

РОЛЬ МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОЙ ТОМОГРАФИИ В ИССЛЕДОВАНИИ АТЕРОСКЛЕРОТИЧЕСКОГО ПОРАЖЕНИЯ АОРТЫ

Максимова А.С., Лишманов Ю.Б., Усов В.Ю.

Цель исследования. Современные исследования в области патогенеза атеросклероза, усовершенствование диагностики и способов обработки изображений, позволили магнитно-резонансной томографии (МРТ) занять лидирующую позицию в визуализации атеросклеротического поражения сосудов. МРТ развивается и становится важнейшим диагностическим методом визуализации сосудов и характеристики атеросклеротических бляшек аорты и других крупных сосудов.

Материалы и методы. В данном обзоре описываются современные подходы к визуальной диагностике атеросклероза с их ограничениями и раскрывается роль МРТ в диагностике атеросклеротического поражения аорты.

Выводы. МРТ выступает в качестве ведущего неинвазивного метода визуализации атеросклероза. Количественная характеристика атеросклеротических бляшек аорты, сонных и периферических артерий по данным МРТ является точной и хорошо воспроизводимой. МРТ является идеальным методом визуализации для мониторинга антиатеросклеротической терапии.

Ключевые слова: магнитно-резонансная томография, парамагнитное контрастирование, атеросклероз аорты.

Контактный автор: Максимова А.С., e-mail: asmaximova@yandex.ru

Для цитирования: Максимова А.С., Лишманов Ю.Б., Усов В.Ю. Роль магнитно-резонансной томографии в исследовании атеросклеротического поражения аорты. REJR 2018; 8(4):184-193. DOI:10.21569/2222-7415-2018-8-4-184-193.

Статья получена: 13.10.18 Статья принята: 25.10.18

ROLE OF MAGNETIC RESONANCE IMAGING IN STUDIES OF ATHEROSCLEROSIS OF AORTA

Maksimova A. S., Lishmanov Yu. B., Ussov W. Yu.

Purpose. Recent studies on the pathogenesis of atherosclerosis, the improvement in diagnostics and imaging methods, have brought magnetic-resonance imaging (MRI) to the forefront in the visualization of atherosclerotic lesions. MRI is developing and becoming the most important diagnostic method for both imaging of arterial wall and lumen and depiction of atherosclerotic plaques of aorta and large arteries. This review summarizes advanced approaches to the imaging diagnosis of atherosclerosis with their limitations and promotes the role of MRI in the diagnosis of atherosclerotic aortic disease.

Keywords: magnetic resonance tomography, paramagnetic enhancement, atherosclerosis of aorta.

Corresponding author: Maksimova A.S., e-mail: asmaximova@yandex.ru

For citation: Maksimova A. S., Lishmanov Yu. B., Ussov W. Yu. Role of magnetic resonance imaging in studies of atherosclerosis of aorta. REJR 2018; 8 (4):184-193. DOI:10.21569/2222-7415-2018-8-4-184-193.

Received: 13.10.18 Accepted: 25.10.18

Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук, Научно-исследовательский институт кардиологии. г. Томск, Россия.

Cardiology Research Institute, Tomsk National Research Medical Centre, Russian Academy of Sciences, Tomsk, Russia

