

ЗНАЧЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИ МНОГОФАКТОРНОЙ ОЦЕНКЕ ОСЛОЖНЕНИЙ ПОСТОЯННОГО СОСУДИСТОГО ДОСТУПА ДЛЯ ГЕМОДИАЛИЗА

Захматова Т. В.^{1,2}, Коэн В. С.², Штенцель Р. Э.¹

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Национальный медицинский исследовательский центр имени
В. А. Алмазова» Министерства здравоохранения Российской
Федерации, Санкт-Петербург, Россия

²Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования «Северо-Западный
государственный медицинский университет имени И. И. Мечникова»
Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-
Петербург, Россия

Контактная информация:

Штенцель Регина Эдуардовна,
ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова»
Минздрава России,
ул. Аккуратова, д. 2, Санкт-Петербург,
Россия, 197341.
E-mail: reginashtentsel@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 18.01.2021
и принята к печати 02.03.2021.

Резюме

Актуальность. Максимальная продолжительность функционирования постоянного сосудистого доступа для гемодиализа редко превышает 4 года. Основным методом диагностики дисфункции доступа является дуплексное сканирование. В России динамическое ультразвуковое исследование сосудистого доступа не входит в стандарт обследования пациента, находящегося на программном гемодиализе.

Цель. Изучить структуру осложнений и изменения гемодинамики в сосудистом доступе для гемодиализа, определить факторы риска, способствующие их развитию.

Материалы и методы. Ультразвуковое и клиничко-лабораторное обследование выполнено 550 пациентам, находящимся на программном гемодиализе, из них артериовенозную фистулу имели 517 (94,0 %) человек, артериовенозный графт — 33 (6,0 %).

Результаты. Осложнения сосудистого доступа встречались в 26,7 % (147 пациентов), достоверных отличий в частоте выявления тромбоза (26,5 %), стеноза (23,8 %) и аневризмы (21,1 %) не получено. Сочетание двух осложнений наблюдали в 20,4 %, синдром обкрадывания кисти — 8,2 %. Установлена корреляция между наличием гемодинамически значимого стеноза сосудистого доступа, аневризмы отводящей вены и развитием тромбоза, между наличием сопутствующих заболеваний периферических артерий и развитием ишемического синдрома обкрадывания кисти и стеноза приводящей артерии, зоны анастомоза.

Заключение. Дуплексное сканирование позволяет диагностировать осложнения постоянного сосудистого доступа для гемодиализа и установить причины их развития.

Ключевые слова: аневризма, артериовенозная фистула, артериовенозный протез, постоянный сосудистый доступ, синдром обкрадывания кисти, стеноз, тромбоз, ультразвуковое исследование.

Для цитирования: Захматова Т.В., Коэн В.С., Штенцель Р.Э. Значение ультразвукового исследования при многофакторной оценке осложнений постоянного сосудистого доступа для гемодиализа. Трансляционная медицина. 2021; 8 (1): 60-67. DOI: 10.18705/2311-4495-2021-8-1-60-67

THE VALUE OF ULTRASOUND IN THE MULTIVARIATE ASSESSMENT COMPLICATIONS OF PERMANENT VASCULAR ACCESS FOR HEMODIALYSIS

Zakhmatova T. V.^{1,2}, Koen V. S.², Shtentsel R. E.¹

¹Almazov National Medical Research Centre, Saint Petersburg, Russia

²North-Western State Medical University named after I. I. Mechnikov, Saint Petersburg, Russia

Corresponding author:

Shtentsel Regina E.,
Almazov National Medical Research Centre,
Akkuratova str. 2, Saint Petersburg, Russia,
197341.

E-mail: reginashtentsel@yandex.ru

Received 18 January 2021; accepted
02 March 2021.

Abstract

Background. The maximum duration of vascular access for hemodialysis functioning rarely exceeds 4 years. The main tool for diagnosing access dysfunction is duplex ultrasound. Dynamic ultrasound examination of vascular access is not included in the standard examination of patient undergoing hemodialysis in Russia.

Objective. To study the structure of complications and changes in hemodynamics in the vascular access for hemodialysis and to determine the risk factors contributing to its development.

Design and methods. Ultrasound, clinical and laboratory examination was performed in 550 patients undergoing program hemodialysis, 517 (94.0 %) of them had arteriovenous fistula, 33 (6.0 %) patients had arteriovenous graft.

Results. Vascular access complications occurred in 26.7 % (147 patients), there was no significant difference in the detection rate of thrombosis (26.5 %), stenosis (23.8 %), and aneurysm (21.1 %). A combination of two complications was observed in 20.4 %, the steal syndrome — in 8.2 %. A correlation was established between the presence of significant stenosis, aneurysm of the outflow vein and the development of thrombosis, between the presence of concomitant diseases of the peripheral arteries and the development of steal syndrome and stenosis of the inflow artery and the anastomosis zone.

