

Контрастное усиление при ультразвуковом исследовании сосудов: атеросклероз, неспецифический аортоартериит

Т.В. Балахонова, О.А. Погорелова, М.И. Трипотень,
В.В. Герасимова, А.А. Сафиулина, А.Н. Рогоза

Институт клинической кардиологии имени А.Л. Мясникова
ФГБУ “Российский кардиологический научно-производственный комплекс”
Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Москва

В статье представлен научный обзор по ультразвуковому исследованию сосудов с контрастным усилением. Рассмотрены качественные и количественные подходы к оценке степени васкуляризации. Обсуждаются вопросы прогностической значимости неоваскуляризации атеросклеротических бляшек в каротидном бассейне, диагностической ценности исследования в выявлении диссекции артериальной стенки в каротидном и вертебральном бассейнах, расслоения аневризмы аорты, рестеноза и др. Особое внимание уделено немногочис-

ленным работам, посвященным ультразвуковому исследованию с контрастным усилением при оценке ветвей дуги аорты при воспалительных заболеваниях, таких как неспецифический аортоартериит. Приводится собственное наблюдение пациентки с неспецифическим аортоартериитом. Исследование проводили на ультразвуковой системе iU22 (Philips, Нидерланды). Внутривенно вводили 1,2 мл контрастного препарата Соновью (Вгассо, Италия), максимальная суммарная доза препарата составила 3,6 мл. Степень вас-

Т.В. Балахонова – д.м.н., профессор, руководитель лаборатории ультразвуковых методов исследования сосудов отдела новых методов диагностики Института клинической кардиологии имени А.Л. Мясникова ФГБУ “Российский кардиологический научно-производственный комплекс” Министерства здравоохранения Российской Федерации. О.А. Погорелова – к.м.н., старший научный сотрудник лаборатории ультразвуковых методов исследования сосудов отдела новых методов диагностики Института клинической кардиологии имени А.Л. Мясникова ФГБУ “Российский кардиологический научно-производственный комплекс” Министерства здравоохранения Российской Федерации. М.И. Трипотень – к.м.н., научный сотрудник лаборатории ультразвуковых методов исследования сосудов отдела новых методов диагностики Института клинической кардиологии имени А.Л. Мясникова ФГБУ “Российский кардиологический научно-производственный комплекс” Министерства здравоохранения Российской Федерации. В.В. Герасимова – к.м.н., заместитель главного врача Института клинической кардиологии имени А.Л. Мясникова ФГБУ “Российский кардиологический научно-производственный комплекс” Министерства здравоохранения Российской Федерации. А.А. Сафиулина – лаборант-исследователь отдела заболеваний миокарда и сердечной недостаточности Института клинической кардиологии имени А.Л. Мясникова ФГБУ “Российский кардиологический научно-производственный комплекс” Министерства здравоохранения Российской Федерации. А.Н. Рогоза – д.б.н., профессор, руководитель отдела новых методов диагностики Института клинической кардиологии имени А.Л. Мясникова ФГБУ “Российский кардиологический научно-производственный комплекс” Министерства здравоохранения Российской Федерации.

Контактная информация: 121552 г. Москва, ул. 3-я Черепковская, д. 15а, ИКК им. А.Л. Мясникова, лаборатория ультразвуковых методов исследования сосудов. Балахонова Татьяна Валентиновна.
Тел.: (495) 414-64-18. E-mail: tvbdoc@gmail.com

куляризации структур оценивалась качественно по следующим градациям: отсутствие, слабое накопление, выраженное накопление. Проводили исследование правой и левой общих сонных артерий и правой подмышечной артерии. Выявлено умеренное неоднородное контрастирование измененных стенок обеих общих сонных артерий, выраженное неоднородное контрастирование неососудов в области бифуркации правой общей сонной артерии, что соответствует наличию воспалительной активности в этой зоне. Исследование подмышечной артерии позволило визуализировать плотную сеть коллатеральных сосудов, что было невозможно при дуплексном сканировании. Осложнений выявлено не было.

Ключевые слова: дуплексное сканирование, ультразвуковое исследование с контрастным усилением, Соновью, сонные артерии, атеросклеротическая бляшка, неоваскуляризация, неспецифический аортоартериит (артериит Такаюсу), аневризма аорты, стент-графт.

Исследование сосудистой стенки, просвета артерии высокоинформативно с помощью таких современных ультразвуковых модальностей, как исследование в В-режиме, анализ доплеровского спектра частот, цветовое и энергетическое доплеровское и не-доплеровское картирование кровотока, эластография. Они позволяют детально оценить состояние стенки артерии, выявляя как начальные структурно-функциональные (нарушение эластичности, утолщение комплекса интима-медиа), так и продвинутые (стеноз высокой степени, окклюзия, расслоение, муральные гематомы) изменения. На основании данных дуплексного сканирования (ДС) созданы классификации атеросклеротических бляшек (АСБ), многие из которых уделяют большое внимание признакам нестабильности [1–5]. Классическими признаками нестабильности АСБ в каротидном бассейне с точки зрения ДС являются: наличие большого гипоэхогенного фрагмента, особенно прилежащего к просвету артерии; нарушение целостности покрывки бляшки в виде изъязвления ее поверхности; высокая степень

стенозирования просвета. С точки зрения патоморфологии одними из основных параметров дестабилизации структуры АСБ являются признаки воспаления и тесно связанные с ним повышение плотности *vasa vasorum* адвентиции и неоваскуляризация АСБ [6, 7]. Появившееся в 90-е годы прошлого столетия и особенно в последнее десятилетие большое число работ доказывает возможность использования ультразвукового контрастного усиления для выявления сосудистой сети адвентиции и неоваскуляризации АСБ [8–10]. Неоваскуляризация атеромы описывается авторами в виде появления на 10–20-й с исследования ярких подвижных точек в структуре бляшки и адвентициального слоя, соответствующих микропузырькам контрастного препарата. В 2011 г. опубликовано Руководство по использованию ультразвукового исследования с контрастным усилением, в том числе и для сосудистых исследований [11]. Применению этой модальности посвящен обзор 24 исследований (2007–2014 гг.), включающий 1 356 пациентов [12].

Описано применение для сосудистых исследований 4 эхоконтрастных препаратов, представляющих собой суспензию микропузырьков газа в белковой, углеводной или фосфолипидной оболочке: Optison, Definity, Levovist и SonoVue. На сегодняшний день в нашей стране разрешен к использованию только препарат на основе гексафторида серы в фосфолипидной оболочке SonoVue. Многие публикации подтверждают связь неоваскуляризации АСБ при эхоконтрастном усилении с наличием и количеством микрососудов и кровоизлияний в АСБ по данным исследований образцов после каротидной эндартерэктомии [10, 13, 14]. Доказательством концепции о том, что более нестабильные атеромы имеют более высокую степень неоваскуляризации, являются выявленные тесные связи степени неоваскуляризации АСБ с такими классическими признаками нестабильности АСБ, как степень стеноза и низкая эхогенность [15], наличием микроэмболии при транскраниальном доплерографическом мониторинге [16]. По сравнению с ДС применение контрастного усиления способствует улучшению визуализации границы раздела стенка артерии – сосуд, повышая точность определения толщины комплекса ин-

