

# Современные представления о параметрах гемодинамики в артериовенозной фистуле для гемодиализа (обзор литературы)

В. С. Коэн\*, Т. В. Захматова

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

## Modern View on Hemodynamic Parameters in Arteriovenous Fistula for Hemodialysis (Literature Review)

V. S. Koen\*, T. V. Zahmatova

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

### Реферат

Социально-экономическая значимость хронической болезни почек в терминальной стадии обусловлена тем, что требуются дорогостоящие методы лечения. Число пациентов, находящихся на программном гемодиализе, ежегодно увеличивается, большинство из них трудоспособного возраста. Наиболее предпочтительным сосудистым доступом для гемодиализного лечения является артериовенозная фистула, однако ее дисфункция встречается более чем у 30 % пациентов. Адекватное долгосрочное функционирование фистулы зависит от ее успешного созревания, своевременной диагностики и устранения возможных осложнений постоянного сосудистого доступа. Основным методом диагностики дисфункции артериовенозной фистулы является дуплексное сканирование, позволяющее определить диаметр, состояние стенок и просвета сосудов, объемную скорость кровотока, выявить такие осложнения, как стеноз приводящей артерии, зоны анастомоза и отводящей вены, тромбоз фистулы, синдром обкрадывания кисти. Ультразвуковая диагностика осложнений сосудистого доступа позволяет провести их своевременную коррекцию, что увеличивает продолжительность адекватного функционирования фистулы.

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

\* Коэн Валерия Сергеевна, аспирант кафедры лучевой диагностики ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И. И. Мечникова» Минздрава России.  
Адрес: 191015, г. Санкт-Петербург, ул. Кирочная, д. 41.  
Тел.: +7 (921) 573-71-52. Электронная почта: valeriia.koen@gmail.com  
ORCID.org/0000-0002-3280-5714

Koen Valeriia Sergeevna, Postgraduate, Department of Radiology, North-West State Medical University named after I. I. Mechnikov, Ministry of Healthcare Russia.  
Address: 41, ul. Kirochnaya, St. Petersburg, 191015, Russia.  
Phone number: +7 (921) 573-71-52. E-mail: valeriia.koen@gmail.com  
ORCID.org/0000-0002-3280-5714

## Abstract

The social and economic importance of the chronic kidney disease at the terminal stage is caused by expensive methods of treatment, number of hemodialysis patients that increases annually and the fact that most of them are of working-age. The most preferred vascular access for hemodialysis is the arteriovenous fistula, however its dysfunction occurs at more than 30 % of cases. Adequate long-term fistula functioning depends on its successful maturation, early diagnostics and elimination of vascular access possible complications. The main diagnostic method of the arteriovenous fistula dysfunction is duplex ultrasound that allows to determine diameters, the walls condition and vessels lumen, access flow, to reveal such complications as stenosis of the inflow artery, anastomosis zone and outflow vein, fistula thrombosis, hand ischemia syndrome. Ultrasound diagnostics of vascular access complications allows to provide its early correction that increases duration of fistula adequate functioning.

**Key words:** Arteriovenous Fistula, Hemodialysis, Duplex Ultrasound, Stenosis, Thrombosis, Hand Ischemia.

## Актуальность

Хроническая болезнь почек занимает особое место среди хронических инфекционных болезней, так как в терминальной стадии она приводит к резкому снижению качества жизни пациентов и требует дорогостоящих методов лечения [6]. Доля гемодиализа среди других методов заместительной почечной терапии составляет до 95 %. В мире более 2 млн пациентов с терминальной почечной недостаточностью находятся на программном гемодиализе [5], и диализная популяция увеличивается каждый год. Социально-экономическая значимость заболевания определяется тем, что большинство пациентов трудоспособного возраста, — средний возраст в разных странах составляет от 49 до 65 лет [3].