Conclusion. Duplex ultrasound allows to diagnose complications of vascular access for hemodialysis and determine its causes.

Key words: aneurysm, arteriovenous fistula, arteriovenous graft, hand ischemia, stenosis, thrombosis, ultrasound examination, vascular access.

For citation: Zakhmatova TV, Koen VS, Shtentsel RE. The value of ultrasound in the multivariate assessment complications of permanent vascular access for hemodialysis. Translational Medicine. 2021; 8 (1): 60-67. (In Russ.) DOI: 10.18705/2311-4495-2021-8-1-60-67

Список сокращений: АВГ — артериовенозный графт, АВФ — артериовенозная фистула, ДС — дуплексное сканирование, ОСК — объемная скорость кровотока, ПСД — постоянный сосудистый доступ, ПСС — пиковая систолическая скорость.

Введение

Проведение гемодиализа связано с необходимостью многократных пункций, обеспечивающих забор и возврат крови пациента. Поверхностные вены верхних конечностей пригодны для повтор-

ных пункций, но они не подходят для подключения пациента к диализатору из-за низкой объемной скорости кровотока (ОСК). В артериях ОСК выше по сравнению с венами, но также недостаточна. Расположены артерии глубже, поэтому выполнение их пункций технически сложно, а при извлечении иглы часто наблюдается кровотечение [1]. Центральные венозные катетеры непригодны по причине частых тромботических осложнений. Необходимо формирование такого доступа, который обеспечивал бы возможность многократных

пункций, забора крови, прохождение ее через диализатор с необходимой скоростью и возвращение в кровеносное русло пациента [1, 2].

Максимальная продолжительность функционирования хирургически созданного постоянного сосудистого доступа (ПВД) для гемодиализа редко превышает 4 года. При этом длительность пребывания пациента на гемодиализной терапии может достигать 20 лет и более [3]. Эффективное долгосрочное лечение во многом зависит от успешного созревания и функционирования ПВД. Основным методом диагностики дисфункции ПВД является дуплексное сканирование (ДС) [4–6]. В России динамическое ультразвуковое исследование сосудистого доступа в настоящее время не входит в стандарт обследования пациента, находящегося на программном гемодиализе [7].

Цель — изучить структуру осложнений и изменения гемодинамики в ПВД для гемодиализа, определить факторы риска, способствующие их развитию.

Материалы и методы

Ультразвуковое обследование выполнено 550 пациентам, находящимся на программном гемодиализе, из них 52,4 % (288 человек) составили мужчины, 47,6 % (262 пациента) — женщины. Нативную артериовенозную фистулу (АВФ) имели 517 (94,0 %) обследованных, артериовенозный графт (АВГ) — 33 (6,0 %) человека. Возраст пациентов находился в интервале от 20 до 88 лет, средний возраст равен $56,7 \pm 14,5$ года. Длительность гемодиализной терапии колебалась от 1 месяца до 20 лет (в среднем — $74,5 \pm 20,1$ месяцев). Средняя продолжительность функционирования ПВД составила $41,3 \pm 15,7$ месяца (от 1 месяца до 16 лет). Основными причинами хронической почечной недостаточности являлись: хронический гломерулонефрит (26,9 %), сахарный диабет (14,5 %) и поликистозная болезнь почек (10,9 %).

Всем пациентам было выполнено ДС сосудистого доступа для гемодиализа на ультразвуковом аппарате Vivid S9 линейным датчиком 7–10 МГц. Алгоритм исследования включал изучение приводящей артерии, анастомоза, отводящей вены или протеза, основной и головной вен на плече (при формировании ПВД на предплечье), подключичной вены. Определяли диаметры приводящей артерии, анастомоза, отводящей вены или протеза; пиковую систолическую скорость (ПСС) кровотока в зоне анастомоза; ОСК в отводящей вене или в протезе, в приводящей артерии. При ультразвуковом исследовании оценивали состояние компенсаторных механизмов ауторегуляции кровотока

в кисти с помощью пробы с физической нагрузкой (сжатие-разжатие кисти в кулак в течение 2 мин) и пробы постокклюзионной реактивной гиперемии [3, 8].

Проводили сбор жалоб, анамнеза заболевания, анализ выполненных оперативных вмешательств по реконструкции фистулы, выполняли лабораторные исследования, эхокардиографию и консультацию сосудистого хирурга при необходимости.