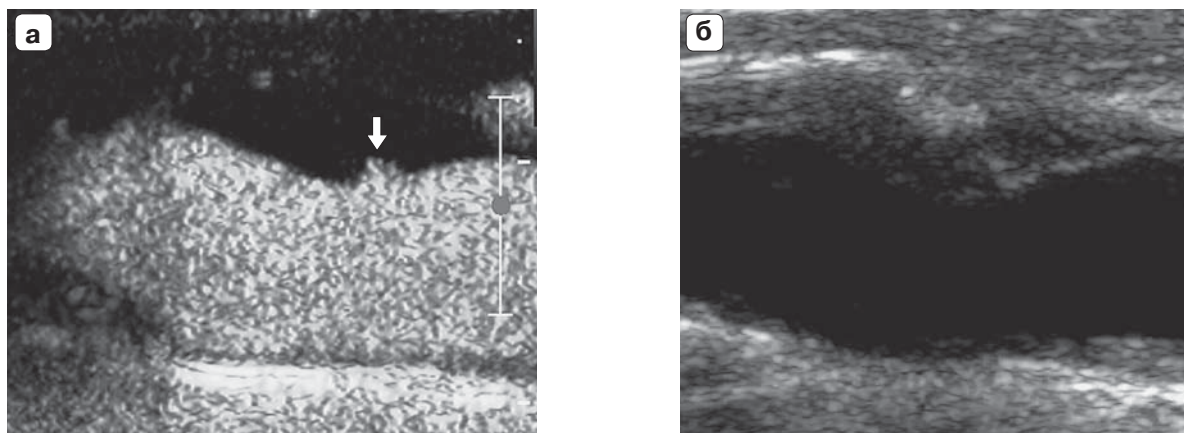


Рис. 1. АСБ бифуркации правой общей сонной артерии с наличием неровной поверхности. а – ультразвуковое исследование с контрастным усилением, 20–25-я с после введения контрастного препарата. Стрелкой показано кратерообразное углубление. б – исследование в В-режиме. Собственное наблюдение.

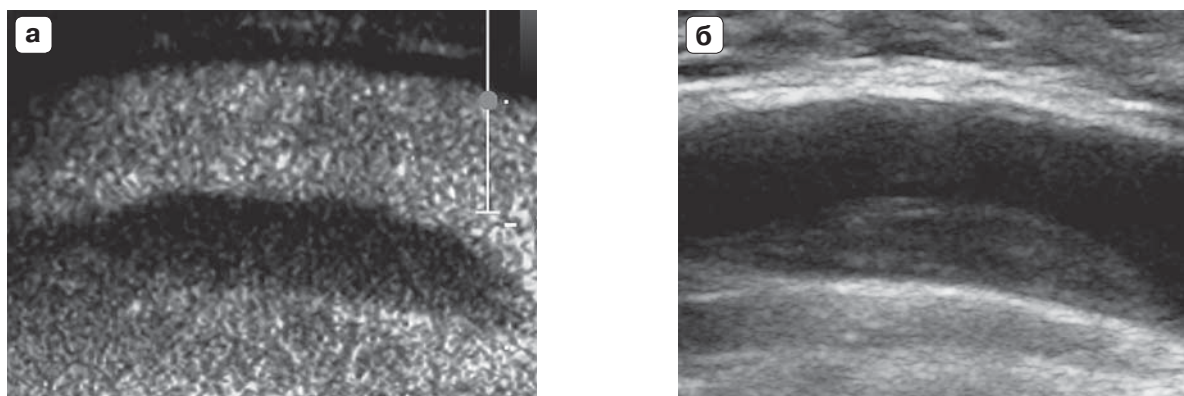


Рис. 2. АСБ левой общей сонной артерии. а – ультразвуковое исследование с контрастным усилением, 25–30-я с после введения контрастного препарата. Отмечается отсутствие накопления контрастного препарата. б – исследование в В-режиме. Собственное наблюдение.

тима–медиа [17] и степени стеноза [18] и увеличивая возможность выявления изъязвления поверхности АСБ (рис. 1) [6, 19]. Таким образом, ультразвуковое исследование с контрастным усилением позволяет увидеть совершенно новые тонкие механизмы дестабилизации атеромы, которые при стандартном исследовании недоступны [8].

Разработаны качественные и количественные подходы к оценке степени неоваскуляризации. F. Shah et al. в 2007 г. [20] предложили выделять следующие градации эхоконтрастирования: отсутствие сосудов в бляшке – 0 (рис. 2), умеренная васкуляризация – 1, значительная (выраженная) васкуляризация – 2 (рис. 3), при наличии пульсирующего сосуда в изображении бляшки определяется градация 3. Наиболее

часто в опубликованных исследованиях встречается использование трех градаций: 0, 1 и 2. Количественная оценка плотности неососудов (рис. 4) строится на определении повышения эхогенности стенки [21] или построении и анализе кривых интенсивность/время (накопления и вымывания контраста в АСБ) [22–24]. С. Li et al. [25] показали тесную взаимосвязь визуальной ($r = 0,70$, $P = 0,002$) и количественной (дБ) ($r = 0,81$, $P = 0,01$) оценки неоваскуляризации с данными гистологии, а также между собой ($r = 0,64$, $P = 0,002$). Возможно неоднородное накопление контрастного препарата в различных частях атеромы (рис. 5). Представляется важным не только оценить наличие и степень неоваскуляризации, но и ввести понятие об однородности/неодно-

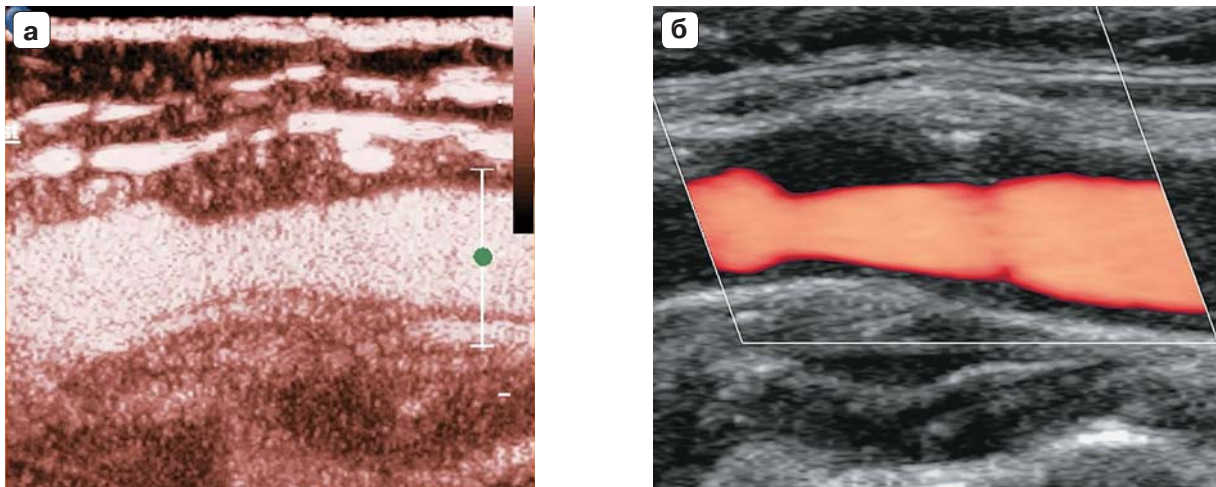


Рис. 3. АСБ правой внутренней сонной артерии. а – ультразвуковое исследование с контрастным усилением, 30-я с после введения контрастного препарата. Отмечается выраженное накопление контрастного препарата. б – исследование в В-режиме и режиме энергетического доплеровского картирования. Собственное наблюдение.



Рис. 4. Графическая зависимость интенсивность/время. Регион интереса показан голубым контуром. Собственное наблюдение.