Н а сегодняшний день острые сердечно-сосудистые заболевания остаются ведущей из причин смертности и инвалидизации взрослого населения индустриально развитых стран и, по данным Всемирной организации здравоохранения, большинство из них связано с болезнями, обусловленными атеросклерозом и его осложнениями [1]. Атеросклероз представляет собой системное заболевание, которое не ограничивается одним сосудистым бассейном, а поражает практически всю артериальную систему. Клинические проявления в большинстве случаев зависят от локализации и прогрессирования поражения. Чаще всего в атеросклеротический процесс вовлекаются коронарные артерии, артерии нижних конечностей, цереброваскулярные сосуды, а также аорта. Наличие симптоматики в определенной области, например, остро коронарного синдрома – при атеросклерозе коронарных артерий, транзиторных ишемических атак – при поражении сонных артерий головного мозга, предполагает тщательное дообследование всех остальных сосудистых бассейнов [2]. Атеросклеротическая бляшка может располагаться в любом артериальном сосуде, но на первом месте по частоте, интенсивности, объему поражения стоит бифуркация сонных артерий, коронарные артерии и аорта [3 - 6]. Аорта, являясь самым крупным сосудом, испытывает максимальные нагрузки и больше других артерий подвержена повреждающим факторам. При этом повреждение может локализоваться как в отдельных участках аорты, так и на всем протяжении. Атеросклероз аорты опасен своими осложнениями (расслоение, аневризма аорты), при этом атеросклеротическое поражение аорты долгое время может оставаться бессимптомным. Развитие и прогрессирование атеросклероза можно значительно замедлить путем коррекции таких ключевых факторов риска, стимулирующих его развитие, как курение, низкая физическая активность, злоупотребление алкоголем, нездоровое питание с избытком соли и жиров. Сопутствующие заболевания такие, как артериальная гипертензия, сахарный диабет, гиперлипидемия, ожирение требуют максимально раннего выявления, оказания помощи и своевременного начала приема гиполипидемических препаратов. Кроме традиционных факторов риска развития атеросклероза в последние годы оцениваются и менее известные, к которым относится генетическая предрасположенность, результаты таких исследований не только изучают молекулярную основу атеросклероза, но и позволяют прогнозировать и выявлять предрасположенность к развитию преждевременного атеросклероза у лиц молодого возраста [7]. Скорость прогрессирования стенозов и иных атеросклеротических пораже-

ний стенки зависит от многих факторов и поэтому у одних пациентов атеросклеротические изменения в сосудах развиваются стремительно, у других – прогрессируют медленно, иногда оставаясь стабильными в течение многих лет [8,9]. Основной целью всех имеющихся современных методов лечения атеросклероза является замедление прогрессирования заболевания и предотвращение развития серьезных осложнений.

Современные подходы к визуальной диагностике атеросклероза и их ограничения.

Для визуализации и оценки атеросклеротического поражения сосудов применяются различные методы томографической и высоко-разрешающей планарной визуализации: рентгеновская инвазивная ангиография, мульти-спиральная компьютерная томография (МСКТ), магнитно-резонансная томография (МРТ), методы радионуклидной диагностики и ультразвуковые методы исследования. До последнего времени рентгеновская инвазивная ангиография была «золотым» стандартом диагностики и визуализации артериальных сосудов, но, учитывая свои инвазивные характеристики, сложность, возможные осложнения, стоимость, этот метод в настоящее время заменяется другими не менее эффективными неинвазивными методами диагностики [10-13].

Так, МСКТ-ангиография уже давно перешла из «новых» в область рутинного клинического применения, позволяя неинвазивно и с высокой точностью оценить сосудистые структуры на большом протяжении. МСКТ-ангиография предоставляет также возможность одновременной визуализации калибра и диаметра сосуда и получения изображения под различными углами при единственном сборе данных в труднодоступных для обычной ангиографии областях. В настоящее время она используется как основной способ предоперационного исследования и количественной оценки тяжести поражения аорты и ее ветвей в ангиохирургии [12].

