

## ТРЕХМЕРНОЕ УЛЬТРАЗВУКОВОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ И МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНАЯ ТОМОГРАФИЯ В ОЦЕНКЕ СТЕПЕНИ СТЕНОЗИРОВАНИЯ СОННЫХ АРТЕРИЙ

Кошурникова М.В., Страздень Е.Ю., Трипотень М.И., Устюжанин Д.В.,  
Шария М.А., Балахонова Т.В.

**Цель.** Сравнительная оценка возможностей применения методов ультразвукового исследования и магнитно-резонансной томографии (МРТ) в диагностике степени стенозирования сосудов каротидного бассейна.

**Материалы и методы.** В исследовании проведен анализ 252 атеросклеротических бляшек (АСБ), выявленных при ультразвуковом дуплексном сканировании (2D-УЗИ) сонных артерий у 75 больных (средний возраст 55,2±18,3 лет) с сердечно-сосудистыми заболеваниями. Методами 2D-УЗИ, трехмерной визуализации (3D-УЗИ) и МРТ сонные артерии были исследованы на всем протяжении, в области бифуркации общих сонных артерий (ОСА) и устья внутренних сонных артерий (ВСА) с обеих сторон.

**Результаты.** Сравнительная оценка частоты выявления стенозов сонных артерий с помощью различных методов визуализации показала, что по данным МРТ и трехмерной ультразвуковой визуализации результаты различались в меньшей степени, чем при сравнении 3D-УЗИ с дуплексным сканированием. Применение метода 2D-УЗИ чаще приводило к недооценке стеноза по сравнению с результатами метода 3D-УЗИ. Установлено, что чувствительность 3D-УЗИ в отношении наличия стеноза сонных артерий составила 92,1%, для метода 2D-УЗИ значение показателя было ниже - 83,4%. Оценка точности показала значения 86,5% и 98,3% для 2D- и 3D-УЗИ соответственно. Сравнение показателя специфичности продемонстрировало несколько меньшую специфичность 2D-УЗИ (94,7%) относительно значений этого параметра для 3D-УЗИ и МРТ (100% в обоих случаях).

**Выводы.** Внедрение метода 3D-УЗИ в алгоритм комплексной диагностики состояния сонных артерий позволяет улучшить диагностику патологических изменений, существенно снижает частоту ложноположительных и ложноотрицательных заключений и дает возможность избежать применения более дорогих методов лучевой диагностики.

**Ключевые слова:** трехмерное ультразвуковое исследование, магнитно-резонансная томография, атеросклероз, сонная артерия, стеноз, чувствительность, специфичность.

## THREE-DIMENSIONAL ULTRASOUND AND MAGNETIC RESONANCE IMAGING IN THE DIAGNOSTICS OF ARTERIAL STENOSIS

Koshurnikova M.V., Strazden E.Y., Tripoten M.I., Ustyuzhanin D.V., Sharia M.A.,  
Balahonova T.V.

**Purpose.** To compare the possibilities between ultrasound and magnetic resonance imaging (MRI) in the diagnostics of carotid stenosis caused by atherosclerotic plaques.

**Material and methods.** 252 atherosclerotic plaques (ASP) were evaluated in 75 patients with cardiovascular disease (mean age 55.2±18.3 years). Patients underwent 2D ultrasound, 3D ultrasound and MRI of carotid arteries at the levels of common carotid artery bifurcation and internal carotid artery ostium.

**Results.** 3D-ultrasound and MRI showed less variability comparing to 2D-ultrasound and MRI in detection of carotid stenosis. 2D-ultrasound often underestimated the stenosis severity compared with 3D-ultrasound. Sensitivity, specificity and accuracy were 92.1%, 100% and 98.3% for 3D-ultrasound, 83.4%, 94.7% and 86.5% for 2D-ultrasound, respec-

ФГБУ «Российский кардиологический научно-производственный комплекс» Минздрава РФ.

г. Москва, Россия

Russian Cardiology Research Complex.  
Moscow, Russia

tively.

**Conclusion.** Detection of carotid stenosis can be improved using 3D-ultrasound; it provides significant reduction of false-positive and false-negative results and allows avoiding more expensive methods.