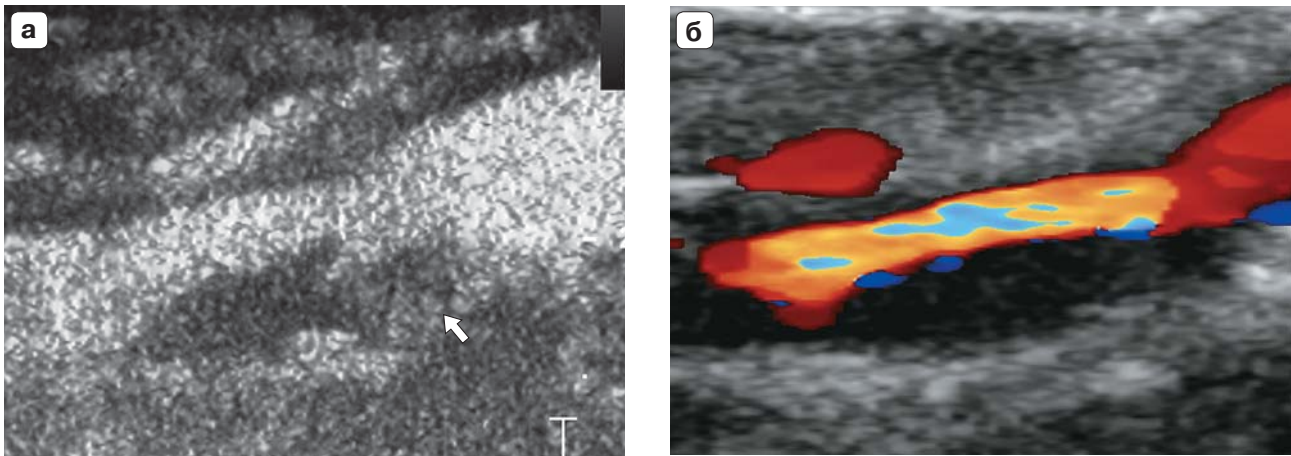


Рис. 5. АСБ правой внутренней сонной артерии. а – ультразвуковое исследование с контрастным усилением, 30-я с после введения контрастного препарата. Стрелкой показана зона накопления препарата. б – исследование в В-режиме и режиме цветового доплеровского картирования. Собственное наблюдение.

родности васкуляризации структур сосудистой стенки, что может стать важным параметром при динамическом наблюдении.

Большое внимание уделяется прогностической значимости неоваскуляризации каротидной АСБ в отношении развития сердечно-сосудистых событий. Показано, что наличие васкуляризации АСБ в каротидном бассейне чаще выявляется у пациентов с предшествующими инсультами и инфарктами, а также что наличие таких атером у пациентов с острым коронарным синдромом ухудшает прогноз сердечно-сосудистых событий в течение одного года наблюдения [26–29]. Важную роль ультразвуковое исследование с контрастным усилением может играть в оценке эффективности терапевтического воздействия, например, гиполипидемической терапии у больных с гиперхолестеринемией, имеющих высокий риск развития сердечно-сосудистых заболеваний. У 86% асимптомных пациентов с семейной гиперхолестеринемией выявлены признаки неоваскуляризации бляшки по данным ультразвукового исследования с контрастным усилением [30]. Показано, что применение статинов может приводить к уменьшению степени неоваскуляризации и способствовать таким образом стабилизации стенки артерии у таких пациентов [17]. Перспективными представляются исследования по применению эхоконтрастирования для более детального определения показаний к хирургическому лечению асимптомных стенозов

более 70% в каротидном бассейне, когда наличие неоваскуляризации АСБ может быть дополнительным фактором, диктующим необходимость операции, а не терапевтического наблюдения [31]. Высокоинформативная оценка состояния артерий после реконструктивных вмешательств в настоящее время доступна с помощью ДС [32, 33]. Применение ультразвукового исследования с контрастным усилением (рис. 6) позволит оценить принципиально новый аспект проблемы – воспалительную активность рестеноза [34].

Показана высокая диагностическая ценность ультразвукового исследования с контрастным усилением в выявлении диссекции артериальной стенки в каротидном и вертебральном бассейнах [18, 35], при расслоении и подозрении на разрыв аневризмы брюшного отдела аорты (рис. 7). Возрастающую роль ультразвуковое исследование с контрастным усилением играет в оценке результатов эндопротезирования аневризмы брюшного отдела аорты (рис. 8), так как показано, что выявление “эндоликов” (кровотоков в полости аневризмы вне протеза) с помощью этого метода не хуже, а в некоторых аспектах и лучше, чем при КТ [36–42]. В руководстве по использованию контрастного усиления при ультразвуковых исследованиях [11] его возможностям в выявлении, характеристике и динамическом наблюдении “эндоликов” присвоен самый высокий рекомендательный уровень: А; 1А.

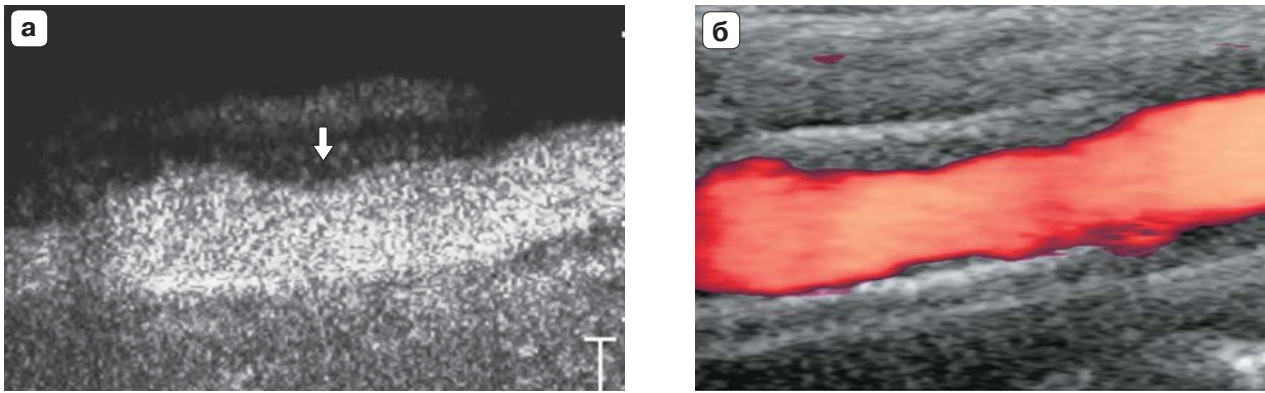


Рис. 6. Стент левой внутренней сонной артерии у пациентки с неспецифическим аортоартериитом. а – ультразвуковое исследование с контрастным усилением, 30-я с после введения контрастного препарата. Отмечается контрастирование зоны рестеноза (стрелка). б – исследование в В-режиме и режиме энергетического доплеровского картирования. Собственное наблюдение.

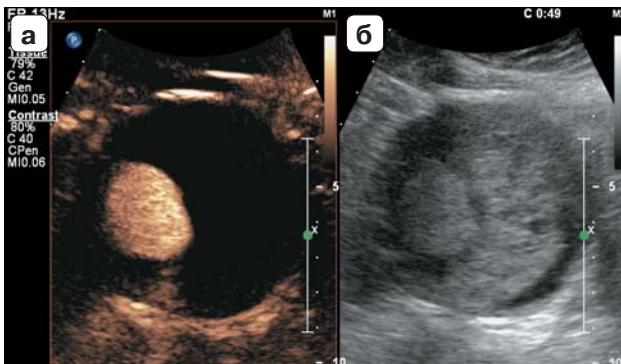


Рис. 7. Аневризма инфраренального отдела аорты с пристеночным тромбозом. а – ультразвуковое исследование с контрастным усилением, 45–50-я с после введения контрастного препарата. б – исследование в В-режиме. Собственное наблюдение.

