

https://russjcardiol.elpub.ru
doi:10.15829/1560-4071-2019-12-70-75

ISSN 1560-4071 (print)
ISSN 2618-7620 (online)

Ультразвуковая семиотика признаков дестабилизации атеросклеротических бляшек сонных артерий

Зайцев Д. Е., Лепёхина А. С., Труфанов Г. Е.

Цель. Определение места ультразвукового метода исследования в комплексной диагностике атеросклеротического поражения экстракраниального отдела каротидных артерий.

Материал и методы. Исследование проводилось на базе СПб ГБУЗ "Городская Мариинская больница". Всего было обследовано 855 больных, поступивших в региональный сосудистый центр с ишемическими инсультами и транзиторными ишемическими атаками. Средний возраст пациентов составил 68 лет (минимальный 18, максимальный 107). Всем больным было проведено ультразвуковое исследование (УЗИ) сонных артерий.

Результаты. У 570 (66,6%) больных с неврологической симптоматикой (по данным клинико-неврологического обследования) при исследовании было диагностировано гемодинамически незначимое атеросклеротическое поражение каротидных артерий со стенозированием просвета сосуда до 70-75%. При ультразвуковой визуализации у всех пациентов было выявлено наличие признаков нестабильности атеросклеротической бляшки (АСБ) в разных сочетаниях, кроме кровоизлияния. Однозначно визуализировать факт свершившегося кровоизлияния в структуре АСБ не удалось.

Заключение. Несмотря на высокую информативность УЗИ, не представляется возможным ответить на все клинические вопросы посредством использования одного диагностического метода. На данный момент отсутствует классификация признаков нестабильности, отражающая "итоговую" эмболоопасность АСБ, что позволило бы пересматривать тактику ведения бессимптомных пациентов. Необходимо более детальное изучение процессов дестабилизации в структуре АСБ с использованием различных методов визуализации.

Ключевые слова: ультразвуковое исследование, атеросклеротическая бляшка, признаки нестабильности, атеросклероз, каротидный стеноз.

Конфликт интересов: не заявлен.

ФГБУ Национальный медицинский исследовательский центр им. В. А. Алмазова Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия.

Зайцев Д. Е. — аспирант кафедры лучевой диагностики и медицинской визуализации, ORCID: 0000-0003-4991-9774, Лепёхина А. С.* — ординатор кафедры лучевой диагностики и медицинской визуализации, ORCID: 0000-0002-3805-8430, Труфанов Г. Е. — д.м.н., профессор, г.н.с. научно-исследовательского отдела лучевой диагностики, зав. кафедрой лучевой диагностики и медицинской визуализации, ORCID: 0000-0002-1611-5000.

*Автор, ответственный за переписку (Corresponding author):
anna20.04.1994@yandex.ru

ИБС — ишемическая болезнь сердца, ОНМК — острое нарушение мозгового кровообращения, АСБ — атеросклеротическая бляшка, ВСА — внутренние сонные артерии, ОСА — общие сонные артерии, КИМ — комплекс интима-медиа.

Рукопись получена 05.11.2019
Рецензия получена 11.11.2019
Принята к публикации 11.11.2019



Для цитирования: Зайцев Д. Е., Лепёхина А. С., Труфанов Г. Е. Ультразвуковая семиотика признаков дестабилизации атеросклеротических бляшек сонных артерий. *Российский кардиологический журнал*. 2019;24(12):70–75
doi:10.15829/1560-4071-2019-12-70-75

Ultrasound signs of atherosclerotic plaques destabilization in carotid arteries

Zaitsev D. E., Lepekhina A. S., Trufanov G. E.

Aim. To assess the ultrasonography role for diagnosis of atherosclerotic lesions of the extracranial carotid arteries.

Material and methods. The study was conducted on the basis of the St. Petersburg Mariinsky Hospital. A total of 855 patients who were admitted to the regional vascular center due to ischemic stroke or transient ischemic attack were examined. The mean age of the patients was 68 years (min 18, max 107). All patients underwent ultrasound of the carotid arteries.

Results. In 570 (66,6%) patients with neurological symptoms (according to clinical and neurological examination), hemodynamically insignificant carotid artery lumen stenosis up to 70-75% was revealed. Ultrasound imaging in all patients revealed signs of atherosclerotic plaque (ASP) instability in various combinations, except for hemorrhage. It was not possible to clearly visualize the finished hemorrhage in the ASP structure.