**Keywords:** three-dimensional ultrasound, magnetic resonance imaging, atherosclerosis, carotid artery, stenosis, sensitivity, specificity.

Ультразвуковое исследование сосудистой стенки - одно из наиболее активно развивающихся направлений ультразвуковой диагностики. Существующие методы исследования (дуплексное сканирование в В-режиме, цветное доплеровское картирование, качественная и количественная оценка доплеровского сдвига частот) позволяют с высокой точностью диагностировать как ранние стадии атеросклеротических изменений такие, как утолщение комплекса интима-медиа, так и выраженные - гемодинамически значимые поражения, субтотальные стенозы, окклюзии [1-4]. Появление аппаратов для УЗИ с возможностью визуализации трехмерного изображения (3D) стало новым этапом развития эхографии и значительно расширило возможности оценки состояния сосудистой системы [3-5]. Первоначально при реализации метода 3D-УЗИ применялся «метод свободной руки», при котором изображение воспроизводилось при помощи линейного датчика посредством получения серии двумерных изображений. Это достигалось путем тщательного сканирования и мягкого, поступательного перемещения датчика вдоль поверхности изучаемой структуры [1,4]. Более совершенная технология получения объемного изображения изучаемой ткани, используемая в различных диагностических системах, представляет собой сбор трехмерной информации при помощи объемного датчика в результате механических колебательных движений излучателя по определенной плоскости внутри датчика [2-5]. Метод обладает рядом достоинств: неинвазивен, безопасен для пациента, воспроизводим, обладает средней стоимостью, однако, существует ряд технических ограничений, не позволяющих в полной мере оценить состояние артерий [5,6].

В мировой литературе встречаются единичные работы на тему сопоставления данных 3D-УЗИ и МРТ или ангиографии, которые в медицинской практике принято считать «золотым стандартом». Так, в работе T. Wessels с соавторами (2004 г.) было показано наличие статистически значимой взаимосвязи между результатами трехмерного ультразвукового исследования и ангиографии ( $r=0,74$ ,  $p<0,001$ ). Средняя чувствительность, специфичность, прогностическая ценность положительного и отрицатель-

ного результатов для трехмерного исследования в выявлении стенозов высокой степени (60-79%) и критических стенозов (80-99%) составили 93%, 83%, 82% и 98%, для двухмерного исследования - 85%, 83%, 82% и 95% соответственно [7].

В то же время эффективность метода изучена недостаточно, отсутствуют общепринятые протоколы проведения 3D-УЗИ у больных с сердечно-сосудистыми заболеваниями для оценки состояния сосудов, в частности, для определения степени стеноза артерий. В связи с вышеизложенным актуальным представляется изучение роли ультразвуковой трехмерной визуализации артерий при изучении степени стенозирования сосудов в сопоставлении с возможностями других методов визуализации.

#### **Цель.**

Сравнительная оценка возможностей применения методов ультразвукового исследования и магнитно-резонансной томографии в диагностике степени стеноза сосудов.

#### **Материалы и методы.**

Работа выполнена на базе института клинической кардиологии им. А.Л. Мясникова (ФГБУ "РКНПК" МЗ РФ). Сравнительная оценка степени стеноза сонных артерий была проведена путем сопоставления данных, полученных с помощью методов 2D-УЗИ, 3D-УЗИ и магнитно-резонансной томографии (МРТ) 252 АСБ, выявленных у 75 пациентов в возрасте от 38 до 82 лет (средний возраст  $55,2 \pm 18,3$ ) при стандартном ультразвуковом исследовании сонных артерий.

Пациенты были в стабильном состоянии, у них отсутствовали признаки острой сердечно-сосудистой и неврологической патологии. Больные получали плановую терапию в соответствии с нозологией.

Ультразвуковое дуплексное сканирование сонных артерий проводили на ультразвуковом приборе IU-22 (Philips, Голландия) с использованием линейного датчика L9-3. При измерении стеноза в случае 2D-УЗИ осуществлялась синхронизация с R-зубцом электрокардиограммы.