Наиболее предпочтительным сосудистым доступом для гемодиализа является артериовенозная фистула (АВФ), так как она связана с меньшим риском инфекционных осложнений и меньшей смертностью по сравнению с артериовенозным протезом и туннельным перманентным катетером. Однако дисфункция АВФ встречается более чем у 30 % пациентов, а максимальная продолжи-

тельность ее функционирования редко превышает 4 года. При этом длительность пребывания пациента на гемодиализной терапии может достигать 20 лет и более [2, 4, 6, 16]. Эффективное долгосрочное лечение во многом зависит от успешного созревания и функционирования постоянного сосудистого доступа. Учитывая ограниченный ресурс сосудов у пациентов, следует стремиться к максимальной продолжительности функционирования уже сформированной АВФ путем своевременной диагностики и коррекции ее осложнений. Основным методом диагностики дисфункции сосудистого доступа является дуплексное сканирование (ДС) [1, 7, 14].

**Цель:** провести анализ литературы по вопросам ультразвуковой оценки созревания, нормального функционирования и диагностики осложнений артериовенозной фистулы для постоянного гемодиализа.

## Изменения показателей гемодинамики в АВФ при ее созревании

Большое внимание в литературе уделяется изменению параметров гемодина-

мики в созревающей АВФ. Сразу после формирования фистулы вследствие значительного градиента давления между приводящей артерией и отводящей веной происходит резкое увеличение потока крови в артерию. Несмотря на то что интраоперационное измерение объемной скорости кровотока (ОСК) не отражает реальные данные вследствие спазма сосудов и считается, что показатели могут быть занижены, большинство АВФ сразу же после формирования соустья демонстрируют увеличение скорости кровотока в 5–10 раз. Например, при формировании радиоцефальной фистулы кровотока в лучевой артерии может повыситься с 20 до 200 мл/мин непосредственно после операции. Диапазон значений ОСК может сильно отличаться у разных пациентов и в среднем равен 50–500 мл/мин. В проксимальной (плечевой) АВФ скорость кровотока, измеренная интраоперационно сразу после формирования фистулы, в среднем составляет 700–1000 мл/мин и возрастает на 50–100 % по мере увеличения диаметра сосудов [2, 3, 5]. Приносящая артерия со временем удлиняется и расширяется для обеспечения достаточного кровотока. Увеличение диаметра и длины артерии сопровождается ее аневризматической дегенерацией в поздних стадиях вследствие атрофии гладкомышечных клеток меди [2].

Большую роль в созревании фистулы и увеличении ОСК играет размер наложенного анастомоза. Исследования показали, что при диаметре соустья, составляющем около 20 % диаметра приносящей артерии, существенного изменения ОСК и созревания фистулы не происходит. При формировании анастомоза размером около 75 % диаметра артерии кровотока в АВФ значительно

увеличивается, а при последующем увеличении размера анастомоза отмечается дальнейший, но умеренный рост ОСК в отводящей вене [2]. Другие авторы считают, что при диаметре соустья в 1,5 раза больше диаметра приносящей артерии кровотока возрастает в 5,6 раза, а при диаметре, превышающем в 3 раза, ОСК увеличивается в 8 раз. При этом ремоделирование происходит и в самом анастомозе, который увеличивается в размере, что приводит к дополнительному возрастанию кровотока в АВФ [3].

Увеличение ОСК в фистуле влияет на кровотока в артерии дистальнее анастомоза. При небольшом диаметре соустья направление кровотока в дистальной части лучевой артерии не меняется. По мере увеличения размера анастомоза кровотока становится двунаправленным: антероградным в систолу, ретроградным в диастолу. При большом размере соустья ток крови полностью меняет направление на ретроградное. Значительной дилатации дистальной порции артерии не происходит из-за небольшой ОСК [2, 3, 5]. В случае ретроградного кровотока в дистальной порции лучевой артерии ток крови осуществляется по локтевой артерии через артериальную ладонную дугу в фистульную вену. Объем крови, поступающей в АВФ из дистальной части лучевой артерии, может достигать 20–30 %. Происходит увеличение скорости кровотока в локтевой, передней межкостной артериях и коллатеральных ветвях на предплечье для компенсации дефицита кровоснабжения кисти [2].