Для анализа результатов исследования применяли пакет статистических программ «Statistica 10» для операционной системы «Windows XP», разработанный компанией StatSoft. Статистический анализ включал расчет экстенсивных коэффициентов (%), средних арифметических величин (М) и средней ошибки средних арифметических величин (m) по амплитуде вариационного ряда. Для проверки значимости различий частот и средних величин использовали критерий Хи-квадрат Пирсона и t-критерий Стьюдента, различие считали достоверным при $p < 0,05$.

Результаты и обсуждение

Осложнения ПВД для гемодиализа встречались в 26,7 % (147 пациентов), структура осложнений представлена в табл. 1. Из них почти с одинаковой частотой наблюдались тромбоз (26,5 % — 39 обследованных), стеноз (23,8 % — 35 человек) и аневризма (21,1 % — 31 пациент), достоверных отличий в частоте их выявления не установлено. Сочетание двух осложнений сосудистого доступа отмечали в 20,4 % (30 человек), реже наблюдался синдром обкрадывания кисти — 8,2 % (12 пациентов).

Таблица 1. Структура осложнений постоянного сосудистого доступа для гемодиализа (n = 550)

Осложнение	Число пациентов	
	Абс.	%
Стеноз	35	6,4
Тромбоз	39	7,1
Аневризма	31	5,6
Синдром обкрадывания кисти	12	2,2
Стеноз и тромбоз	10	1,8
Тромбоз и аневризма	17	3,1
Стеноз и стил-синдром	3	0,5
Всего	147	26,7

Стеноз сосудистого доступа был выявлен у 48 (8,7 %) пациентов, из них у 26 (54,2 %) был ди-

агностирован гемодинамически значимый стеноз. Чаще встречался стеноз отводящей вены (72,9 % — 35 человек), реже — стеноз приводящей артерии (14,6 % — 7 пациентов) и зоны анастомоза (10,4 % — 5 обследованных), стеноз ипсилатеральной подключичной вены был выявлен у 1 (2,1 %) пациента. Стеноз достоверно чаще развивался у пациентов с АВГ для гемодиализа (18,2 % — 6 из 33 человек), чем у пациентов с нативной фистулой (6,2 % — 32 из 517 человек). У 2 (6,1 %) пациентов с АВГ отмечался стеноз дистального анастомоза протеза и отводящей вены, у 4 (12,1 %) обследованных — стеноз отводящей вены. Гемодинамически значимый стеноз чаще развивался у пациентов с дистальным доступом, чем с проксимальным ($p = 0,01$), что вероятно, связано с более крупным диаметром сосудов на плече. Гемодинамически значимый стеноз приводящей артерии был диагностирован только у пациентов с радиоцефалической АВФ.

Стеноз развивался в разные сроки от момента формирования сосудистого доступа: от 3 месяцев до 12 лет (в среднем $45,9 \pm 19,3$ месяцев). Его развитие не зависело от пола ($p = 0,54$) и возраста пациента ($p = 0,06$), основного заболевания, ставшего

причиной терминальной почечной недостаточности ($p > 0,05$). У всех пациентов со стенозом приводящей артерии и зоны проксимального анастомоза (артерии и вены или артерии и протеза) отмечали сопутствующие заболевания периферических артерий (сахарный диабет и распространенный атеросклероз), что соответствует данным литературы о причинах развития стеноза приносящего сосуда ПСД для гемодиализа [2]. У обследованных со стенозом отводящей вены и зоны дистального анастомоза АВГ (между протезом и веной) не было выявлено корреляции с наличием сопутствующих заболеваний периферических сосудов ($p > 0,05$). Причиной стеноза отводящей вены и зоны анастомоза у большинства пациентов являлись высокая скорость кровотока, многократные пункции в локальной зоне, турбулентный кровоток, постоянно травмирующие стенку вены и вызывающие гиперплазию интимы, что также отмечают другие авторы [1, 2, 9]. Стеноз подключичной вены у 1 пациента был связан с ранее перенесенным тромбозом вены после ее катетеризации [2, 3].

В результате проведенного исследования были определены критерии гемодинамически значимо-