С помощью 2D-УЗИ общие сонные артерии были исследованы на всем протяжении и в области бифуркации, а также устья внутренних

сонных артерий с обеих сторон. Исследования были проведены одним оператором.

Процент стеноза измеряли в поперечном сечении в области максимального сужения просвета атеросклеротической бляшкой по уменьшению диаметра сосуда как долю редуцированного диаметра просвета сосуда от истинного диаметра сосуда (% стеноза, D). Атеросклеротическую бляшку определяли как фокальное утолщение стенки сосуда более чем на 0,5 мм или на 50% по сравнению с окружающими участками стенки сосуда, или как фокальное утолщение толщины интима-медиа более чем на 1,5 мм, выступающее в просвет сосуда [8].

Трехмерное ультразвуковое исследование сонных артерий проводили линейным датчиком высокого разрешения VL13-5 (Philips iU22, Голландия) со скоростью реконструкции в режиме 3D и 4D до 64 мегавокселов в секунду. ЭКГ-синхронизация в процессе выполнения 3D-УЗИ не предусмотрена, процесс получения данных для построения изображения занимает большее время, чем один сердечный цикл - за период получения («захвата») изображения может пройти 2 и более сердечных цикла. При этом значение погрешности измерения при получении («захвате») изображения является одинаковым при каждом таком измерении, что не оказывает существенного влияния на построение итогового изображения.

Магнитно-резонансную томографию выполняли для оценки стеноза сонных артерий на аппарате Achieva (Philips, Голландия) с величиной магнитной поля 3 Тл с использованием 16-ти канальной нейроваскулярной и специальной поверхностной 8-ми канальной катушек для исследования каротидных артерий. Протокол МРТ исследования сонных артерий включал T1, T2 и протон-взвешенные последовательности с черной кровью (black blood) в аксиальной плоскости с толщиной среза 2 мм, трехмерную ангиографию с толщиной среза 1 мм (3D TOF- 3D Time-of-Flight) [9].

Статистическую обработку результатов выполняли с помощью программы Statistica 8.0 (StatSoft, США). Сравнение показателей, полу-

ченных при исследовании методами 2D- и 3D-УЗИ, выполняли с помощью критерия  $\chi^2$ .

Количественную оценку эффективности метода 3D-УЗИ в оценке стеноза сонных артерий проводили путем расчета показателей чувствительности, специфичности и точности метода. Для сравнения эффективности различных методов диагностики вышеприведенные показатели рассчитывали для методов 2D-УЗИ и 3D-УЗИ, сравнивали полученные значения с таковыми, полученными для метода МРТ. Последний был использован нами в качестве референтного для оценки степени стеноза. Выбор МРТ обусловлен соображениями безопасности выполнения исследования, поскольку применение более точного метода оценки степени стеноза - мультиспиральной компьютерной томографии с контрастированием - сопряжено с определенным риском развития осложнений.

**Результаты исследования.**

Результаты МРТ в нашей работе показали, что большие степени стеноза (более 75 %) были выявлены в 17 (6,7%) случаях, по данным 3D-УЗИ несколько реже - 15 АСБ, что составило 5,9%. Реже всего данная степень стеноза артерий определялась при проведении 2D-УЗИ - в 10 случаях (4,0%).

Степень стеноза 50-75% чаще была выявлена при проведении трехмерной визуализации - 73 (29,0%) АСБ, в то время как с помощью 2D-УЗИ в 68 (27,0%) случаях. Применение МРТ позволило определить данную степень стеноза в 71 случае (28,2%).

Частота выявления малых степеней стеноза артерий (20-50 %) с помощью МРТ и 3D-УЗИ была одинаковой - 164 АСБ (65,1%). В то же время при проведении 2D-УЗИ выявлено 174 (69,0%) случая данной степени стеноза (Таблица №1).