К понятию «созревание фистулы» также относят увеличение диаметра вены и утолщение ее стенки (процесс артериализации вены) [5]. Резкое возрастание ОСК по фистуле приводит к

увеличению напряжения сдвига в отводящей вене. Так, величина напряжения сдвига колеблется от  $-12$  дин/см<sup>2</sup> на прямом участке фистульной вены до  $+112$  дин/см<sup>2</sup> в зонах изгиба и ближе к анастомозу, что вызывает активацию высвобождения NO, простаглицлина и EDHF, повышение концентрации цГМФ в сосудистой стенке, что приводит к расслаблению гладкой мускулатуры и дилатации вены. Одновременно с этим происходит реконструкция цитоскелета и гиперплазия неоинтимы и медиа, которые ведут к относительному уменьшению диаметра вены. NO и простаглицлин ограничивают гипертрофию сосудистой стенки, однако ее толщина должна быть достаточной для своевременного закрытия дефекта от диализной иглы после пункции и предотвращения развития гематом. Соотношение этих механизмов оказывает существенное влияние на созревание АВФ [2, 5, 18]. Препятствовать созреванию вены могут ее крупные притоки на протяжении 10 см от анастомоза, которые отводят большой объем крови. Поэтому обнаружению притоков вены следует уделять особое внимание во время дооперационной оценки топографии сосудистого русла с целью их своевременной перевязки [9]. Установлено, что минимальный диаметр отводящей вены, пригодной для пункций и адекватного гемодиализа, составляет 4–6 мм при глубине залегания не более 5–6 мм [9, 16, 18].

### **Оптимальные значения объемного кровотока в АВФ**

Среди авторов не существует единого мнения о целевом значении показателя ОСК в фистуле. Считается, что минимальная объемная скорость, способная обеспечить адекватный кровото-

ток через диализатор, составляет 350–400 мл/мин, и чем выше скорость, тем больше вероятность длительного успешного функционирования АВФ и меньше риск тромбоза фистулы [2, 18]. При снижении ОСК на каждые 100 мл/мин вероятность осложнений возрастает на 10–15 % в зависимости от уровня формирования АВФ [1]. С увеличением скорости кровотока в фистуле увеличивается нагрузка на правые камеры сердца и возрастает риск развития хронической сердечной недостаточности. Доказано, что ОСК в фистуле не должна превышать 30 % от сердечного выброса, в среднем составляя не более 1500–2000 мл/мин [1, 18]. Также имеются данные о влиянии высокой скорости кровотока в АВФ на развитие таких осложнений, как ишемический синдром обкрадывания кисти и стеноз отводящей вены. Рекомендуемые показатели ОСК в фистуле значительно отличаются у разных авторов – от 350 до 2000 мл/мин. Согласно американским и европейским клиническим рекомендациям, оптимальная скорость кровотока составляет не менее 600 мл/мин [9, 16, 18].

В литературе приводятся данные о других параметрах, способных прогнозировать эффективность созревания и длительность функционирования АВФ. Фистулы, наложенные на лучевую артерию с кровотоком более 20 мл/мин, в дальнейшем чаще адекватно функционируют. АВФ с интраоперационным кровотоком около 230 мл/мин имеют большую вероятность созревания по сравнению с фистулами с небольшой интраоперационной ОСК (в среднем 98 мл/мин) [5, 15]. Наиболее часто в качестве предикторов эффективного созревания АВФ используют значения

ОСК в фистуле и размер отводящей вены через месяц после формирования соустья. При диаметре вены больше 4 мм и объемной скорости 500 мл/мин и выше фистула адекватно функционирует в 95 % случаев, при наличии 1 критерия – в 74–76 % и лишь в 33 % случаев, если нет ни одного из признаков. Доказано, что вена диаметром менее 2,5 мм до наложения фистулы имеет плохую способность к созреванию, так же как и артерия диаметром менее 2 мм, поэтому некоторые авторы не рекомендуют формирование соустья между сосудами данного размера [6, 9, 16].

### **Стенотическое поражение сосудов, формирующих АВФ**

Фистулы, параметры гемодинамики которых не достигли целевых значений, не могут быть использованы для эффективного гемодиализа. С помощью ДС можно выявить осложнения АВФ, препятствующие ее успешному созреванию [16]. Одним из наиболее частых осложнений сосудистого доступа является стеноз. Причинами стеноза приводящей артерии могут быть атеросклеротические изменения и сахарный диабет. Стеноз отводящей вены связан с высокой скоростью кровотока, многократными пункциями в локальной зоне, турбулентным кровотоком и вибрацией, постоянно травмирующими стенку вены [3, 6, 9]. Гистологические исследования демонстрируют скопление миофибробластов, фибробластов и фиброцитов в субэндотелиальном слое интимы, что служит признаком повышенной метаболической активности клеток, которая развивается вследствие вышеуказанных повреждающих факторов [3, 9]. Зона стеноза может быть выявлена при ДС в В-режиме как участок уменьшения про-