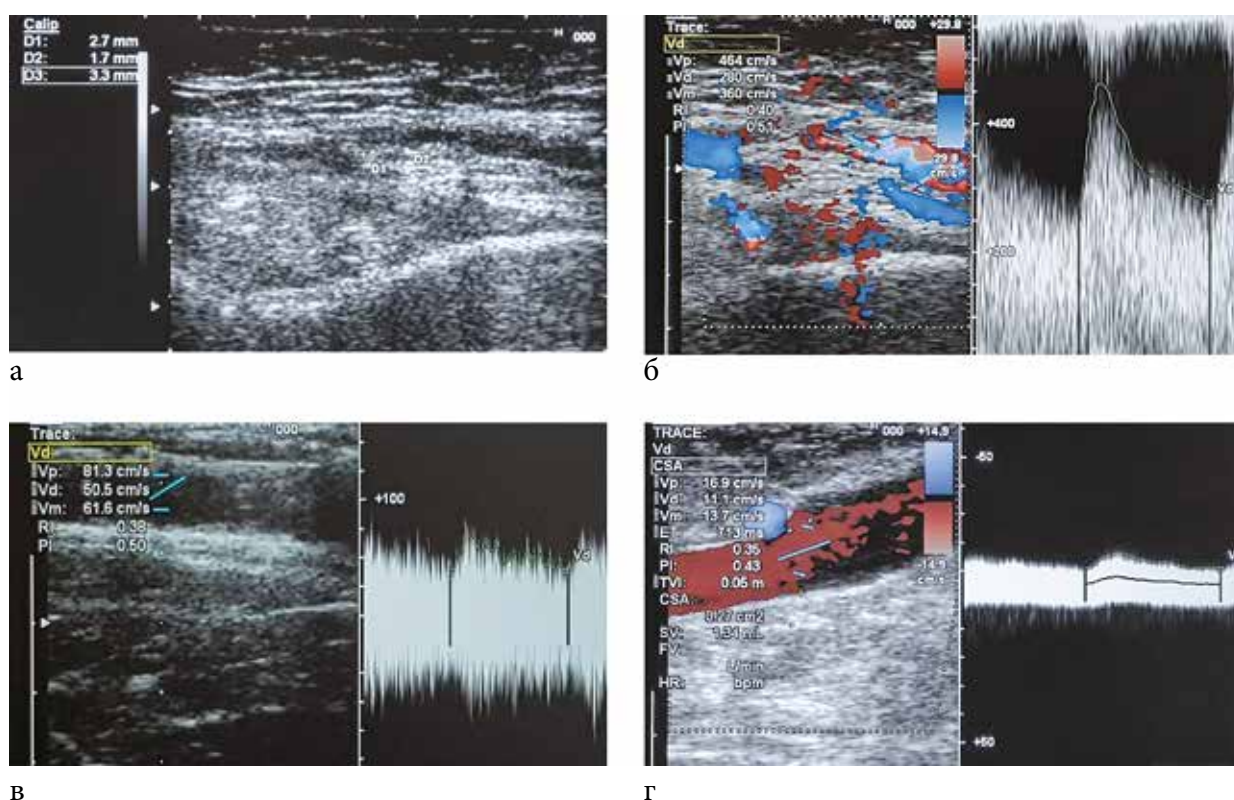


Рис. 1. Эхограммы гемодинамически значимого стеноза отводящей вены: свободный просвет вены в области стеноза в В-режиме равен 1,7 мм (а), пиковая систолическая скорость в зоне стеноза составила 464 см/с (б), пиковая систолическая скорость проксимальнее области сужения равна 81,3 см/с (в), объемная скорость кровотока в отводящей вене, дистальнее зоны стеноза, составила 134 мл/мин (г)

го стеноза приводящей артерии и отводящей вены (рис. 1): диаметр сосуда в зоне стеноза менее 2 мм, отношение ПСС в зоне патологии к ПСС в проксимальном отделе более 2 для стеноза приводящей артерии и более 3 для стеноза отводящей вены, ОСК в отводящей вене менее 300 мл/мин [10].

Гемодинамически значимый стеноз зоны анастомоза определяли при отношении ПСС в зоне анастомоза к ПСС в приводящей артерии более 4 и при снижении ОСК в отводящей вене менее 300 мл/мин. При оценке гемодинамической значимости стеноза проводили планиметрическую оценку степени стеноза анастомоза по диаметру и обращали внимание на наличие выраженного кальциноза в области соустья (рис. 2).

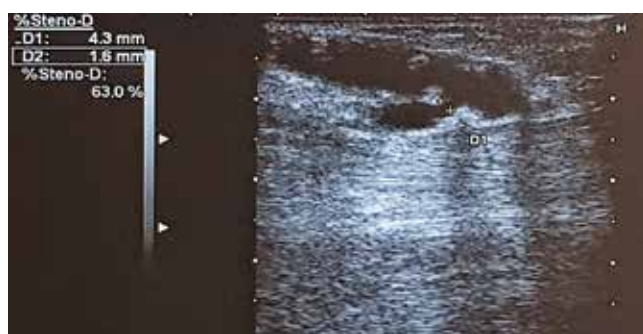


Рис. 2. Эхограмма зоны анастомоза в В-режиме: стеноз анастомоза 63 % при расчете по диаметру

Тромбоз ПСД для гемодиализа был выявлен у 66 (12,0 %) обследованных, из них неокклюзивный тромбоз наблюдался в 60,6 % (40 пациентов), окклюзивный — в 39,4 % (26 пациентов). Тромбоз достоверно чаще развивался у женщин (15,7 % —