Таким образом, сравнительная оценка частоты выявления стеноза сонных артерий с помощью различных методов визуализации показала, что по данным МРТ и 3D-УЗИ результаты различались в меньшей степени, чем при сравнении с 2D-УЗИ. Однако статистический анализ частоты встречаемости признака по крите-

**Таблица №1. Распределение исследованных АСБ по степени стеноза в зависимости от применения различных методов диагностики (n=252).**

% стеноза	2D-УЗИ, n=252		3D-УЗИ, n=252		МРТ, n=252	
	Абс.	%	Абс.	%	Абс.	%
20-50	174	69,0	164	65,1	164	65,1
50-75	68	27,0	73	29,0	71	28,2
75 и более	10	4,0	15	5,9	17	6,7

**Таблица №2. Чувствительность, специфичность и точность методов 2D-, 3D-УЗИ и МРТ в оценке степени стеноза сонных артерий (n=252).**

Методы исследования	Чувствительность, %	Специфичность, %	Точность, %
2D-УЗИ	83,4	94,7	86,5
3D-УЗИ	92,1	100,0	98,3
МРТ	100,0	100,0	100,0

рию  $\chi^2$  не выявил достоверных различий этих показателей.

Для оценки эффективности метода 2D- и 3D-УЗИ в диагностике стеноза сонных артерий рассчитывали чувствительность, специфичность и точность метода. При расчетах использовали данные, полученные при обследовании 75 пациентов, каждому из которых исследование было проведено с помощью всех трех методов исследования – 3D-УЗИ, 2D-УЗИ и МРТ.

Нами было установлено, что чувствительность 3D-УЗИ в отношении наличия стеноза сонных артерий составила 92,1%, для метода 2D-УЗИ значение показателя было ниже - 83,4%. Оценка точности показала значения 86,5% и 98,3% для 2D- и 3D-УЗИ соответственно. Сравнение специфичности продемонстрировало несколько меньшие значения для 2D-УЗИ (94,7%) относительно значений этого параметра для 3D-УЗИ и МРТ (100% в обоих случаях) (Таблица №2).

Вышеизложенное свидетельствует в пользу того, что внедрение метода 3D-УЗИ в алгоритм комплексной диагностики состояния сонных артерий может привести к снижению частоты ложноположительных и ложноотрицательных заключений.

На рисунках 1-4 представлены примеры оценки выраженности атеросклеротических изменений сонных артерий по данным 3D-УЗИ и МРТ. При этом результаты, полученные при оценке стеноза артерий каротидного бассейна с помощью метода 3D-УЗИ, были полностью подтверждены данными МРТ.

#### **Обсуждение результатов.**

Результаты нашего исследования показали, что частота выявления стенозов 50-70% и стенозов более 75% при проведении МРТ и трехмерного ультразвукового исследования сонных артерий практически не отличалась (71 (28,2 %) и 73 (29 %); 17 (6,7 %) и 15 (5,9 %) АСБ соответственно). Частота выявления данных градаций стенозов при проведении стандартного дуплексного сканирования сонных артерий (2D-УЗИ) была несколько ниже, однако, данные различия не достигали статистической значимости (68 АСБ (27%) и 10 АСБ (4%) соответ-

ственно для стенозов 50-75% и более 75%).

Частота выявления стенозов от 20% до 50% методом дуплексного сканирования в нашей работе была несколько выше, чем при использовании методов МРТ и 3D-УЗИ (174 АСБ (69%) против 164 АСБ (65,1%) соответственно). Однако различия также не достигали статистической значимости. Эти результаты могут свидетельствовать о том, что применение метода 2D-УЗИ чаще приводит к недооценке степени выраженности стеноза по сравнению с результатами метода 3D-УЗИ. Однако можно предположить, что в отношении стенозов малых градаций метод дуплексного сканирования (2D-УЗИ) достаточно информативен. А метод 3D-УЗИ можно рекомендовать в дополнение к дуплексному сканированию при наличии гемодинамически значимых стенозов для уточнения характера атеросклеротических изменений

Проведенное нами исследование показало, что чувствительность 3D-УЗИ в отношении выявления стеноза сонных артерий составила 92,1%, для метода 2D-УЗИ это значение составило 83,4%, точность составила 86,5% и 98,3% для 2D- и 3D-УЗИ соответственно. Сравнение специфичности продемонстрировало несколько меньшие значения для метода 2D-УЗИ (94,7%) относительно значений этого параметра для методов 3D-УЗИ и МРТ (100% в обоих случаях).