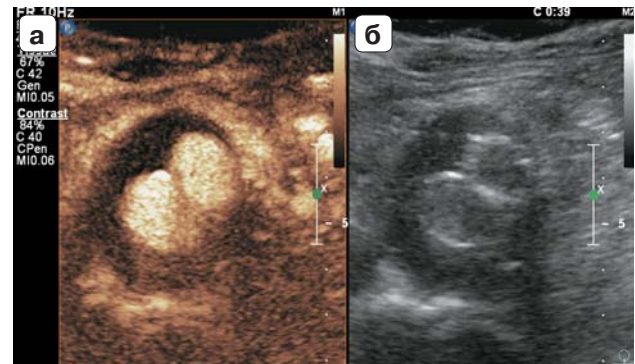


Рис. 8. Стент-графт инфраренального отдела аорты, изображение на уровне двух ветвей протеза. а – ультразвуковое исследование с контрастным усилением, 35–40-я с после введения контрастного препарата. б – исследование в В-режиме. Собственное наблюдение.

Небольшое число публикаций [43–46] не отражает большой значимости ультразвукового исследования с контрастным усилением в оценке состояния стенки аорты и ветвей дуги аорты при воспалительных заболеваниях, таких как неспецифический аортоартериит и гигантоклеточный артериит. В работе М. Magnoni et al. [43] был представлен клинический случай 35-летней молодой женщины с неспецифическим аортоартериитом. Клиническое и лабораторное обследование показало наличие активного воспалительного процесса. КТ выявила воспалительное поражение стенок обеих сонных артерий, левой подключичной артерии, грудной и брюшной аорты и ее ветвей. Авторы отмечают, что ультразвуковое исследование сонных артерий с приме-

нием контрастного препарата Optison значительно улучшило визуализацию границ стенок артерий. Отмечалось значительное эхоконтрастирование в адвентициальном слое сосудов, что свидетельствует о наличии неососудов в воспаленной стенке артерий.

В работе Р. Giordana et al. [44] описан клинический случай пациентки 35 лет с неспецифическим аортоартериитом с результатами наблюдения через 3 и 6 мес терапии стероидами. На первом визите ультразвуковое ДС позволило выявить значительное утолщение стенок правой общей сонной артерии, а применение контрастного препарата SonoVue показало множественные *vasa vasorum* стенок правой общей сонной артерии в виде выраженного контрастного усиления в пределах повреждения. Через

3 и 6 мес терапии стероидами ДС общих сонных артерий не показало изменения толщины стенок. Однако результаты ультразвукового исследования с контрастным усилением продемонстрировали наличие меньшего количества эхоконтрастного агента в стенках артерии после лечения, что, по мнению авторов, свидетельствует о снижении числа *vasa vasorum* в стенке и снижении степени выраженности воспаления. Для количественной оценки эхоконтрастирования авторы применили обработку изображения в программе Photoshop с вычислением медианы серой шкалы (GSM) стенки артерии как количественного показателя экзогенности АСБ, примененного в данном случае к экзогенности измененной стенки общей сонной артерии (меньшее эхоконтрастирование привело к значительному снижению GSM стенки артерии).

В работе N. Possemato et al. [45] был описан клинический случай молодой женщины 31 года с неспецифическим аортоартериитом, находившейся на длительной терапии различными препаратами, но с сохраняющимися признаками системного воспаления и повышенными маркерами воспаления. Проведенное ПЭТ/КТ-исследование показало наличие воспаления в стенках сонных артерий. Ультразвуковое исследование с контрастным усилением показало контрастное усиление в стенках сонных артерий в тех же зонах, что и ПЭТ/КТ, что может свидетельствовать о наличии *vasa vasorum* в стенке как о суррогатном маркере воспаления.

Целью пилотного исследования A.F. Schinkel et al. [46] было изучение возможности применения контрастного ультразвукового исследования у пациентов с неспецифическим аортоартериитом и гигантоклеточным артериитом (5 и 2 соответственно), средний возраст которых составил 48 ± 14 лет (в работе было исследовано 14 общих сонных артерий). 5 пациенток ранее применяли иммуносупрессивную терапию. Пациенткам было проведено комплексное ультразвуковое исследование сонных артерий с оценкой толщины стенки в автоматическом режиме, определением скоростных показателей и применением контрастного препарата SonoVue. Исследование показало, что в 9 общих сонных артериях происходило накопление контрастного препара-

та (умеренной (5) и значительной (4) степени выраженности). Основным результатом данного исследования авторы считают, что стандартное ультразвуковое исследование сонных артерий позволяет оценить степень выраженности структурных изменений, а применение контрастного препарата – улучшить визуализацию границ стенок сосуда и оценить неоваскуляризацию артериальной стенки, что является маркером активности воспалительного процесса. Также исследование с контрастным препаратом может быть рекомендовано для динамического наблюдения у данной категории больных.

Таким образом, авторы делают схожие заключения, что накопление контрастного препарата в измененных стенках сонных артерий может служить маркером воспалительной активности и пролиферации *vasa vasorum*, а динамическое наблюдение с применением контрастного препарата может помочь в оценке эффективности терапии.

Приводим собственное наблюдение пациентки с неспецифическим аортоартериитом.

Пациентка В., 46 лет, поступила в Институт клинической кардиологии имени А.Л. Мясникова ФГБУ “Российский кардиологический научно-производственный комплекс” Министерства здравоохранения Российской Федерации в мае 2014 г. с жалобами на давящие боли за грудиной; ощущение нехватки воздуха при небольшой физической нагрузке, подъеме на второй лестничный пролет, проходящие в покое в течение нескольких минут; сердцебиение; одышку при физической нагрузке; повышение артериального давления (максимально до 160/100 мм рт. ст.).

При объективном осмотре: ослабление пульсации на лучевой артерии справа, на плечевой артерии справа артериальное давление ниже на 20 мм рт. ст. В анализах крови: увеличенная скорость оседания эритроцитов (65 мм/ч), повышение уровня высокочувствительного С-реактивного белка до 86,2 мг/л.

При эхокардиографии выявлено неравномерное утолщение стенки корня аорты, левого предсердия (воспалительная инфильтрация ткани/фиброз?).

По данным МРТ сердца определены признаки воспалительных изменений аорты, проксимальных отделов правого плечевого ство-

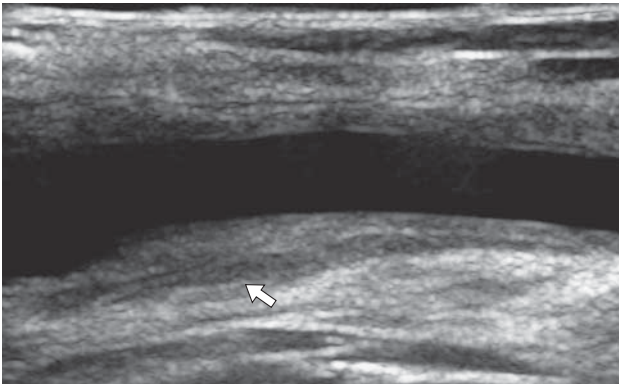


Рис. 9. Тубулярный стеноз правой общей сонной артерии в В-режиме (исследование до начала терапии). Стрелкой указана размытость задней стенки, характерная для высокой активности воспалительного процесса у больных с диагнозом “неспецифический аортоартериит”.