Среди методов радионуклидной визуализации наиболее информативным является позитронная эмиссионная компьютерная томография (ПЭТ), совмещенная с рентгеновским компьютерным томографом (КТ) – ПЭТ-КТ [14]. Появление ПЭТ-КТ и возможности детального изучения структуры сосудистой стенки привело к росту заинтересованности в разработке РФП для применения в ангиологии с позиций оценки метаболизма сосудистой стенки, а также различных регуляторных и биофизических механизмов и процессов. Среди наиболее информативных РФП следует назвать, в первую очередь, ¹⁸F-фтордезоксиглюкозу, отражающую метаболическую гликолитическую активность клеток,

а также специфичные к молекулам сосудистой клеточной адгезии-1 (VCAM-1) препараты 18F-4V и 64Cu-TNP, специфичный для апоптоза аннексин-V, меченный ^{99m}Tc, отражающие протеазную активность, меченые I-123 и F-18 РФП низкомолекулярные ингибиторы матричных металлопротеиназ, а также РФП, специфичные для интегринов эндотелиальных клеток [15-18]

Большое значение в диагностике и принятии клинических решений для определения показаний к оперативным вмешательствам на каротидных и периферических сосудах сохраняют ультразвуковые методы исследования: как В-режим, так и спектральный Доплер, цветное дуплексное сканирование артерий, которое является широкодоступным для скрининга и диагностики сосудистых поражений, и имеют четкие критерии нормы и патологии, а также прогноза течения патологии [9-19]. Триплексное сканирование позволяет оценить состояние сосудистых стенок на всем доступном для визуализации протяжении, а также дает возможность определить степень стеноза, извитость и петлеобразование артерий [20,12,21]. Однако не всегда ультразвуковое исследование дает четкое представление о степени стабильности бляшки [22,23].

Необходимость визуализации стенки сосуда для раннего выявления атеросклероза и характеристики компонентов бляшек привела к разработке нескольких новых диагностических методов, одним из которых является внутрисосудистое ультразвуковое исследование. Показано, что данный метод позволяет получать изображение просвета артерий и оценивать ультразвуковую структуру сосудистой стенки в различных участках. [24-26]. Использование внутрисосудистого ультразвукового исследования ограничивается инвазивным характером методики, а также наличием артефактов, которые мешают точной интерпретации изображений. Другие методы такие, как внутрисосудистая оптическая когерентная томография, термография бляшек и ангиоскопия, широко не используются в силу своей инвазивности и малоизученности [27].

Диагностика атеросклероза аорты достаточно трудна и рутинно ультразвуковыми средствами не осуществляется, поскольку ультразвуковой доступ к нисходящей аорте, особенно у пациентов с ожирением, сложнее, чем к периферическим артериям или сердцу и требует, как правило, чреспищеводного протокола исследования. МСКТ, напротив, широко используется для оценки отложений кальция, как в области коронарных артерий, так и в стенке периферических артерий, а МСКТ-ангиография обеспечивает надежную визуализацию с высоким разрешением просвета аорты и ее ветвей. Однако для оценки процессов воспаления при

атеросклерозе и, в частности, патологического неоангиогенеза в толще аортальной стенки, обеспечивающих проникновение патологических компонент липидного спектра крови в толщу аортальной стенки ультразвуковые и рентгеновские методы пока еще не адаптированы. Поэтому среди неинвазивных методов диагностики атеросклероза аорты, помимо ультразвуковой диагностики и компьютерной томографии, ведущую роль в последнее время занимает магнитно-резонансная томография. Магнитно-резонансная томография является безопасной неинвазивной методикой, позволяющей визуализировать просвет сосуда и его стенку [28-30].

Магнитно-резонансная ангиография (МРА) стала основным методом неинвазивной визуализации аорты, благодаря ее комплексной многоплановой внутрисосудистой оценке, а также детальной оценке пристеночных мягких тканей. Кроме того МРА дает информацию об объеме и скорости кровотока, что является важным преимуществом по сравнению с компьютерной томографией. МРА незаменима, в первую очередь, у тех пациентов, которым по каким-то причинам необходимо избежать введения йодированного контрастного вещества или ионизирующего излучения. Несомненно, есть и ограничения, но они касаются в целом МРТ: несовместимость с некоторыми имплантируемыми медицинскими устройствами, клаустрофобия. Существует широкий спектр показаний к МРА аорты: острый аортальный синдром (расслоение аорты, интрамуральная гематома, атеросклероз, аневризма аорты), послеоперационный контроль открытого или эндоваскулярного лечения, врожденные пороки сердца (включая коарктацию аорты и двустворчатый аортальный клапан, васкулиты) [31]. Применение ЭКГ-синхронизации во время исследования необходимо и помогает свести к минимуму артефакты движения при выполнении МРА грудной аорты, особенно у ее корня, но не является столь обязательным для брюшной аорты. МРТ может быть проведена с использованием внутрисосудистых контрастных веществ на основе гадолиния или без контрастного усиления.