света сосуда не менее чем на 50 % [16]. Однако, учитывая возможную неравномерность диаметра отводящей вены при длительном функционировании фистулы, извитость ее хода с формированием острых углов, а также для оценки гемодинамической значимости стеноза, следует использовать другие критерии. Определяют показатели кровотока в месте предполагаемого стеноза и на 2 см ниже, рассчитывают отношение пиковой систолической скорости в месте стеноза и в проксимальном участке. Если данное отношение превышает 2:1, то диагностируют стеноз более 50 % приносящей артерии или дренирующей вены. Для стеноза зоны анастомоза данный показатель равен 3:1 и более, также учитывают увеличение пиковой систолической скорости в зоне анастомоза более 400–500 см/с [9, 16, 17]. Некоторые авторы рекомендуют сравнивать скорость кровотока в зоне стеноза и в дистальном отделе, при этом считают, что при стенозе более 50 % соотношение составляет более 2 для стеноза артерии и вены, 3 и более для стеноза зоны анастомоза при максимальной систолической скорости более 400 см/с в зоне стеноза для всех локализаций [8, 9].

Гемодинамически значимые стенозы приводят к снижению ОСК в дистальных отделах. Установлено, что о наличии стеноза более 50 % свидетельствует снижение объемной скорости менее 500 мл/мин, а также уменьшение ОСК на 25 % по сравнению с данными предыдущего исследования [8, 10, 11, 17, 18]. В качестве критерия значимого стенозирования отводящей вены предлагают использовать диаметр свободного просвета вены в зоне стеноза менее 2,7 мм с чувствительностью 90 % и специфичностью 80 % [16].



В случае отсутствия стеноза приводящей артерии или фистульной вены при низкой объемной скорости в АВФ следует продолжить поиск с целью выявления стеноза подключичной и внутренней яремной вен [16, 18]. По данным литературы частота центральных стенозов составляет от 5 до 20 %. Их наиболее частой причиной служит предшествующая катетеризация вен [4, 18]. Своевременная диагностика стенозов ипсилатеральных подключичной и внутренней яремной вен, а также дистальных отделов головной или основной вен на дооперационном этапе имеет особое значение для снижения риска дисфункции сосудистого доступа [4].

### **Тромбоз АВФ**

Уменьшение ОСК в фистуле в результате стеноза приводит к формированию тромбов [6, 10, 11, 18]. По данным разных авторов, тромбоз АВФ встречается в 70–95 % случаев, при этом стеноз фистулы обнаруживают в 85 % тромбированных доступов. Другими причинами тромбоза являются нарушение реологических свойств крови, связанное с повышением уремических токсинов у пациентов с хронической болезнью почек, а также низкое системное артериальное давление и постоянная травма сосуда вследствие многократных пункций в локальной зоне [2, 17]. Установлено, что для снижения тромбообразования необходимо формирование фистулы с достаточно доступной для пункций длиной отводящей вены – не менее 30–35 см [7]. Исследования показали, что риск тромбоза значительно уменьшается при минимальной ОСК в фистуле около 580 мл/мин [13]. Кроме визуализации тромботических масс в просвете сосуда ультразвуковыми критериями тромбоза

АВФ являются отсутствие сжимаемости вены и нарушение фазности кровотока при дыхании [8].

Еще одним фактором риска тромбоза АВФ является аневризматическая дилатация фистульной вены. Ее формированию способствуют многочисленные пункции, локализация в области слияния с притоковыми венами, в зоне клапанного аппарата, а также в ригидных зонах, образующихся вследствие предшествующих хирургических вмешательств или катетеризаций [4, 9]. Турбулентный характер кровотока в аневризме ведет к оседанию тромбоцитов на эндотелий в местах с низкой скоростью кровотока с последующей агрегацией и активацией процесса коагуляции фибрина [9].