40 из 262 человек), чем у мужчин (9,0 % — 26 из 288 человек), $p = 0,025$. У пациентов с проксимальным доступом тромбоз встречался чаще (22,1 % — 27 человек из 122), чем при дистальных ПСД (9,0 % — 38 из 424 человек), $p = 0,025$. Из 4 пациентов с АВГ на бедре у 1 (25,0 %) отмечался неокклюзивный тромбоз доступа. У пациентов с протезами (24,2 % — 8 из 33 человек) тромбоз наблюдался чаще ($p = 0,026$), чем у обследованных с нативной фистулой (11,2 % — 58 из 517 человек), что соответствует данным литературы [3].

Достоверной зависимости между развитием тромбоза и возрастом пациента, основным заболеванием, ставшим причиной хронической почечной недостаточностью, не получено ($p > 0,05$). Тромбоз развивался в среднем через $20,6 \pm 11,2$ месяцев после формирования доступа (от 1 месяца до 12 лет). Не было выявлено значимых различий между диаметром приводящей артерии ($p = 0,72$) и диаметром анастомоза ($p = 0,36$) у пациентов с тромбозом и без него.

Причинами развития тромбоза стали: снижение скорости кровотока в доступе вследствие стеноза или низкого системного артериального давления, нарушения в системе гомеостаза, повреждения стенки сосуда, особенно при пункциях в локальной зоне [3, 11]. Объемная скорость кровотока у пациентов с тромбозом находилась в диапазоне от 100 мл/мин до 2400 мл/мин (в среднем $860,6 \pm 575,1$ мл/мин).

У 10 (15,2 %) пациентов с тромбозом отмечался гемодинамически значимый стеноз отводящей вены и снижение ОСК до 300 мл/мин и менее. Установлена корреляция между наличием гемодинамически значимого стеноза сосудистого доступа и развитием тромбоза ($p = 0,02$), что соответствует данным литературы об основной причине тром-



а



б

Рис. 3. Эхограммы аневризмы отводящей вены в В-режиме: неокклюзивный (а) и окклюзивный (б) тромбоз



а



б

Рис. 4. Фотографии верхней конечности пациентов с аневризмой отводящей вены (а, б)

боза ПСД [5, 11, 12]. Ряд авторов утверждает, что риск тромбоза значительно уменьшается при минимальной ОСК более 500–600 мл/мин в нативной фистуле и более 800 мл/мин в АВГ [2, 4, 12].

У пациентов с тромбозами аневризма отводящей вены выявлена у 14 (21,2 %) человек (рис. 3) и аневризматическая дилатация протеза — у 3 (37,5 %). Установлена корреляция между наличием аневризмы отводящей вены или протеза и развитием тромбоза ($p < 0,01$).

Аневризма отводящей вены (рис. 4) выявлена у 45 (8,7 %) пациентов с АВФ, аневризматическая дилатация протеза — у 3 (9,1 %) обследованных с АВГ.

В нашем исследовании развитие аневризмы не зависело от диаметра приносящей артерии и анастомоза ($p > 0,05$). Формированию аневризм способствовали многочисленные пункции вены на небольшом участке, отмечалась локализация в области слияния с притоковыми венами, в зоне клапанного аппарата, а также в ригидных зонах, образующихся вследствие предшествующих хирургических вмешательств или катетеризаций. Турбулентный характер кровотока в аневризме ведет к оседанию тромбоцитов на эндотелий в местах с низкой скоростью кровотока, их последующей агрегации и активации процесса коагуляции фибрина [2, 9].

Ишемический синдром обкрадывания кисти был выявлен в 2,7 % (15 пациентов). Стил-синдром появлялся в различные сроки от момента формирования ПСД: от нескольких недель до 8 месяцев (в среднем $3,5 \pm 1,3$ месяцев) у пациентов с АВГ и от 1 месяца до 15 лет (в среднем $32,7 \pm 10,7$ месяцев) при АВФ. Среди пациентов с проксимальным доступом он встречался достоверно чаще (4,4 %), чем у пациентов с радиоцефалическими фистулами (2,3 %).

При ДС у пациентов со стил-синдромом диаметр анастомоза был достоверно больше ($5,9 \pm 0,9$ мм), чем в группе обследованных без ишемии кисти ($4,1 \pm 1,5$ мм). При синдроме обкрадывания кисти ОСК в приводящей артерии в случае фор-

мирования плечевой АВФ в среднем была равна $1802,6 \pm 147,5$ мл/мин, при радиоцефалической фистуле — $753,3 \pm 117,6$ мл/мин; в отводящей вене при плечевой АВФ — $1607,5 \pm 126,2$ мл/мин и при дистальной фистуле — 1008 ± 115 мл/мин. Достоверных отличий средних значений ОСК у пациентов с синдромом обкрадывания кисти и без него не выявили ($p = 0,06$).