МРТ без контрастного усиления.

Основные методики МРА без контрастного усиления включают в себя время-пролетную (time of flight – TOF) и фазово-контрастную (phase-contrast – PC).

- В основе время-пролетной ангиографии лежит импульсная последовательность «градиентное эхо» с коротким временем повторения (TR) и представляет собой метод получения контраста между циркулирующей кровью и окружающими тканями, путем изменения величины намагниченности. Последовательности с коротким TR максими-

зируют связанное с током крови усиление сигнала. Толщина среза при этом должна быть сведена к минимуму и ориентирована перпендикулярно направлению потока крови, чтобы уменьшить потерю сигнала из-за возможных артефактов. Кровь, протекающая перпендикулярно срезу или имеющая перпендикулярную к нему компоненту скорости, дает высокий сигнал. Неподвижные же ткани за столь короткое время повторения РЧ-импульсов не успевают релаксировать и восстанавливать свою намагниченность, поэтому сигнал от них снижен [32]. Чтобы избежать потери сигнала, связанной с дефазировкой от турбулентного потока, TOF использует считывание с компенсацией потока [33].

- Фазово-контрастная ангиография – это уникальной неконтрастный метод с возможностью количественной оценки скорости кровотока. Импульсные последовательности фазово-контрастной методики учитывают фазовые сдвиги между движущимися и неподвижными протонами и используют биполярные градиенты для усиления МР-сигнала от кровотока и снижения от неподвижных тканей. В этой методике получают две серии изображений исследуемой зоны интереса: эти изображения совершенно идентичны, за исключением МР-сигнала от сосудов – в одном наборе МР-сигнал от них высокий, в другом – низкий. Вычитая одно изображение из другого, на МР-ангиограммах имеем лишь изображения движущейся крови [34,35]. Фазово-контрастная ангиография в 4 раза медленнее TOF.

С помощью этих методов получают изображение так называемой «яркой крови» (внутрисосудистый сигнал отображается как высокоинтенсивный, в то время как фоновые ткани сильно подавляются), кроме этого существует, разработанный на основе TOF, метод «темной крови» (подавляется сигнал от кровотока, тогда как окружающие ткани и стенки сосудов выглядят яркими) – используется в областях с высокой турбулентностью потока, к примеру, для оценки стенозов.

Большинство исследователей сходятся во мнении, что традиционное измерение тяжести атеросклероза, как степени стенозирования сосуда, недостаточно в качестве маркера риска осложнений и является только одним из нескольких факторов, которые предрасполагают к тяжелым последствиям поражения сосудов. Основные преимущества МРТ при диагностике поражений аорты лежат в широком спектре доступных технологий, что дает возможность изучать какой-либо один аспект поражения

аорты, начиная от характеристики утолщения стенки и до классификации атеросклеротической бляшки. С помощью МРТ можно визуализировать, а также количественно оценить все основные компоненты атеросклеротической бляшки, в том числе фиброзную ткань, кальцинированный и липидный компоненты [36].