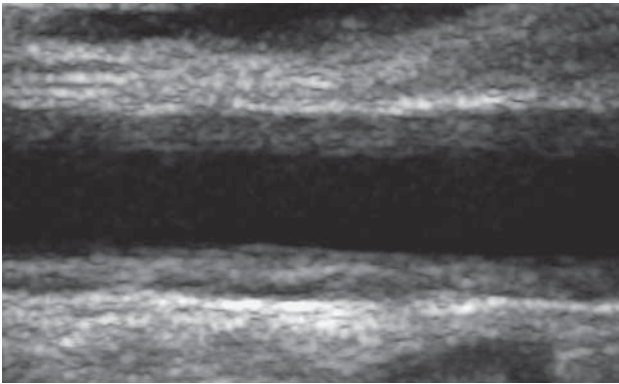


Рис. 10. Пролонгированный тубулярный стеноз левой общей сонной артерии в В-режиме (исследование до начала терапии).



Рис. 11. Правая подмышечная артерия. ДС с оценкой спектра доплеровского сдвига частот в зоне максимального стеноза.

ла, левой общей сонной артерии и левой подключичной артерии (аортоартериит?), легочной артерии. Также отмечаются инфильтрация стенок левого предсердия (воспалительного характера и вследствие выраженных фиброзных изменений), возможно, с небольшим пристеночным тромбозом, с распространением на легочные вены, целомоческая киста перикарда.

По данным МСКТ коронарных артерий и аорты выявлены циркулярное утолщение стенок грудной аорты, брахиоцефальных артерий, легочной артерии, вероятно, воспалительного генеза; диффузное утолщение и кальциноз стенки левого предсердия, вероятно, воспалительного генеза; минимальный гидроперикард. Гемодинамически значимых стенозов коронарных артерий не выявлено.

По результатам ультразвукового ДС экстракраниального отдела брахиоцефальных артерий и артерий верхних конечностей у пациентки были определены тубулярные стенозы правой общей сонной артерии на всем протяжении с максимумом стенозирования в дистальной трети до 60%; левой общей сонной артерии на протяжении с максимумом до 55%. Отмечалась “размытость” задней стенки в дистальной трети и области бифуркации правой общей сонной артерии, что, согласно литературным данным [47], свидетельствовало об активности воспалительного процесса в этой области. При исследовании правой подключичной артерии определялся стеноз в дистальной трети до 65%, переходящий на подмышечную артерию, где выявлен пролонгированный стеноз с локальным максимумом до 75% (рис. 9–11).

С учетом клинических данных, данных лабораторных и инструментальных обследований на основании критериев Американской коллегии ревматологов (1990) [48] был установлен диагноз: Артериит Такаясу, тип ПБ с поражением грудного отдела аорты (аортит), брахиоцефальных артерий (артериит), коронарных артерий (коронариит), высокой степени активности. Миокардит предсердий.

При повторном поступлении в октябре 2014 г. пациентка В. находится на терапии метилпреднизолоном в дозе 40 мг/сутки в течение последних 6 мес. На фоне проводимой иммуносупрессивной терапии отмечаются полное купирование болевого синдрома за грудной, повышение толерантности к физическим нагрузкам, однако сохранение одышки при усиленном темпе ходьбы. В анализах крови концентрация высокочувствительного С-реак-

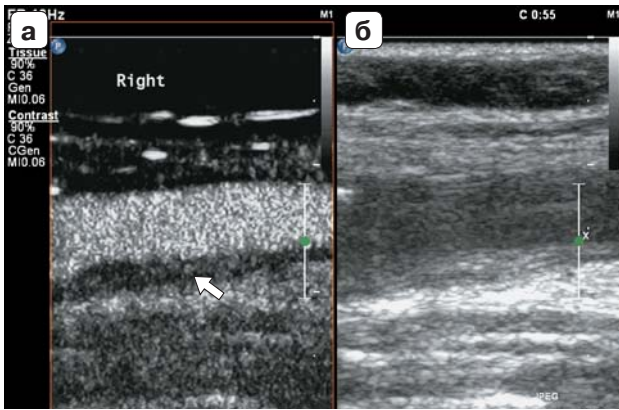


Рис. 12. Дистальная треть правой общей сонной артерии. а – ультразвуковое исследование с контрастным усилением, 50–55-я с после введения контрастного препарата. Стрелкой указано контрастирование задней стенки артерии. б – исследование в В-режиме.

тивного белка, скорость оседания эритроцитов в пределах нормальных значений.

По данным ДС на фоне терапии отмечено уменьшение стенозирования правой общей сонной артерии на 10%, левой общей сонной артерии на 15%. Подключичная и подмышечная артерии без существенной динамики.

По данным МРТ сердца определяется положительная динамика в виде уменьшения толщины стенок восходящей аорты; дуги аорты; сосудов, отходящих от дуги аорты; а также левого предсердия. Тем не менее на Т2-взвешенных изображениях в области корня аорты, а также ствола легочной артерии по внутреннему контуру определяется тонкая зона повышения интенсивности сигнала, что может отражать наличие активного воспаления.

По данным МСКТ коронарных артерий по сравнению с исследованием от 17.06.2014 г. небольшая положительная динамика в виде уменьшения толщины стенок исследуемых сосудов.

Ультразвуковое исследование с контрастным усилением проводили на ультразвуковой системе iU22 (Philips, Нидерланды) линейным датчиком L9–3, использовали режим “contrast general”. Информированное согласие на проведение ультразвукового исследования с контрастным усилением было подписано пациентом и лечащим врачом перед процедурой. Внутривенно вводили 1,2 мл контрастного препарата Соновью (Bracco, Италия), растворенного в 5 мл физиологического раствора. Во время исследования записывали видеоролик, начиная от момента введения препарата и на

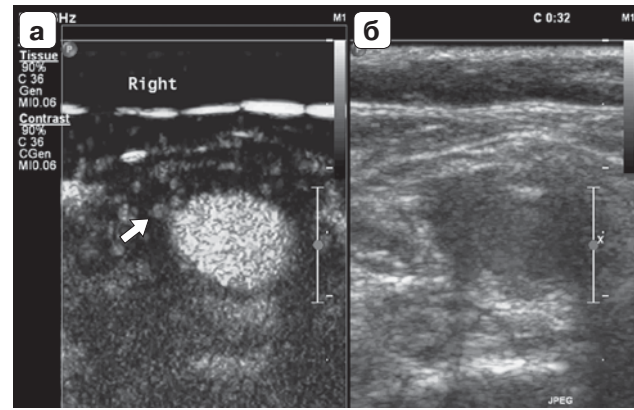


Рис. 13. Бифуркация правой общей сонной артерии. а – ультразвуковое исследование с контрастным усилением, 30–35-я с после введения контрастного препарата. Стрелкой показана неоднородная неоваскуляризация (на 10–11 ч). б – исследование в В-режиме.

протяжении 120 с. На 5–7-й с после введения контрастного препарата отмечалось контрастирование просвета сосуда с четкой визуализацией границы раздела внутренняя стенка – просвет сосуда. Начиная с 15–20-й с наблюдали появление и прогрессивное увеличение количества подвижных ярких точек, диффузно расположенных в сосудистой стенке. Накопление контрастного вещества в стенке артерии оценивали по следующим грациям: отсутствие, слабое накопление, выраженное накопление. Проводили ультразвуковое исследование с контрастным усилением правой общей сонной артерии, левой общей сонной артерии, правой подмышечной артерии. Промежуток между введениями контрастного препарата составил 10 мин, максимальная суммарная доза препарата составила 3,6 мл. Исследование проводили в соответствии с Рекомендациями по клиническому применению ультразвукового исследования с контрастным усилением *EFSUMB* (2011) [11] и инструкцией фирмы-производителя. Пациента наблюдали в течение 30 мин после исследования до перехода в палату. Осложнений во время исследования не было.