### **Ишемический синдром обкрадывания кисти**

Другим осложнением функционирования АВФ является ишемический синдром обкрадывания кисти. Частота стил-синдрома составляет от 5 до 20 %, а встречаемость обкрадывания без явных клинических проявлений – от 67 до 95 % [2, 5, 8]. Спорным является вопрос о том, какие факторы ведут к его развитию. Среди причин формирования стил-синдрома наиболее часто указывают большую ОСК в фистуле (более 750–1900 мл/мин), ретроградный кровоток в дистальной части приводящей артерии, стенотическое поражение приносящего сосуда и заболевания периферических артерий [4, 6–8, 16]. Однако исследования показали, что не все пациенты с большим объемным сбросом по фистуле либо стенозом приводящей артерии имеют ишемию кисти. Изолированное наличие ретроградного кровотока в артерии

дистальнее соустья, встречающееся у 80–90 % пациентов, не приводит к синдрому обкрадывания кисти [2, 4–6]. Сброс крови из артерии напрямую в вену, минуя микроциркуляторное русло кисти, большая ОСК в фистуле, стеноз приводящей артерии в норме приводят к увеличению частоты сердечных сокращений, сердечного выброса, объемного кровотока по локтевой артерии и к развитию коллатеральных ветвей на предплечье, компенсирующих дефицит кровотока в кисти [6]. Доказано, что пациенты, страдающие сахарным диабетом, более склонны к развитию стил-синдрома в результате нарушения механизмов ауторегуляции кровотока на фоне микроангиопатии [5–7, 12]. Таким образом, ишемический синдром обкрадывания кисти является мультифакториальной патологией, определяющую роль в развитии которого имеют состояние артерий предплечья, не участвующих в формировании АВФ, микроциркуляторного русла кисти и нарушение компенсаторных механизмов регуляции кровотока [3, 8, 12].

## Выводы

1. Выполнение дуплексного сканирования в динамике пациентам с АВФ для гемодиализа позволяет оценить ее созревание, нормальное функционирование и диагностировать осложнения, что дает возможность провести своевременную коррекцию фистулы.
2. При формировании анастомоза размером около 75 % диаметра артерии создаются условия для нормального созревания АВФ, а при диаметре соустья, составляющего около 20 % диаметра приносящей артерии, созревания фистулы не происходит.
3. По данным литературных источников показатель объемной скорости кровотока в АВФ, необходимой для ее нормального функционирования, значительно отличается – от 350 до 2000 мл/мин.
4. Критериями значимого стенозирования сосудов, формирующих АВФ, являются: диаметр свободного просвета вены в зоне стеноза менее 2,7 мм, снижение объемной скорости дистальнее стеноза менее 500 мл/мин, отношение пиковой систолической скорости кровотока в месте стеноза и в проксимальном участке более 2:1 (для стеноза зоны анастомоза 3:1 и более).
5. Основными факторами возникновения тромбоза АВФ считают нарушение реологических свойств крови, снижение системного артериального давления, постоянную травматизацию сосуда вследствие многократных пункций в локальной зоне, дилатацию отводящей вены и снижение объемного кровотока.
6. Частота ишемического синдрома обкрадывания кисти составляет от 5 до 20 %, среди причин формирования стил-синдрома ведущее значение имеют большая объемная скорость кровотока в фистуле, стеноз приносящего сосуда, поражение артерий предплечья, не участвующих в формировании АВФ, и микроциркуляторного русла кисти, а также нарушение компенсаторных механизмов ауторегуляции кровотока.