На сегодняшний день, достигнут значительный прогресс в подтверждении способности МРТ дифференцировать различные типы атеросклеротических бляшек. Проведено большое количество исследований на сонных артериях [37-40]. Являясь крупными поверхностными артериями, они хорошо подходят для визуализации и играют важную роль в диагностике развития инсульта, и, что немаловажно, при проведении операции каротидной эндартерэктомии имеется возможность сопоставления гистологических результатов и данных, полученных с помощью МРТ. Показано, что с помощью МРТ можно точно и хорошо воспроизводимо измерить объем бляшки, толщину стенки сосуда, размеры липидного ядра, кальцификации, фиброзного компонента, а также кровоизлияния в толще бляшки [38,41]. Данные результаты распространяются и на другие крупные сосуды, в частности аорту и бедренные артерии [42,43].

Ключевым преимуществом МРТ для характеристики атеросклеротически измененного сосуда является возможность получать и комбинировать различные серии изображений, например, время-пролетную (TOF) и T1-, T2-, протонно-взвешенные изображения с подавлением сигнала от кровотока [44,45]. В одном из исследований была доказана взаимосвязь толщины стенки восходящей аорты с наличием гомозиготной семейной гиперхолестеринемии в анамнезе у пациентов [46]. В известном Фремингемском исследовании для оценки распространенности и степени тяжести атеросклеротического поражения аорты у бессимптомных пациентов также использовали магнитно-резонансную томографию, при этом было показано, что степень тяжести атеросклеротического поражения аорты коррелирует с возрастом и более выражена в брюшной, нежели в грудной аорте [47]. Кроме того, было выявлено, что многолетняя оценка факторов риска, в том числе степень коронарного риска достоверно связана с асимптоматическим атеросклерозом по данным МРТ [48].

МРТ с контрастным усилением.

Применение контрастных агентов, которые избирательно повышают визуализацию различных областей, занимает большую нишу в области магнитно-резонансной томографии и значительно расширяет ее диагностическую значимость. Использование контрастных веществ на основе гадолиния при атеросклеротическом поражении сосудов были впервые ис-

следованы на животных и описаны в работе Лин и других, на человеке – впервые изучены в исследовании Аоки и других [49, 50]. Использование контрастных веществ значительно расширило клиническую эффективность МРТ. При проведении МРТ с контрастным усилением применяются хорошо переносимые контрастные препараты на основе гадолиния. Наиболее часто используется стандартная дозировка парамагнетика – 0,1 мл на кг массы тела пациента, контрастный препарат вводится в периферическую вену со скоростью 2-5 мл в секунду. При проведении контрастной МРА достигается превосходное соотношение контраст-шум, что резко сокращает время релаксации T1 протонов крови. При переходе от томографов с напряженностью магнитного поля от 1,5 Т к 3,0 Т увеличенное отношение сигнал-шум можно использовать для уменьшения дозы контрастного вещества при достижении такого же качества изображения [51]. В то время, как контрастная МРА оценивает в основном просвет сосуда, протоколы МРА аорты должны включать последовательности для визуализации стенок сосудов такие, как T1-ВИ в аксиальной проекции. При визуализации абдоминальной аорты для улучшения визуализации стенки может быть использована последовательность с подавлением жира. В настоящее время МРТ с контрастным усилением стала одним из наиболее информативных методов визуализации атеросклеротических бляшек, оценки их состояния и структуры [37]. Контрастированная МРТ обеспечивает уникальные преимущества для визуализации компонентов атеросклеротической бляшки и определения нестабильности бляшки *in vivo* [52, 54-59]. Многие исследования подтверждают данные, полученные с помощью МРТ гистологически [38,60,61]. Наличие кровоизлияний внутри бляшки или внутрипросветного тромба также могут быть визуализированы с помощью МРТ [41, 62-64].

Заключение.