Ультразвуковое исследование позволило выявить основные причины развития стил-синдрома: стенозы приводящей артерии у пациентов с атеросклерозом и сахарным диабетом, которые не позволяют увеличить объемный кровоток в артерии (20,0 % — 3 пациента); большой диаметр анастомоза, ведущий к значительному шунтированию крови, дилатации вены и повышению объемной скорости кровотока (13,3 % — 2 человека); недостаточный приток крови по локтевой, передней межкостной артериям и отсутствие коллатеральных ветвей, которые не компенсировали ретроградный кровоток из лучевой артерии дистальнее анастомоза в фистулу (40,0 % — 6 обследованных); нарушение механизмов регуляции тонуса резистивных сосудов и патологические изменения микроциркуляторного русла кисти (26,7 % — 4 пациента). Неполный вариант строения пальмарных дуг предрасполагает к развитию синдрома обкрадывания кисти [2].

При пробе с физической нагрузкой у пациентов без синдрома обкрадывания кисти наблюдалось увеличение показателя ОСК на $29,3 \pm 4,6$ % (рис. 5). Снижение тонуса резистивных сосудов при физической нагрузке способствует увеличению притока крови в микроциркуляторное русло кисти, что является важным механизмом ауторегуляции кровотока и адаптации к гипоперфузии. При стил-синдроме в ответ на физическую нагрузку реакция отсутствовала, что указывает на срыв компенсаторных механизмов регуляции кровотока в кисти (рис. 6).

Выполнение пробы постокклюзионной реактивной гиперемии показало, что у пациентов без синдрома обкрадывания по сравнению с обследо-

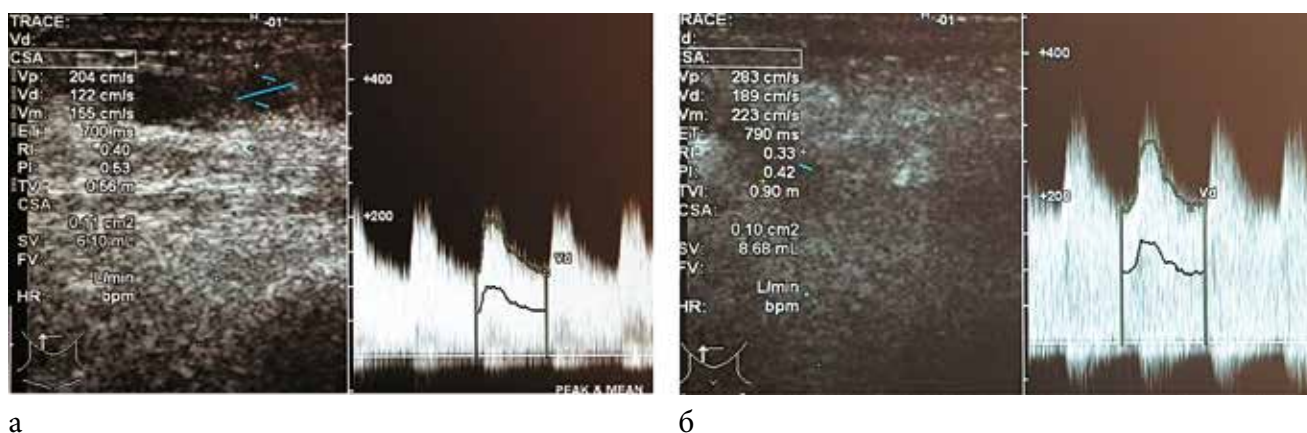


Рис. 5. Эхограммы локтевой артерии: ОСК исходно составила 610 мл/мин (а); увеличение ОСК после пробы с физической нагрузкой на 30,0 % — до 868 мл/мин (б)

