. Preprocedure evaluation of a dysfunctional dialysis access. *Elsevier.* 2017; 20 (1): 20–30.
18. Vascular access work group. Clinical practice guidelines for vascular access. *Am. J. Kidney.* 2006; 48 (1): S248–S273.
19. Vascular access work group. EBPG on vascular access. *Nephrol. Dial. Transplant.* 2007; 22 (2): ii88–ii117.