По результатам ультразвукового исследования с контрастным усилением было выявлено слабое контрастирование неососудов передней и задней стенок правой и левой общих сонных артерий при сканировании в продольном сечении (рис. 12), выраженное неоднородное контрастирование неососудов в области бифуркации правой общей сонной артерии при сканировании в поперечном сечении (рис. 13). Активная неоваскуляризация определялась преи-

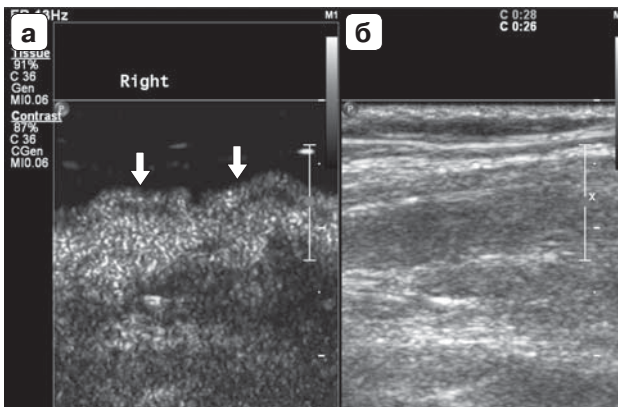


Рис. 14. Правая подмышечная артерия. Ультразвуковое исследование с контрастным усилением, 25–30-я с после введения контрастного препарата. Визуализируется сеть коллатеральных сосудов (стрелки), не дифференцированных при ДС. б – исследование в В-режиме.

мощественно в зоне 10–11 ч, тогда как в остальных сегментах бифуркации неососуды не визуализировались. При исследовании подмышечной артерии были выявлены слабое контрастирование в стенке стенозированной артерии и наличие плотной сети коллатеральных сосудов в виде дугообразных линий высокой эхогенности, расположенных непосредственно за стенозом по передней и задней стенкам артерии (рис. 14).

Таким образом, проведение ультразвукового исследования с контрастным усилением позволило у нашей пациентки выявить очаг неоваскуляризации в области бифуркации правой общей сонной артерии, что соответствует наличию воспалительной активности в этой зоне. Необходимо проведение ультразвукового исследования с контрастным усилением через некоторое время для оценки динамики неоваскуляризации, так как на данный момент результаты входят в противоречие с данными лабораторных тестов о стабилизации воспаления. Кроме того, исследование подмышечной артерии позволило визуализировать плотную сеть коллатеральных сосудов, что было невозможно при ДС.

Ультразвуковое исследование с контрастным усилением – высокоинформативная, безопасная для пациента, быстрая и легкая в исполнении технология исследования сосудов, реализующая совершенно новый подход к оценке процессов, происходящих в артериальной стенке. Данные об увеличении плотности *vasa vasorum* адвентиции, неоваскуляризации АСБ позво-

лят внести дополнения в ультразвуковую классификацию изменений сосудистой стенки при атеросклерозе, гиперхолестеринемии, неспецифическом аортоартериите, гигантоклеточном артериите, оценке рестеноза. Не исследована роль эхографии с контрастным усилением в оценке венозной системы. В настоящее время, несмотря на наличие Руководства 2011 года [11], отсутствует единый протокол исследования сосудов (дозы препарата в зависимости от региона исследования, временные интервалы), который позволял бы сопоставлять результаты различных авторов и единообразно оценивать динамику неоваскуляризации в сосудистой стенке на фоне патогномичной терапии, что требует проведения дальнейших многоцентровых исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Gray-Weale A.C., Graham J.C., Burnett J.R., Byrne K., Lusby R.J. Carotid artery atheroma: comparison of preoperative B-mode ultrasound appearance with carotid endarterectomy specimen pathology // J. Cardiovasc. Surg. 1988. V. 29. No. 6. P. 676–681.
2. Лелюк В.Г., Лелюк С.Э. Ультразвуковая ангиология. М.: Реальное время, 2003. 330 с.
3. Куликов В.П. Ультразвуковая диагностика сосудистых заболеваний. Руководство для врачей. М.: Стром, 2011. 118 с.
4. Атьков О.Ю. Ультразвуковое исследование сердца и сосудов. М.: Эксмо, 2015. 313 с.
5. Тимина И.Е., Бурцева Е.А., Скуба Н.Д., Покровский А.В., Кунцевич Г.И. Сопоставление структуры атеросклеротической бляшки в сонной артерии по данным комплексного ультразвукового и гистологического исследований // Ультразвуковая и функциональная диагностика. 2004. № 3. С. 81–87.
6. Partovi S., Loebe M., Aschwanden M., Baldi T., Jäger K.A., Feinstein S.B., Staub D. Contrast-enhanced ultrasound for assessing carotid atherosclerotic plaque lesions // AJR. 2012. V. 198. No. 1. P. W13–W19.
7. Chistiakov D.A., Orekhov A.N., Bobryshev Y.V. Contribution of neovascularization and intraplaque haemorrhage to atherosclerotic plaque progression and instability // Acta Physiol. (Oxf.) 2015. V. 213. No. 3. P. 539–553.
8. Rafailidis V., Pitoulis G., Kouskouras K., Rafailidis D. Contrast-enhanced ultrasonography of the carotids // Ultrasonography. 2015. V. 34. No. 4. P. 312–323.
9. Moreno P.R., Purushothaman K.R., Sirol M., Levy A.P., Fuster V. Neovascularization in human atherosclerosis // Circulation. 2006. V. 113. No. 18. P. 2245–2252.
10. Coli S., Magnoni M., Sangiorgi G., Marrocco-Trischitta M.M., Melisurgo G., Mauriello A.,