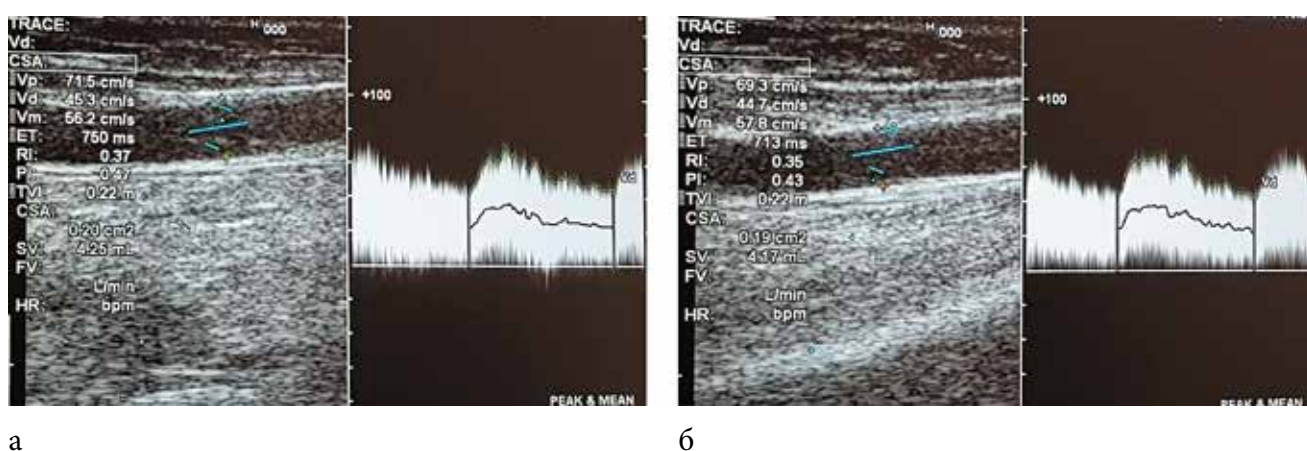


Рис. 6. Эхограммы локтевой артерии: ОСК исходно составила 425 мл/мин (а); снижение ОСК после пробы с физической нагрузкой до 417 мл/мин, свидетельствующее о срыве компенсаторных механизмов ауторегуляции кровотока в кисти (б)

дованными без ПСД прирост ОСК был меньше на $31,5 \pm 5,2$ %, а время полувосстановления кровотока больше на $28,6 \pm 2,9$ % и составило $47,5 \pm 6,3$ сек. При стил-синдроме по сравнению с пациентами без синдрома обкрадывания прирост ОСК снижался на $57,5 \pm 5,8$ %, а время полувосстановления кровотока было больше на $31,0 \pm 3,7$ % и составило $68,7 \pm 5,5$ сек, что свидетельствует о нарушении реактивности микроциркуляторного русла кисти. Компенсация кровотока в кисти осуществлялась за счет увеличения ОСК в локтевой (в среднем ОСК составила $269,5 \pm 70,5$ мл/мин), в передней межкостной (ОСК равна $45,3 \pm 26,9$ мл/мин) артериях и коллатеральных сосудах на предплечье.

Всем пациентам с осложнениями ПСД для гемодиализа были выполнены реконструктивные вмешательства или проводилась консервативная терапия. Способ лечения определялся сосудистым хирургом с учетом уровня формирования ПСД, ресурса сосудов для формирования нового доступа,

степени стенозирования сосуда, наличия сопутствующих заболеваний периферических артерий, других осложнений функционирования ПСД, ожидаемой продолжительности жизни пациента.

Заключение

Осложнения ПСД для гемодиализа встречались в 26,7 % (147 пациентов), достоверных отличий в частоте выявления тромбоза (26,5 %), стеноза (23,8 %) и аневризмы (21,1 %) не получено, реже наблюдался синдром обкрадывания кисти (8,2 %). Сочетание двух осложнений было выявлено в 20,4 %. Наличие сопутствующих заболеваний периферических артерий являлось фактором риска развития стеноза приводящей артерии ($p = 0,024$) и зоны анастомоза ($p = 0,037$). Установлена достоверная зависимость между наличием гемодинамически значимого стеноза сосудистого доступа ($p = 0,02$), аневризмы отводящей вены или протеза ($p < 0,01$) и развитием тромбоза ПСД. Чаше тромбоз

встречался у пациентов с проксимальным доступом, чем с дистальным ($p = 0,025$), а также с артериовенозным протезом, чем с нативной АВФ ($p = 0,026$). Основное значение в развитии стил-синдрома имеют патологические изменения артерий предплечья, которые не компенсируют дефицит кровотока в кисти, и состояние микроциркуляторного русла кисти. Выполнение динамического ультразвукового обследования ПСД позволит своевременно выявить осложнения и провести их коррекцию, что может увеличить продолжительность адекватного функционирования сосудистого доступа.

Конфликт интересов / Conflict of interest

Авторы заявили об отсутствии потенциально-го конфликта интересов. / The authors declare no conflict of interest.