Conclusion. Despite the high informative value of ultrasound, it is not possible to answer all clinical questions with its single use. At the moment, there is no classification of instability signs, reflecting the ASP embolism risk. It needs for paternal change the management of asymptomatic patients. More detailed study of ASP destabilization using various visualization methods is necessary.

Key words: ultrasound, atherosclerotic plaque, instability signs, atherosclerosis, carotid stenosis.

Conflicts of Interest: nothing to declare.

Almazov National Medical Research Center, St. Petersburg, Russia.

Zaitsev D. E. ORCID: 0000-0003-4991-9774, Lepekhina A. S. ORCID: 0000-0002-3805-8430, Trufanov G. E. ORCID: 0000-0002-1611-5000.

Received: 05.11.2019 **Revision Received:** 11.11.2019 **Accepted:** 11.11.2019

For citation: Zaitsev D. E., Lepekhina A. S., Trufanov G. E. Ultrasound signs of atherosclerotic plaques destabilization in carotid arteries. *Russian Journal of Cardiology*. 2019;24(12):70–75. (In Russ.)
doi:10.15829/1560-4071-2019-12-70-75

С конца XX века и по сегодняшний день патология сердечно-сосудистой системы стоит на первом месте по смертности. Данный показатель, в силу различных причин, постоянно увеличивается. В настоящее время ежегодно регистрируется около 15 млн смертей вследствие сосудистых катастроф (инфаркты и инсульты). Прогнозы Всемирной организации здравоохранения неутешительны — всего через 10-15 лет смертность по данной группе заболеваний превысит 23,6 млн случаев в год. В структуре смертности от сердечно-сосудистой патологии на первом месте стоит ишемическая болезнь сердца (ИБС), на втором — острое нарушение мозгового кровообращения (ОНМК). Данная группа заболеваний стоит на первом месте по инвалидизации населения (до трети от всех зарегистрированных инсультов). Заболеваемость в крупных городах России достигает 550 случаев на 100 тыс. населения в год [1-3]. До 85% всех ОНМК имеют ишемический характер, из которых, по одним данным, до 20% [1, 4], по другим до 30-40% [5, 6] случаев связаны с наличием АСБ в экстракраниальных отделах каротидных артерий. Большинство авторов отмечают возникновение острого нарушения мозгового кровообращения на фоне отсутствия в анамнезе какой-либо неврологической симптоматики (до 80% всех ОНМК), в связи с чем требуется проведение активных скрининговых исследований среди пациентов старших возрастных групп и у пациентов с наличием ИБС и генерализованного атеросклероза.

В настоящее время, как правило, вопрос о назначении оперативного лечения гемодинамически значимой атеросклеротической бляшки (АСБ) возникает при стенозировании общей (ОСА) и/или внутренней (ВСА) сонных артерий более чем на 75%. В то же время, большая часть инсультов регистрируется на фоне гемодинамически незначимых стенозов. Танащян М. М. и др. (2009) установили значимость взаимосвязи возникновения неврологической симптоматики и структуры АСБ, состоянием её покрышки, при том что степень стенозирования артерии не явилась достоверным фактором прогнозирования инсульта [7]. Соответственно, не теряет актуальности важный диагностический вопрос своевременного выявления при помощи различных методов лучевой диагностики процессов дестабилизации АСБ с площадью стенозирования артерии менее 70-75% [8, 9].

Материал и методы

На базе СПб ГБУЗ “Городская Мариинская больница” было обследовано 855 пациентов, доставленных в приемный покой службой скорой медицинской помощи с диагнозами: ОНМК и транзиторная ишемическая атака (ТИА). Всем больным было проведено ультразвуковое исследование экстракраниаль-