## Список литературы

1. Алферов С. В. Гемодинамические нарушения при различных артериовенозных доступах для гемодиализа: Дис. ... канд. мед. наук. СПб., 2013. 162 с.
2. Васильев А. Н., Михеева Ю. С., Смирнов А. В. Патология физиологии артериовенозной фистулы // Нефрология. 2015. Т. 19. № 66. С. 61–72.
3. Гринев К. М. Пути улучшения диагностики и хирургического лечения гемодинамических осложнений артериовенозных фистул для хронического гемодиализа: Дис. ... докт. мед. наук. СПб., 2016. 215 с.
4. Гринев К. М., Карнов С. А., Алферов С. В. Нетромботические осложнения постоянного сосудистого доступа при программном гемодиализе и способы их хирургической коррекции // Вестник СПбГУ. Медицина. 2017. Т. 12. № 4. С. 340–353.
5. Гурков А. С. Кровоток в сосудах предплечья и кисти у пациентов с артериовенозной фистулой для гемодиализа: Дис. ... канд. мед. наук. СПб., 2014. 189 с.
6. Манафов Э. Н. Постоянный сосудистый доступ для гемодиализа: хирургическая тактика: Дис. ... канд. мед. наук. М., 2015. 109 с.
7. Попов А. Н. Оптимальные варианты длительно функционирующих артериовенозных фистул у пациентов, находящихся на хроническом гемодиализе: Дис. ... канд. мед. наук. Екатеринбург, 2015. 129 с.
8. Хатчинсон С. Дж., Холмс К. К. Ультразвуковая диагностика в ангиологии и сосудистой хирургии. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2018. 400 с.
9. Шольц Х. Сосудистый доступ для гемодиализа: Пер. с англ. / Ред. А. С. Гуркова. М.: Практическая медицина, 2019. 280 с.
10. Agarwal A. K., Shah R., Haddad N. J. Access blood flow testing // Seminars in dialysis. 2014. V. 27. № 6. P. 595–598.
11. Aragoncillo I., Abad S., Caldas S. et al. Adding access blood flow surveillance reduces thrombosis and improves arteriovenous fistula patency: a randomized controlled trial // JVA. 2017. V. 18. № 4. P. 352–358.
12. Huber T. S., Larive B., Imrey P. B. et al. Access-related hand ischemia and the Hemodialysis Fistula Maturation Study // J. Vasc. Surg. 2016. V. 64. № 4. P. 1050–1054.
13. Ishii T., Suzuki Y., Nakayama T. et al. Duplex ultrasound for the prediction of vascular events associated with arteriovenous fistulas in hemodialysis patients // JVA. 2016. V. 17. № 6. P. 499–505.
14. Itoga N. K., Ullery B. W., Tran K. et al. Use of a proactive duplex ultrasound protocol for hemodialysis access // J. Vasc. Surg. 2016. V. 64. № 4. P. 1042–1049.
15. Ladenheim E. D., Lulic D., Lum C. et al. First-week postoperative flow measurements are highly predictive of primary patency of radiocephalic arteriovenous fistulas // JVA. 2016. V. 17. № 4. P. 307–312.
16. Pietryga J. A., Little M. D., Robbin M. L. Sonography of arteriovenous fistulas and grafts // Seminars in dialysis. 2017. V. 30. № 4. P. 309–318.
17. Quencer K. B., Kidd K., Kinney T. Preprocedure evaluation of a dysfunctional dialysis access // Elsevier. 2017. V. 20. № 1. P. 20–30.
18. Vascular Access Work Group. KDOQI Clinical practice guideline for hemodialysis adequacy: 2015 Update // AJDK. 2015. V. 66. № 5. P. 554–930.