Результаты нашего исследования согласуются с данными литературы и подтверждают, что 3D-УЗИ является эффективным методом диагностики в оценке выраженного атеросклеротического поражения. В работе Г.И. Кунцевич с соавторами (2001 г.) при сопоставлении возможностей дуплексного сканирования и трехмерной реконструкции (был использован «метод свободной руки») в диагностике окклюзирующего поражения сонных артерий было показано, что чувствительность, точность и специфичность трехмерной эхографии составляют 97,5%, 98,7% и 100%. Для дуплексного сканирования эти значения были несколько ниже - 88%, 93% и 100% соответственно [10]. Необходимо отметить, что в данной работе исследовались гемодинамически значимые АСБ со стенозами более 75%.

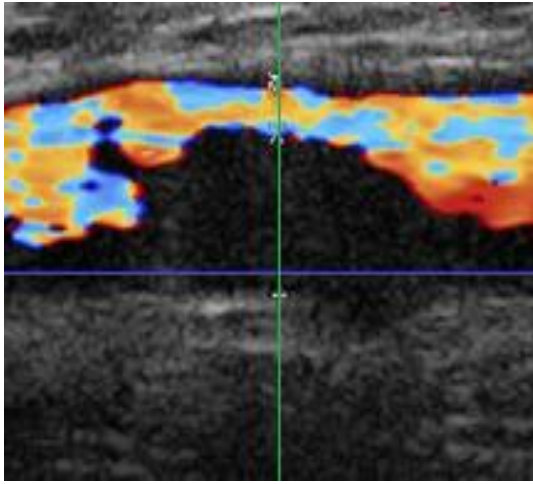


Рис. 1,а.

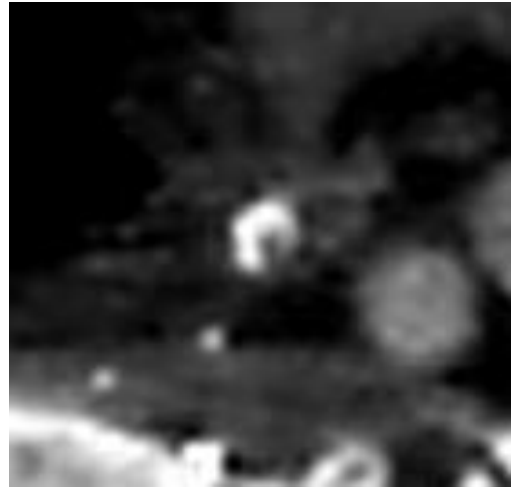


Рис. 1,б.

**Рис. 1. Изображение. Атеросклеротическая бляшка внутренней сонной артерии.**

а – 3D-УЗИ. Режим ЦДК, плоскость мультипланарной реконструкции. б – МРТ.

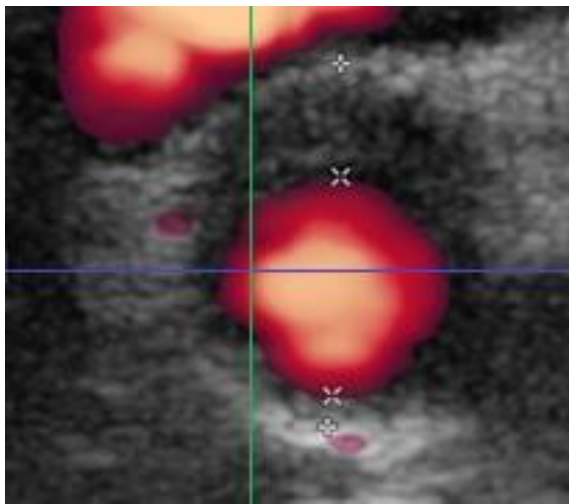


Рис. 2,а.