ных отделов каротидных артерий. С этой целью использовали аппарат экспертного класса Logiq Vivid E95 с применением стандартных режимов: двумерная визуализация АСБ в В-режиме, цветовое и энергетическое доплеровское картирование для выявления кровоизлияния в бляшку как наиболее опасного признака нестабильности, импульсно-волновой доплеровский режим для определения функционального состояния сосудистого русла и гемодинамических изменений в области стенозирования. Применяли линейный датчик с изменяемой УЗ-частотой от 8,5 до 12 МГц. Полученные данные заносили в стандартный протокол с отображением площади стеноза просвета ОСА в области бифуркации и, при наличии АСБ, в области устья и средней трети, а также ВСА в областях, доступных для визуализации. Подсчет процента стенозирования проводили по общепринятой формуле в соответствии с европейскими рекомендациями по каротидной хирургии (European Carotid Surgery Trialists, 1998). В протоколе указывали размеры и структуру АСБ, наличие или отсутствие функциональных изменений в виде повышения/понижения линейной скорости кровотока в наиболее стенозированной части артерии, до и после нее, признаки нестабильности бляшки. Ультразвуковое исследование всем пациентам проводили в положении лежа на спине.

При планировании данной работы были определены следующие критерии невключения:

- наличие каротидной энтартерэктомии или стентирования каротидных артерий в анамнезе,
- наличие гемодинамически значимых извитостей хода каротидных артерий,
- наличие гипоплазии каротидных артерий,
- пациенты с геморрагическим инсультом.

Для определения особенностей строения АСБ и описания бляшек применяли классификацию Куликова В. П. и др. (2011):

1. Гомогенная гиперэхогенная бляшка.
2. Гомогенная гипозэхогенная бляшка.
3. Гетерогенная, преимущественно гипер- или гипозэхогенная бляшка.
4. Кальцинированная бляшка.

В немногочисленных публикациях отмечены возможности ультразвукового исследования (УЗИ) в выявлении процессов дестабилизации в атеросклеротической бляшке, характеризующихся определенными изменениями. В основном описываются кровоизлияния в бляшку и изъязвления покрышки как наиболее опасные осложнения [10, 11].

Всеми пациентами, либо их законными представителями, было подписано информированное согласие на проведение исследования. Данная работа была одобрена этическим комитетом ФГБУ “НМИЦ им. В. А. Алмазова” (от 12.02.2018г, протокол № 41).

Таблица 1
Распределение больных по возрасту

Возрастная группа, лет	Количество пациентов
18-19	1
20-29	8
30-39	19
40-49	52
50-59	149
60-69	227
70-79	212
80-89	162
90-99	23
100-107	2

Таблица 2
Наличие признаков нестабильности АСБ

Признак нестабильности	Количество
Неоднородная структура	569
Гипоэхогенная структура	88
Гипоэхогенные включения	85
Слоистость	112
Муральный рост	30
Неровная покрышка	265
Изъязвление покрышки	24
Кровоизлияние в АСБ	-
Кальциноз	342



Рис. 1. Распределение АСБ по форме.

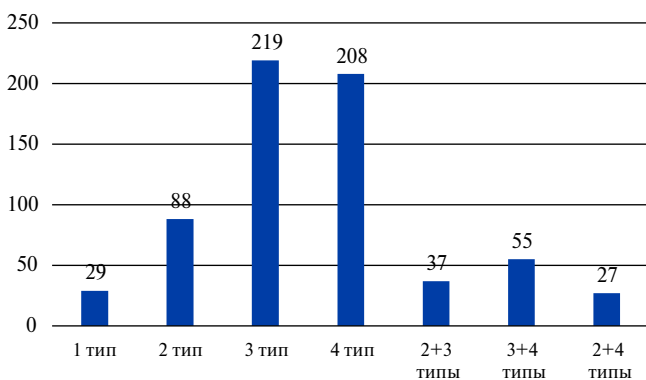


Рис. 2. Распределение АСБ по типам.

Результаты

В ходе проведения исследования было обследовано 855 пациентов (378 мужчин (44,2%) и 477 женщин (55,8%)). Из них больных с инсультом оказалось 752 (331 мужчина (44%) и 421 женщина (56%)), с ТИА — 103 (47 мужчин (45,6%) и 56 женщин (54,4%)).

При сборе анамнеза активно предъявляли жалобы в неврологическом плане перед свершившимся эпизодом ОНМК/ТИА 482 (56,3%) человек. Средний возраст пациентов составил 68 лет, минимальный 18 лет, максимальный 107 лет.

Из таблицы 1 видно, что 51,3% всех обследованных больных относятся к возрастным группам 60-69 лет и 70-79 лет.