- Spagnoli L., Chiesa R., Cianflone D., Maseri A. Contrast enhanced ultrasound imaging of intra-plaque neovascularization in carotid arteries: correlation with histology and plaque echogenicity // *J. Am. Coll. Cardiol.* 2008. V. 52. No. 3. P. 223–230.
11. Piscaglia F., Nolsoe C., Dietrich C.F., Cosgrove D.O., Gilja O.H., Bachmann Nielsen M., Albrecht T., Barozzi L., Bertolotto M., Catalano O., Claudon M., Clevert D.A., Correas J.M., D'Onofrio M., Drudi F.M., Eyding J., Giovannini M., Hocke M., Ignee A., Jung E.M., Klausner A.S., Lassau N., Leen E., Mathis G., Saftoiu A., Seidel G., Sidhu P.S., ter Haar G., Timmerman D., Weskott H.P. The EFSUMB Guidelines and Recommendations on the Clinical Practice of Contrast Enhanced Ultrasound (CEUS): update 2011 on non-hepatic applications // *Ultraschall Med.* 2012. V. 33. No. 1. P. 33–59.
 12. Varetto G., Gibello L., Castagno C., Quaglino S., Ripepi M., Benintende E., Gattuso A., Garneri P., Zan S., Capaldi G., Bertoldo U., Rispoli P. Use of contrast-enhanced ultrasound in carotid atherosclerotic disease: limits and perspectives // *Biomed. Res. Int.* 2015. Doi: 10.1155/2015/293163.
 13. Hoogi A., Adam D., Hoffman A., Kerner H., Reisner S., Gaitini D. Carotid plaque vulnerability: quantification of neovascularization on contrast enhanced ultrasound with histopathologic correlation // *AJR.* 2011. V. 196. No. 2. P. 431–436.
 14. Vavuranakis M., Sigala F., Vrachatis D.A., Papaioannou T.G., Filis K., Kavantzias N., Kalogeris K.I., Massoura C., Toufektzian L., Kariori M.G., Vlasseris I., Kallikazaros I., Stefanadis C. Quantitative analysis of carotid plaque vasa vasorum by CEUS and correlation with histology after endarterectomy // *Vasa.* 2013. V. 42. No. 3. P. 184–195.
 15. Staub D., Partovi S., Schinkel A.F., Coll B., Uthoff H., Aschwanden M., Jaeger K.A., Feinstein S.B. Correlation of carotid artery atherosclerotic lesion echogenicity and severity at standard US with intraplaque neovascularization detected at contrast-enhanced US // *Radiology.* 2011. V. 258. No. 2. P. 618–626.
 16. Ritter M.A., Theismann K., Schmiedel M., Ringelstein E.B., Dittrich R. Vascularization of carotid plaque in recently symptomatic patients is associated with the occurrence of transcranial micro-embolic signals // *Eur. J. Neurol.* 2013. V. 20. No. 8. P. 1218–1221.
 17. Feinstein S.B. Contrast ultrasound imaging of the carotid artery vasa vasorum and atherosclerotic plaque neovascularization // *JACC.* 2006. V. 48. No. 2. P. 236–243.
 18. Clevert D.A., Sommer W.H., Zengel P., Helck A., Reiser M. Imaging of carotid arterial diseases with contrast-enhanced ultrasound (CEUS) // *Eur. J. Radiol.* 2011. V. 80. No. 1. P. 68–76.
 19. Sirlin C.B., Lee Y.Z., Girard M.S., Peterson T.M., Steinbach G.C., Baker K.G., Mattrey R.F. Contrast-enhanced B-mode US angiography in the assessment of experimental in vivo and in vitro atherosclerotic disease // *Acad. Radiol.* 2001. V. 8. No. 2. P. 162–172.
 20. Shah F., Balan P., Weinberg M., Reddy V., Neems R., Feinstein M., Dainauskas J., Meyer P., Goldin M., Feinstein S.B. Contrast-enhanced ultrasound imaging of atherosclerotic carotid plaque neovascularization: a new surrogate marker of atherosclerosis? // *Vasc. Med.* 2007. V. 12. No. 4. P. 291–297.
 21. Faggioli G.L., Pini R., Mauro R., Pasquinelli G., Fittipaldi S., Freyrie A., Serra C., Stella A. Identification of carotid “vulnerable plaque” by contrast-enhanced ultrasonography: correlation with plaque histology, symptoms and cerebral computed tomography // *Eur. J. Vasc. Endovasc. Surg.* 2011. V. 41. No. 2. P. 238–248.
 22. Van den Oord S.C., Akkus Z., Bosch J.G., Hoogi A., Ten Kate G.L., Renaud G., Sijbrands E.J., Verhagen H.J., van der Lugt A., Adam D., de Jong N., van der Steen A.F., Schinkel A.F. Quantitative contrast-enhanced ultrasound of intraplaque neovascularization in patients with carotid atherosclerosis // *Ultraschall Med.* 2015. V. 36. No. 2. P. 154–161.
 23. Tranquart F., Mercier L., Frinking P., Gaud E., Arditi M. Perfusion quantification in contrast-enhanced ultrasound (CEUS) – ready for research projects and routine clinical use // *Ultraschall Med.* 2012. V. 33. Suppl. 1. P. 31–38.
 24. Varetto G., Gibello L., Bergamasco L., Sapino A., Castellano I., Garneri P., Rispoli P. Contrast enhanced ultrasound in atherosclerotic carotid artery disease // *Int. Angiol.* 2012. V. 31. No. 6. P. 565–571.
 25. Li C., He W., Guo D., Chen L., Jin X., Wang W., Huang B., Wang W. Quantification of carotid plaque neovascularization using contrast-enhanced ultrasound with histopathologic validation // *Ultrasound Med. Biol.* 2014. V. 40. No. 8. P. 1827–1833.
 26. Nakamura J., Nakamura T., Deyama J., Fujioka D., Kawabata K., Obata J., Watanabe K., Watanabe Y., Kugiyama K. Assessment of carotid plaque neovascularization using quantitative analysis of contrast-enhanced ultrasound imaging is useful for risk stratification in patients with coronary artery disease // *Int. J. Cardiol.* 2015. V. 195. P. 113–119.
 27. Staub D., Patel M.B., Tibrewala A., Ludden D., Johnson M., Espinosa P., Coll B., Jaeger K.A., Feinstein S.B. Vasa vasorum and plaque neovascularization on contrast-enhanced carotid ultrasound imaging correlates with cardiovascular disease and past cardiovascular events // *Stroke.* 2010. V. 41. No. 1. P. 41–47.
 28. Hellings W.E., Peeters W., Moll F.L., Piers S.R., van Setten J., Van der Spek P.J., de Vries J.P., Seldenrijk K.A., De Bruin P.C., Vink A., Velema E., de Kleijn D.P., Pasterkamp G. Composition of carotid atherosclerotic plaque is associated with cardiovascular outcome: a prognostic study // *Circulation.* 2010. V. 121. No. 17. P. 1941–1950.
 29. Gallino A., Stuber M., Crea F., Falk E., Corti R., Lekakis J., Schwitter J., Camici P., Gaemperli O., Di Valentino M., Prior J., Garcia-Garcia H.M., Vlachopoulos C., Cosentino F., Windecker S., Pedrazzini G., Conti R., Mach F., De Caterina R.,