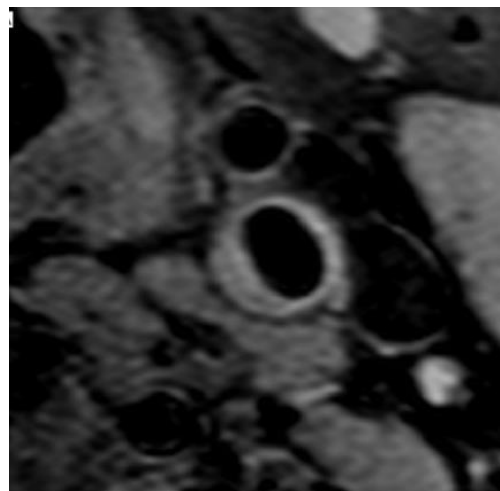


Рис. 2,б.

**Рис. 2. Изображение. Атеросклеротическая бляшка общей сонной артерии.**

а – 3D-УЗИ. Режим ЭДК, плоскость мультипланарной реконструкции. б – МРТ.

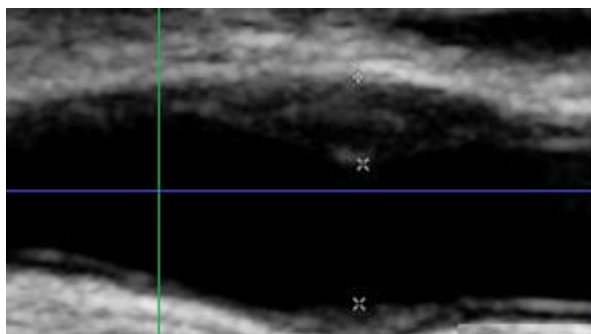


Рис. 3,а.

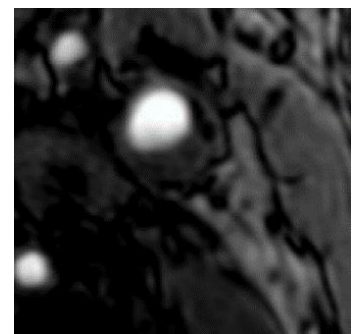


Рис. 3,б.

**Рис. 3. Изображение. Атеросклеротическая бляшка общей сонной артерии.**

а – 3D-УЗИ. Плоскости мультипланарной реконструкции. б – МРТ.

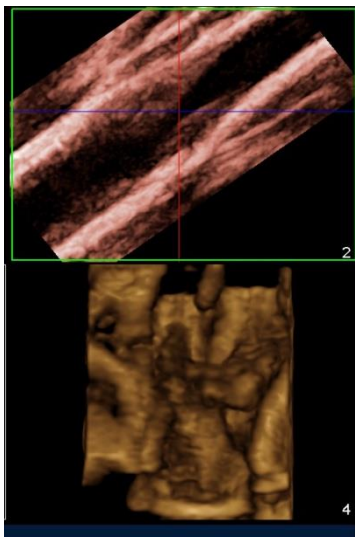


Рис. 4,а.

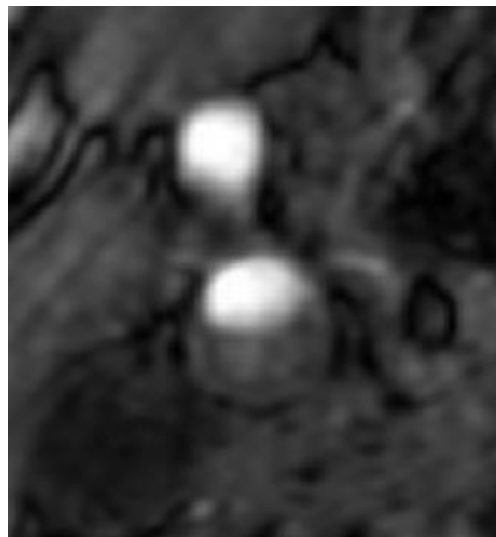


Рис. 4,б.