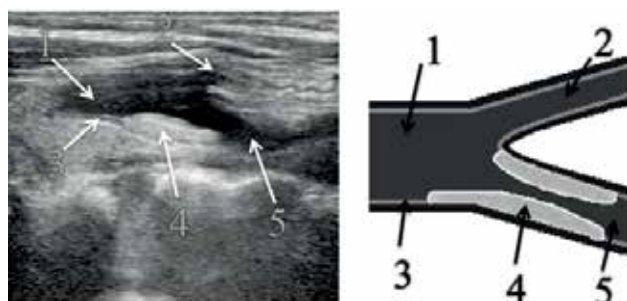


Рис. 3. 1 тип — гомогенная гиперэхогенная АСБ, покрышка ровная, четко визуализируется.

Примечание: 1 — ОСА, 2 — НСА, 3 — КИМ, 4 — АСБ, 5 — ВСА.

По данным УЗИ у 663 (77,5%) пациента было выявлено атеросклеротическое поражение брахиоцефальных артерий с перекрытием просвета сосуда от 5% до 100% (окклюзия), из них у 93 (10,9%) больных — гемодинамически значимый стеноз более 70-75% (у мужчин в 3,5 раза чаще); у 489 (73,7%) — двусторонние АСБ каротидных артерий.

По форме были визуализированы следующие типы АСБ: циркулярные — 109 (16,4%), полуциркулярные — 171 (25,8%), локальные — 205 (31%), одновременное наличие различных АСБ — 178 (26,8%) (рис. 1).

АСБ 1 типа (стабильные, гомогенные гиперэхогенные) определены у 29 (4,4%) больных. У 634 (95,6%) пациентов были выявлены следующие признаки нестабильности структуры бляшки: гетерогенная (>10% объема АСБ) или слоистая структура, гипо- и/или гиперэхогенные включения, гипоэхогенность ≥50% объема, полностью гипоэхогенная АСБ, локальное или диффузное отложение солей кальция, неровность покрышки (наличие углублений), выраженное изъязвление поверхности, муральный рост (табл. 2). При этом достоверно точных кровоизлияний в АСБ по данным УЗИ выявлено не было.

2 тип бляшек был выявлен у 88 обследуемых, 3 тип у 219, 4 тип у 208, сочетание 2 и 3 типов у 37, сочетание 3 и 4 типов у 55, сочетание 2 и 4 типов у 27 больных (рис. 2).

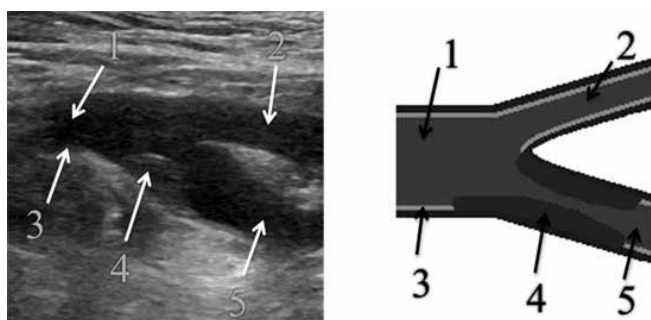


Рис. 4. 2 тип — гомогенная гипоэхогенная АСБ, бывает анэхогенной, выявляется при использовании цветного или энергетического доплера.

Примечание: 1 — ОСА, 2 — КИМ, 3 — КИМ, 4 — АСБ, 5 — ВСА.

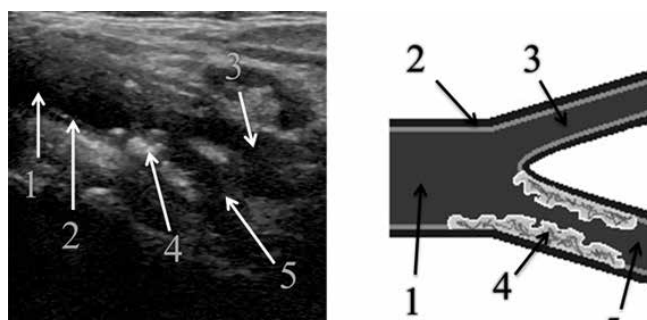


Рис. 5. 3 тип — гетерогенная, преимущественно гиперэхогенная АСБ, покрышка неровная с подрывными краями.