## References

1. Alferov S. V. Hemodynamic disorders in different arteriovenous accesses for



- hemodialysis. Dis. ... kand. med. nauk. Saint Petersburg, 2013. 162 p. (in Russian).
2. *Vasil'ev A. N., Miheeva J. S., Smirnov A. V.* Pathophysiology of arteriovenous fistula. *Nefrologiya*. 2015. V. 19. No. 66. P. 61–72 (in Russian).
  3. *Grinev K. M.* Ways to improve the diagnostics and surgical treatment of hemodynamic complications of arteriovenous fistulas for hemodialysis. Dis. ... doct. med. nauk. Saint Petersburg, 2016. 215 p. (in Russian).
  4. *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. V. 12. No. 4. P. 340–353 (in Russian).
  5. *Gurkov A. S.* Blood flow in forearm and hand vessels in patients with arteriovenous fistula for hemodialysis. Dis. ... kand. med. nauk. Saint Petersburg, 2014. 189 p. (in Russian).
  6. *Manafov Je. N.* Permanent vascular access for hemodialysis: surgical tactics. Dis. ... kand. med. nauk. Moscow, 2015. 109 p. (in Russian).
  7. *Popov A. N.* Optimal variants of long-term functioning arteriovenous fistulas in hemodialysis patients. Dis. ... kand. med. nauk. Ekaterinburg, 2015. 129 p. (in Russian).
  8. *Hatchinson S. J., Holms K. K.* Ultrasound diagnostics in angiology and vascular surgery. Moscow: GEOTAR-Media, 2018. 400 p. (in Russian).
  9. *Shol'c H.* Vascular access for hemodialysis. Per. s angl. Pod red. A. S. Gurkova. Moscow: Prakticheskaya medicina, 2019. 280 p. (in Russian).
  10. *Agarwal A. K., Shah R., Haddad N. J.* Access blood flow testing. *Seminars in dialysis*. 2014. V. 27. No. 6. P. 595–598.
  11. *Aragoncillo I., Abad S., Caldés S. et al.* Adding access blood flow surveillance reduces thrombosis and improves arteriovenous fistula patency: a randomized controlled trial. *JVA*. 2017. V. 18. No. 4. P. 352–358.
  12. *Huber T. S., Larive B., Imrey P. B. et al.* Access-related hand ischemia and the hemodialysis fistula maturation study. *J. Vasc. Surg.* 2016. V. 64. No. 4. P. 1050–1054.
  13. *Ishii T., Suzuki Y., Nakayama T. et al.* Duplex ultrasound for the prediction of vascular events associated with arteriovenous fistulas in hemodialysis patients. *JVA*. 2016. V. 17. No. 6. P. 499–505.
  14. *Itoga N. K., Ullery B. W., Tran K. et al.* Use of a proactive duplex ultrasound protocol for hemodialysis access. *J. Vasc. Surg.* 2016. V. 64. No. 4. P. 1042–1049.
  15. *Ladenheim E. D., Lulic D., Lum C. et al.* First-week postoperative flow measurements are highly predictive of primary patency of radiocephalic arteriovenous fistulas. *JVA*. 2016. V. 17. No. 4. P. 307–312.
  16. *Pietryga J. A., Little M. D., Robbin M. L.* Sonography of arteriovenous fistulas and grafts. *Seminars in dialysis*. 2017. V. 30. No. 4. P. 309–318.
  17. *Quencer K. B., Kidd K., Kinney T.* Preprocedure Evaluation of a dysfunctional dialysis access. Elsevier. 2017. V. 20. No. 1. P. 20–30.
  18. Vascular Access Work Group. KDOQI Clinical practice guideline for hemodialysis adequacy: 2015 Update. *AJDK*. 2015. V. 66. No. 5. P. 554–930.

### Сведения об авторах

**Козн Валерия Сергеевна**, аспирант кафедры лучевой диагностики ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И. И. Мечникова» Минздрава России.  
Адрес: 191015, г. Санкт-Петербург, ул. Кирочная, д. 41.  
Тел.: +7 (921) 573-71-52. Электронная почта: valeriia.koen@gmail.com  
ORCID.org/0000-0002-3280-5714

**Koen Valeriya Sergeevna**, Postgraduate, Department of Radiology, North-West State Medical University named after I. I. Mechnikov, Ministry of Healthcare Russia.  
Address: 41, ul. Kirochnaya, St. Petersburg, 191015, Russia.  
Phone number: +7 (921) 573-71-52. E-mail: valeriia.koen@gmail.com  
ORCID.org/0000-0002-3280-5714

**Захматова Татьяна Владимировна**, доктор медицинских наук, доцент кафедры лучевой диагностики ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И. И. Мечникова» Минздрава России.  
Адрес: 191015, г. Санкт-Петербург, ул. Кирочная, д. 41.  
Тел.: +7 (905) 283-43-65. Электронная почта: tvzakh@mail.ru  
ORCID.org/0000-0001-8253-2382

**Zakhmatova Tatiana Vladimirovna**, M. D. Med., Associate Professor, Department of Radiology, North-West State Medical University named after I. I. Mechnikov, Ministry of Healthcare Russia.  
Address: 41, ul. Kirochnaya, St. Petersburg, 191015, Russia.  
Phone number: +7 (905) 283-43-65. E-mail: tvzakh@mail.ru  
ORCID.org/0000-0001-8253-2382

### Финансирование исследования и конфликт интересов.

*Исследование не финансировалось какими-либо источниками. Авторы заявляют, что данная работа, ее тема, предмет и содержание не затрагивают конкурирующих интересов.*