Список литературы / References

1. Vasilyev AN, Mikheeva YS, Smirnov AV. Arteriovenous fistula pathophysiology. *Nephrology*. 2015; 19 (6): 61–72. In Russian [Васильев А.Н., Михеева Ю.С., Смирнов А.В. Патопфизиология артериовенозной фистулы. *Нефрология*. 2015; 19 (6): 61–72].
2. Lok CE, Huber TS, Lee T. KDOQI clinical practice guideline for vascular access: 2019 Update. *AJDK*. 2020; 75 (4 Suppl 2): S1–S164. DOI: 10.1053/ajkd.2019.12.001.
3. Grinev KM, Karpov SA, Alferov SV. Non-thrombotic complications of permanent vascular access in dialysis cases and techniques for their surgical correction. *Vestnik of Saint Petersburg University. Medicine*. 2017; 12 (4): 340–353. DOI: 10.21638/11701/spbu11.2017.403. In Russian. [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. DOI: 10.21638/11701/spbu11.2017.403].
4. Pietryga JA, Little MD, Robbin ML. Sonography of arteriovenous fistulas and grafts. *Semin dial*. 2017; 30 (4): 309–318. DOI: 10.1111/sdi.12599.
5. Quencer KB, Kidd J, Kinney T. Preprocedure evaluation of a dysfunctional dialysis access. *Tech Vasc Interv Radiol*. 2017; 20 (1): 20–30. DOI: 10.1053/j.tvir.2016.11.005.
6. Richards J, Hossain M, Summers D, et al. Surveillance arteriovenous fistulas using ultrasound (SONAR) trial in haemodialysis patients: a study protocol for a multicentre observational study. *BMJ Open*. 2019; 9 (7): e031210. DOI: 10.1136/bmjopen-2019-031210.
7. Stokov GA, Gurevich KYa, Ilyin AP, et al. Treatment of patients with chronic kidney disease stage 5 (CKD 5) by hemodialysis and hemodiafiltration. *Clinical guidelines. Nephrology*. 2017; 21 (3): 92–111. DOI: 10.24884/1561-6274-2017-3-92-111. In Russian. [Строков А.Г., Гуревич К.Я., Ильин А.П. и др. Лечение пациентов с хронической болезнью почек 5 стадии (ХБП 5) методами гемодиализа и гемодильтрации. *Клинические рекомендации. Нефрология*. 2017; 21 (3): 92–111. DOI: 10.24884/1561-6274-2017-3-92-111].
8. Lobov GI, Gurkov AS. Regulation of microcirculatory blood flow in the hand in patients with radiocephalic arteriovenous fistula for hemodialysis. *Siberian Journal of Science*. 2014; 14 (4): 291–296. In Russian. [Лобов Г.И., Гурков А.С. Регуляция микроциркуляторного кровотока в кисти у пациентов с радиоцефалической артериовенозной фистулой для гемодиализа. *Вестник науки Сибири*. 2014; 14 (4): 291–296].
9. Scholz H. Arteriovenous access surgery. Ensuring adequate vascular access for hemodialysis. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2015: 250. DOI: 10.1007/978-3-642-41139-7. (Russ. transl.: Шольц Х. Сосудистый доступ для гемодиализа. Пер. с англ. под ред. А.С. Гуркова. М.: Практическая медицина, 2019. 280 с.).
10. Koen VS, Zahmatova TV, Holin AV, Sebelev KI. Method for access flow measurement in arteriovenous fistula for hemodialysis. Patent on the application #2020107070, 14.02.2020. In Russian [Коэн В.С., Захматова Т.В., Холин А.В., Себелев К.И. Способ определения гемодинамически значимого стеноза отводящей вены артериовенозной фистулы для программного гемодиализа. Патент по заявке No 2020107070 от 14.02.2020 г].
11. Mudoni A, Caccetta F, Caroppo M, 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. DOI: 10.5301/jva.5000588.
12. Ishii T, Suzuki Y, Nakayama T, et al. Duplex ultrasound for the prediction of vascular events associated with arteriovenous fistulas in hemodialysis patients. *J Vasc Access*. 2016; 17 (6): 499–505. DOI: 10.5301/jva.5000595.

Информация об авторах:

Захматова Татьяна Владимировна, д.м.н., доцент кафедры лучевой диагностики и медицинской визуализации ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России, доцент кафедры лучевой диагностики ФГБОУ ВО СЗГМУ им. И. И. Мечникова Минздрава России;

Коэн Валерия Сергеевна, аспирант кафедры лучевой диагностики ФГБОУ ВО СЗГМУ им. И. И. Мечникова Минздрава России;

Штенцель Регина Эдуардовна, ординатор кафедры лучевой диагностики и медицинской визуализации ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России.

Author information:

Zahmatova Tatyana V., MD, assistant professor of radiology department, Almazov National Medical Research Centre, assistant professor of radiology department, North-Western State Medical University named after I. I. Mechnikov;

Koen Valeriia S., postgraduate student, North-Western State Medical University named after I. I. Mechnikov;

Shtentsel Regina E., resident of radiology department, Almazov National Medical Research Centre.