Примечание: 1 — ОСА, 2 — КИМ, 3 — КИМ, 4 — АСБ, 5 — ВСА.

Типы АСБ представлены на снимках и схемах (рис. 3-6).

В 68 (8%) случаях полностью отсутствовали УЗ-признаки формирования АСБ в каротидных артериях, все исследуемые параметры были в границах допустимой нормы, у 47 (5,5%) больных присутствовали начальные атеросклеротические изменения, у 77 (9%) — диффузные атеросклеротические изменения в виде утолщения комплекса интима-медиа (КИМ) ОСА и ВСА до 1,5 мм.

Обсуждение

На сегодняшний день УЗИ применяется наиболее часто по сравнению с другими диагностическими методами, позволяющими визуализировать структуру АСБ, определить площади и диаметр стенозирования просвета каротидной артерии и выявить наличие гемодинамических изменений. Данный метод визуализации обладает неоспоримыми преимуществами: отсутствие каких-либо негативных эффектов на организм человека (дискомфорт для пациента ограничен только необходимостью неподвижно пролежать небольшое количество времени), удобство и относительная простота использования, возможность применения на всех этапах госпитализации и в условиях любого отделения. Однако, как и любой другой метод лучевой диагностики, УЗИ имеет ряд ограничений и недостатков: значительное снижение информативности при визуализации кальцинированных бляшек IV типа с выраженной акустической тенью, трудности при обследовании пациентов с короткой шеей и значительным количеством подкожно-жировой клетчатки, высокой бифуркацией ОСА и другими конституционально-анатомическими особенностями. Что касается выявления признаков нестабильности бляшки, то при проведении УЗИ достаточно сложно установить факт наличия кровоизлияния в АСБ, изъязвление её поверхности, хотя данный метод, несмотря на значительный технический прогресс, продолжает оставаться аппаратно- и операторозависимым [2, 3, 6, 7, 9-11].

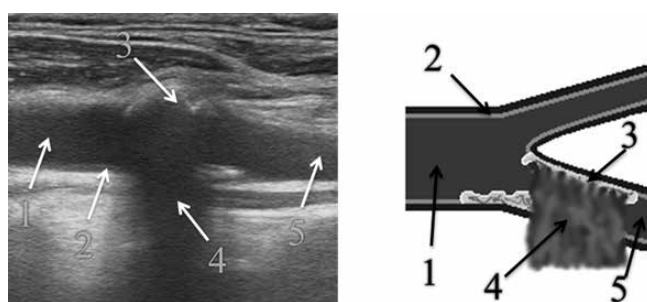


Рис. 6. 4 тип — АСБ с отложением в структуре солей кальция, которые способствуют рассеиванию ультразвуковых волн с формированием акустической тени, которая значительно осложняет исследование.

Примечание: 1 — ОСА, 2 — КИМ, 3 — АСБ, 4 — акустическая тень, 5 — ВСА.

В отечественных публикациях стала появляться информация об опыте применения УЗИ в качестве основного метода по выявлению процессов дестабилизации АСБ. Однако подавляющее большинство исследований направлено на выявление наиболее опасных в плане эмбологенности осложнений (кровоизлияние, изъязвление покрышки, её разрыв с последующей флотацией в просвете сосуда). При этом, как исследователями, так и клиническими специалистами игнорируются на первый взгляд менее значимые признаки нестабильности, такие как неоднородность структуры либо её слоистость, неровность контура, муральный рост, различное по интенсивности отложение солей кальция.

У отечественных исследователей появился опыт применения ультразвукового метода исследования с использованием контрастного усиления для повышения информативности визуализации атеросклеротического поражения экстракраниального отдела сонных артерий. Контрастное усиление можно отнести к дополнительному аппаратному режиму, который делает возможным более детальное исследование состояния покрышки бляшки, визуализацию процесса неоваскуляризации внутри структуры АСБ, как одного из основных процессов, ведущих к дестабилизации. Благодаря применению контра-

стирования можно достигнуть снижения субъективности заключения по данному вопросу [12]. Однако определенные недостатки не позволяют внедрить контрастное усиление в общую практику рутинных УЗИ. Появляется необходимость в приобретении специального препарата, дополнительных расходных материалов для внутривенного введения, задействования в исследовании медицинской сестры и, собственно, ультразвукового аппарата экспертного класса с установкой производителем дополнительного программного обеспечения, что не может не сказаться негативным образом на конечной стоимости исследования.