- Libby P. "In vivo" imaging of atherosclerosis // *Atherosclerosis*. 2012. V. 224. No. 1. P. 25–36.
30. Van den Oord S.C., Akkus Z., Roeters van Lennep J.E., Bosch J.G., van der Steen A.F., Sijbrands E.J., Schinkel A.F. Assessment of sub-clinical atherosclerosis and intraplaque neovascularization using quantitative contrast-enhanced ultrasound in patients with familial hypercholesterolemia // *Atherosclerosis*. 2013. V. 231. No. 1. P. 107–113.
31. Kaspar M., Partovi S., Aschwanden M., Imfeld S., Baldi T., Uthoff H., Staub D. Assessment of micro-circulation by contrast-enhanced ultrasound: a new approach in vascular medicine // *Swiss Med. Wkly*. 2015. V. 145. P. w14047.
32. ACCF/AHA/ACR/SCAI/SIR/SVM/SVN/SVS 2010 performance measures for adults with peripheral artery disease: a report of the American College of Cardiology Foundation/American Heart Association Task Force on performance measures, the American College of Radiology, the Society for Cardiac Angiography and Interventions, the Society for Interventional Radiology, the Society for Vascular Medicine, the Society for Vascular Nursing, and the Society for Vascular Surgery (Writing Committee to Develop Clinical Performance Measures for Peripheral Artery Disease) // *Circulation*. 2010. V. 122. No. 24. P. 2583–2618.
33. Национальные рекомендации по ведению пациентов с заболеваниями артерий нижних конечностей. Российский согласительный документ. М., 2013. 176 с.
34. Clevert D.A., Sommer W.H., Helck A., Reiser M. Duplex and contrast enhanced ultrasound (CEUS) in evaluation of in-stent restenosis after carotid stenting // *Clin. Hemorheol. Microcirc.* 2011. V. 43. No. 1. P. 199–208.
35. Clevert D.A., Horng A., Clevert D.A., Jung E.M., Sommer W.H., Reiser M. Contrast-enhanced ultrasound versus conventional ultrasound and MS-CT in the diagnosis of abdominal aortic dissection // *Clin. Hemorheol. Microcirc.* 2009. V. 43. No. 1–2. P. 129–139.
36. Clevert D.A., Minaifar N., Weckbach S., Kopp R., Meimarakis G., Clevert D.A., Reiser M. Color duplex ultrasound and contrast-enhanced ultrasound in comparison to MS-CT in the detection of endoleak following endovascular aneurysm repair // *Clin. Hemorheol. Microcirc.* 2008. V. 39. No. 3–4. P. 121–132.
37. D'Audiffret A., Desgranges P., Kobeiter D.H., Becquemin J.P. Follow-up evaluation of endoluminally treated abdominal aortic aneurysms with duplex ultrasonography: validation with computed tomography // *J. Vasc. Surg.* 2001. V. 33. No. 1. P. 42–50.
38. Sommer W.H., Hoffmann R.T., Becker C.R., Reiser M.F., Clevert D.A. Comparison of time-resolved CT-angiography, contrast-enhanced ultrasound and digital subtraction angiography in a patient with a small type II endoleak after endovascular aneurysm repair // *Clin. Hemorheol. Microcirc.* 2010. V. 45. No. 1. P. 19–25.
39. McLafferty R.B., McCrary B.S., Mattos M.A., Karch L.A., Ramsey D.E., Solis M.M., Hodgson K.J. The use of color-flow duplex scan for the detection of endoleaks // *J. Vasc. Surg.* 2002. V. 36. No. 1. P. 100–104.
40. Greenfield A.L., Halpern E.J., Bonn J., Wechsler R.J., Kahn M.B. Application of duplex US for characterization of endoleaks in abdominal aortic stent-grafts: report of five cases // *Radiology*. 2002. V. 225. No. 3. P. 845–851.
41. Jung E.M., Rennert J., Fellner C., Uller W., Jung W., Schreyer A., Heiss P., Hoffstetter P., Feuerbach S., Kaspar P., Zorger N., Pfister K. Detection and characterization of endoleaks following endovascular treatment of abdominal aortic aneurysms using contrast harmonic imaging (CHI) with quantitative perfusion analysis (TIC) compared to CT angiography (CTA) // *Ultraschall Med.* 2010. V. 31. No. 6. P. 564–570.
42. Pfister K., Rennert J., Uller W., Schnitzbauer A.A., Stehr A., Jung W., Hofstetter P., Zorger N., Kasprzak P.M., Jung E.M. Contrast harmonic imaging ultrasound and perfusion imaging for surveillance after endovascular abdominal aneurysm repair regarding detection and characterization of suspected endoleaks // *Clin. Hemorheol. Microcirc.* 2009. V. 43. No. 1–2. P. 119–128.
43. Magnoni M., Dagna L., Coli S., Cianflone D., Sabbadini M.G., Maseri A. Assessment of Takayasu arteritis activity by carotid contrast-enhanced ultrasound // *Circ. Cardiovasc. Imaging*. 2011. V. 4. P. e1–2.
44. Giordana P., Baque-Juston M.C., Jeandel P.Y., Mondot L., Hirlemann J., Padovani B., Raffaelli C. Contrast-enhanced ultrasound of carotid artery wall in Takayasu disease: first evidence of application in diagnosis and monitoring of response to treatment // *Circulation*. 2011. V. 124. No. 2. P. 245–247.
45. Possemato N., Macchioni P., Germano G., Pipitone N., Versari A., Salvarani C. Clinical images: PET-CT and contrast-enhanced ultrasound in Takayasu's arteritis // *Rheumatology*. 2014. V. 53. No. 3. P. 447.
46. Schinkel A.F., van den Oord S.C., van der Steen A.F., van Laar J.A., Sijbrands E.J. Utility of contrast-enhanced ultrasound for the assessment of the carotid artery wall in patients with Takayasu or giant cell arteritis // *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging*. 2014. V. 15. No. 5. P. 541–546.
47. Кунцевич Г.И., Покровский А.В., Зотиков А.Е., Гольцова Е.Е., Бурцева Е.А. Ультразвуковая диагностика поражения аорты и ее ветвей у больных неспецифическим аортоартериитом II и III типов // *Ультразвуковая и функциональная диагностика*. 2008. № 1. С. 92–98.
48. Arend W.P., Michel B.A., Bloch D.A., Hunder G.G., Calabrese L.H., Edworthy S.M., Fauci A.S., Leavitt R.Y., Lie J.T., Lightfoot R.W. Jr. The American College of Rheumatology 1990 criteria for the classification of Takayasu arteritis // *Arthritis Rheum.* 1990. V. 33. No. 8. P. 1129–1134.

Contrast-Enhanced Ultrasound in Vascular Medicine: Atherosclerosis, Takayasu arteritis

T.V. Balakhonova, O.A. Pogorelova, M.I. Tripoten,

V.V. Gerasimova, A.A. Saphiulina, A.N. Rogoza

Institute of Cardiology, Russian Cardiology Research Center, Moscow

T.V. Balakhonova – M.D., Ph.D., Professor, Head of Laboratory of Vascular Ultrasound, Department of New Diagnostic Technologies, Institute of Cardiology, Russian Cardiology Research Center. O.A. Pogorelova – M.D., Ph.D., Senior Researcher, Laboratory of Vascular Ultrasound, Department of New Diagnostic Technologies, Institute of Cardiology, Russian Cardiology Research Center. M.I. Tripoten – M.D., Ph.D., Researcher, Laboratory of Vascular Ultrasound, Department of New Diagnostic Technologies, Institute of Cardiology, Russian Cardiology Research Center. V.V. Gerasimova – M.D., Ph.D., Deputy Chief Physician, Institute of Cardiology, Russian Cardiology Research Center. A.A. Saphiulina – Assistant Researcher, Department of Myocardial Diseases, Institute of Cardiology, Russian Cardiology Research Center. A.N. Rogoza – M.D., Ph.D., Professor, Head of Department of New Diagnostic Technologies, Institute of Cardiology, Russian Cardiology Research Center.

Literature review of contrast-enhanced ultrasound in vascular medicine was presented in the article. Quality and quantity approaches to assessment of vascularization intensity were discussed. Prognostic value of neovascularization in carotid atherosclerotic plaques, diagnostic value of contrast-enhanced ultrasound in carotid and vertebral arterial dissection, aortic dissection, restenosis were shown. Special attention was paid to few studies regarding to contrast-enhanced ultrasound in aortic arch branches assessment in Takayasu arteritis. Clinical case of Takayasu arteritis is presented. Investigation was done by using iU22 scanner (Philips, Nederland) and SonoVue (Bracco, Italy). Intensity of vascularization was assessed according to following degrees: absence, moderate, intense. Right and left common carotid arteries and right axillary artery were examined. Moderate heterogeneous contrast enhancement of both common carotid arteries altered walls and severe heterogeneous contrast enhancement of neovessels in zone of right common carotid artery bifurcation were revealed. It corresponded with an inflammatory activity. Axillary artery examination allowed visualizing collateral flow which was not revealed by duplex ultrasound. No complications were marked.

Key words: *duplex ultrasound, contrast-enhanced ultrasound, SonoVue, carotid arteries, atherosclerotic plaque, neovascularization, Takayasu arteritis, aortic aneurysm, stent-graft.*