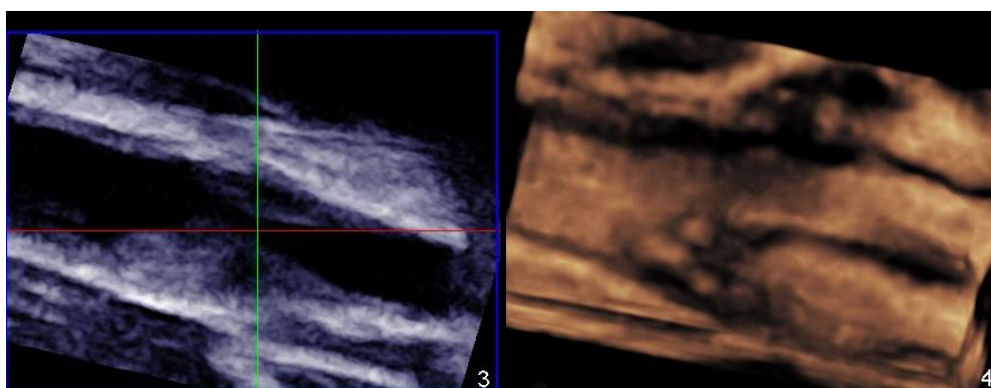


Рис. 4,в.

**Рис. 4. Изображение общей сонной артерии.**

а, в – 3D-УЗИ. Плоскости мультипланарной реконструкции, вид со стороны ОСА (а), сверху и спереди (в).  
б – МРТ.

**Выводы.**

Таким образом, внедрение метода 3D-УЗИ в алгоритм комплексной оценки выраженности атеросклеротического поражения сонных артерий позволит улучшить диагностику гемодина-

мически значимых изменений, снизить частоту ложноположительных и ложноотрицательных заключений и даст возможность избежать применения более дорогих методов лучевой диагностики.

**Список литературы:**

1. Кунцевич Г.И. Ультразвуковые методы исследования ветвей дуги аорты. – Минск: Аверсэв, 2006. — 208 с.
2. Chaudhuri A. Commentary on 'strain measurement of abdominal aortic aneurysm with real-time 3D ultrasound speckle tracking' // *Eur. J. Vasc. Endovasc. Surg.* - 2013. – Vol.45 (4). – P.324-325.
3. Yu H., Pattichis M.S., Agurto C., Beth G. 3D freehand ultrasound system for multi-view reconstructions from sparse 2D scanning planes. *Biomed. Eng. Online.* 2011; 10 (7).
4. Rim Y., McPherson D., Kim H. Volumetric three-dimensional intravascular ultrasound visualization using shape-based non-linear interpolation. *Biomed. Eng. Online.* 2013; 12 (1): 39.
5. Kalashyan H., Saqqur M., Shuaib A. et al. Comprehensive and rapid assessment of carotid plaques in acute stroke using a new single sweep method for three-dimensional carotid ultra-

- sound // *Echocardiography.* – 2013. – Vol.30 (4). – P.414-418.
6. Porto I., Dato I., Todaro D. et al. Comparison of two- and three-dimensional quantitative coronary angiography to intravascular ultrasound in the assessment of intermediate left main stenosis // *Am. J. Cardiol.* – 2012. – Vol.109 (11). – P.1600-1607.
7. Touboul P.J., Hernández-Hernández R., Küçükoğlu S. et al. Carotid artery intomamadia thickness, plaque and Framingham cardiovascular score in Asia, Africa/ Middle East and Latin America: the PARC-AALA study // *Int. J. Cardiovasc. Imaging.* – 2007. – Vol.23 (5). – P.557-567.
8. Кунцевич Г.И., Тер-Хачатурова И.Е., Бурцева Е.А. Сопоставление данных дуплексного сканирования и трехмерного изображения в диагностике окклюзирующих поражений сонных артерий // *Ультразвуковая и функциональная*

диагностика. - 2001. - № 4. - С. 77-81.

**9.** Страздънъ Е.Ю., Шария М.А., Тарарак Э.М., Устюжанин Д.В. Применение магнитно-резонансной томографии в определении стабильности атеросклеротической бляшки // REJR. - 2013. - Том 3. - №1. - С. 57-61.

**10.** Wessels T., Harrer J. U., Stetter S. et al. Three-dimensional assessment of extracranial Doppler sonography in carotid artery stenosis compared with digital subtraction angiography // Stroke. - 2004. - Vol. 35(8). - P.1847-1851.