Некоторое количество исследователей в своих публикациях упоминает о значительной информативности 3D-реконструкций при использовании УЗИ в сравнении с простым двумерным методом. 3D-режим делает возможным объемную визуализацию интересующей области, совмещая в режиме реального времени 2D-изображения из нескольких плоскостей. По определению степени стенозирования брахиоцефальных артерий большое многоцентровое исследование возможностей 3D и обычного УЗИ показало данные по чувствительности на уровне 93% vs 85%, специфичности 83% для двух методов, прогностической ценности положительного результата 82% для двух методов и прогностической ценности отрицательного результата 98% vs 95%, соответственно [13]. Однако для 3D-реконструкции характерны аналогичные слабые стороны, что и для обычного УЗ-метода: субъективность описания выявленных изменений, зависимость от возможностей аппарата, конституции пациента, потребность в специальном датчике [14].

Заключение

Проблема ведения пациентов с асимптомными каротидными стенозами как никогда актуальна. Вопрос назначения каротидной эндартерэктомии или стентирования ОСА и ВСА не перестает обсуждаться. В связи с этим, на диагностическую

службу возлагается важная задача своевременного выявления подобных стенозов (скрининг групп риска) и помощи клиническим специалистам в разработке показаний к оперативному лечению путем проведения лучевых методов визуализации. Одним из таких критериев, постепенно выходящих на главный план, является наличие в АСБ процессов дестабилизации.

Таким образом, УЗИ, несмотря на высокие показатели чувствительности и специфичности в выявлении атеросклеротических бляшек брахиоцефальных артерий, как и любой другой метод лучевой диагностики, имеет ряд достоинств и недостатков. Информативность УЗИ в определении признаков нестабильности значительно варьирует в зависимости от используемого аппарата, квалификации врача, конституции пациента, структурных особенностей АСБ. В связи с чем, при возникновении диагностических трудностей необходимо назначение более объективных и высокоразрешающих методов лучевой диагностики.

Вероятность возникновения ОНМК или ТИА в значительной степени определяется процессами дестабилизации, протекающими в АСБ. Несмотря на общие патогенетические механизмы формирования признаков нестабильности (воздействие повреждающих факторов на сосудистую стенку, формирование воспалительной реакции, процессы неоваскуляризации), все они различаются по степени эмбологенности. Следовательно, является актуальным определение эмболоопасности каждого признака в отдельности и их совокупности по данным различных диагностических методов. Принимая во внимание полученные данные, необходимо учитывать даже, на первый взгляд, незначительные изменения в виде неоднородности структуры АСБ и неровности контура покрывки.

Конфликт интересов: все авторы заявляют об отсутствии потенциального конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Литература/References

1. National guidelines for the treatment of patients with brachiocephalic artery disease. Moscow. 2013. 72 p. (In Russ.) Национальные рекомендации по ведению пациентов с заболеваниями брахиоцефальных артерий. Москва. 2013. 72 с. http://www.angiolsurgery.org/recommendations/2013/recommendations_brachiocephalic.pdf
2. Kuntsevich GI. Ultrasound and morphological characteristics of atherosclerotic plaques removed during carotid endarterectomy. *Functional diagnostics*. 2011;4:3-10. (In Russ.) Кунцевич Г.И. Ультразвуковая и морфологическая характеристика атеросклеротических бляшек, удаленных при каротидной эндартерэктомии. *Функциональная диагностика*. 2011;4:3-10.
3. Markus HS, King A, Shipley M, et al. Asymptomatic embolisation for prediction of stroke in the Asymptomatic Carotid Emboli Study (ACES): a prospective observational study. *Lancet Neurol*. 2010;9:663-71. doi:10.1016/S1474-4422(10)70120-4.
4. Arai D, Yamaguchi S, Murakami M, et al. Characteristics of carotid plaque findings on ultrasonography and black blood magnetic resonance imaging in comparison with pathological findings. *Acta neurochirurgica*. 2011;112:15-9. doi:10.1007/978-3-7091-0661-7_3.
5. Kukharchuk VV, Tararak EM. Atherosclerosis: from A. L. Myasnikov to the present day. *Cardiological Bulletin*. 2010; 5: 12-20. (In Russ.) Кухарчук В.В., Тарарак Э.М. Атеросклероз: от А.Л. Мясникова до наших дней. *Кардиологический вестник*. 2010;5:12-20.
6. Khripun AI, Pryamikov AD, Mironkov AB, et al. Surgical tactics in patients with bilateral stenosis of internal carotid artery. *Annaly khirurgii*. 2015;5:5-10. (In Russ.) Хрипун А.И., Прямыков А.Д., Миронков А.Б. и др. Хирургическая тактика у пациентов с двусторонним поражением внутренней сонной артерии. *Анналы хирургии*. 2015;5:5-10.
7. Tanashyan MM, Lagoda OV, Klimenko IS, et al. Asymptomatic carotid stenosis: another look at the problem. *Annals of clinical and experimental neurology*. 2009;2:17-20. (In Russ.) Танащян М.М., Лагода О.В., Клименко И.С. и др. Асимптомные стенозы сонных артерий: еще один взгляд на проблему. *Анналы клинической и экспериментальной неврологии*. 2009;2:17-20.
8. Gulevskaya TS, Kuntsevich GI, Tanashyan MM, et al. Ultrasonic and morphological characteristics of atherosclerotic plaques removed during carotid endarterectomy. *Functional diagnostics*. 2011;4:3-10. (In Russ.) Гулевская Т.С., Кунцевич Г.И., Танащян М.М. и др. Ультразвуковая и морфологическая характеристика атеросклеротических бляшек, удаленных при каротидной эндартерэктомии. *Функциональная диагностика*. 2011;4:3-10.
9. Pogorelova OA, Tripoten MI, Guchaeva DA, et al. Signs of instability of atherosclerotic plaque in the carotid arteries in patients with acute coronary syndrome according to ultrasound duplex scanning. *Kardiologiya*. 2017;12:5-15. (In Russ.) Погорелова О.А., Трипотень М.И., Гучаева Д.А. и др. Признаки нестабильности атеросклеротической бляшки в сонных артериях у больных с острым коронарным синдромом по данным ультразвукового дуплексного сканирования. *Кардиология*. 2017;12:5-15. doi:10.18087/cardio.201712.1006.
10. Salem MK, Bown MJ, Sayers RD, et al. Identification of Patients with a Histologically Unstable Carotid Plaque Using Ultrasonic Plaque Image Analysis. *Eur. J. of Vascular & Endovascular Surgery*. 2014;48(2):118-25. doi:10.1016/j.ejvs.2014.05.015.
11. Picano E, Paterni M. Ultrasound Tissue Characterization of Vulnerable Atherosclerotic Plaque. *Int J Mol Sci*. 2015;16:10121-33. doi:10.3390/ijms160510121.
12. Chechetkin AO, Druina LD, Evdokimenko AN, et al. New approaches to assessing signs of instability of atherosclerotic plaque in the carotid arteries. *Annals of clinical and experimental neurology*. 2017;1:47-54. (In Russ.) Четчин А.О., Друина Л.Д., Евдокименко А.Н. и др. Новые подходы к оценке признаков нестабильности атеросклеротической бляшки в сонных артериях. *Анналы клинической и экспериментальной неврологии*. 2017;1:47-54.
13. Toubloul PJ, Hernandez-Hernandez R, Kucukoglu S, et al. Carotid artery intima media thickness, plaque and Framingham cardiovascular score in Asia, Africa/Middle East and Latin America: the PARC-AALA study. *Int J Cardiovasc Imaging*. 2007;23(5):557-67. doi:10.1007/s10554-006-9197-1.
14. Koshurnikova MV, Balakhonova TV, Karpov YA. The possibilities of ultrasound three-dimensional visualization in the study of the size and structure of an atherosclerotic plaque. *Atherosclerosis and dyslipidemia*. 2013;4:31-8. (In Russ.) Кошурникова М.В., Балахонова Т.В., Карпов Ю.А. Возможности ультразвуковой трехмерной визуализации при изучении размеров и структуры атеросклеротической бляшки. *Атеросклероз и дислипидемии*. 2013;4:31-8.