Современные исследования в области патогенеза атеросклероза, усовершенствование диагностики и способов обработки изображений, перенесли МРТ на передний план в визуализации атеросклеротического поражения сосудов. МРТ развивается и становится важнейшим

диагностическим методом визуализации сосудов и характеристики атеросклеротических бляшек аорты, сонных и периферических артерий. Клинически, магнитно-резонансная томография дает уникальную возможность неинвазивного контроля прогрессирования атеросклеротической бляшки с течением времени, что обеспечивает беспрецедентную область для исследования эффективности современных и новых лекарственных средств, используемых при лечении атеросклероза, а также в интервенционной терапии. За счет ранней диагностики атеросклероза и выявления уязвимых бляшек с высоким риском осложнений, МРТ потенциально может обеспечить лучшую стратификацию риска, чем современные ангиографические методы. В конечном счете, МРТ может стать ключевым методом диагностики пациентов, входящих в группу риска по атеросклерозу, вовремя начатое лечение которых поможет предотвратить серьезные сердечно-сосудистые осложнения.

Таким образом:

- В настоящее время МРТ выступает в качестве ведущего неинвазивного метода визуализации атеросклероза.
- Количественная характеристика атеросклеротических бляшек аорты, сонных и периферических артерий по данным МРТ является точной и хорошо воспроизводимой.
- Ряд исследований подтверждают дифференциацию морфологии атеросклеротической бляшки с помощью МРТ.
- МРТ является идеальным методом визуализации для мониторинга антиатеросклеротической терапии.
- Применение магнитно-резонансной томографии и ее клиническая значимость в диагностике атеросклероза продолжает развиваться.

Источник финансирования и конфликт интересов.

Авторы данной статьи подтвердили отсутствие финансовой поддержки исследования и конфликта интересов, о которых необходимо сообщить.

Список литературы:

1. Терновой С.К. Лучевые методы в неотложной медицине. Журнал им. Н.В. Склифосовского Неотложная медицинская помощь. 2017; 6(1): 8 - 12.
2. Lahoza C., Mostaza J. M. Atherosclerosis as a systemic disease. Revista Española de Cardiología. 2007; 60(2): 184-95.
3. Моргунова И. Е. Социальная значимость атеросклероза и роль полиненасыщенных жирных кислот в его лечении. Русский Медицинский Журнал. 2007; 15(20): 1501-1504.
4. Корнева В. А., Долбикова Н. В., Мазуров В. И. Мультифокальный атеросклероз: клинко патогенетические синдромы. Регионарное кровообращение и микроциркуляция. 2006; 5(4): 45-53.
5. Максимова А. С., Бабокин В. Е., Буховец И. Л., Бобрикова Е. Э., Роговская Ю. В., Лукьяненко П. И., Усов В. Ю. Магнитно-резонансная томография с контрастным усилением как метод визуализации атеросклеротического поражения

- стенки аорты. *Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний*. 2014; 3: 103-107.
6. Zarins Ch. K., Xu Ch., Taylor Ch. A., Glagov S., White R. A. ed., Hollier L. H. Hoboken ed. *Localization of atherosclerotic lesions. Vascular Surgery: Basic Science and Clinical Correlations, Second Edition. Wiley, 2007. Ch. 5: 55-65.*
7. Kovacic S., Bakran M. *Genetic Susceptibility to Atherosclerosis. Stroke Research and Treatment*. 2012; 2012: Article ID 362941. DOI:10.1155/2012/362941
8. Аронов Д. М., Лупанов В. П. *Некоторые аспекты патогенеза Атеросклероза. Атеросклероз и дислипидемии*. 2011; 1: 48-56.
9. Бокерия Л. А., Покровский А. В., Сокуренок Г. Ю. *Национальные рекомендации по ведению пациентов с заболеваниями брахиоцефальных артерий. Российский согласительный документ*. Москва, Ангиология инфо, 2013. 72 с.
10. Baliyan V., Verdini D., Meyersohn N. M. *Noninvasive aortic imaging. Cardiovascular Diagnosis and Therapy*. 2018; 8(1): S3-S18. DOI: 10.21037/cdt.2018.02.01 2018
11. Терновой С. К., Шария М. А., Федотенков И. С., Чазов Е.И. ред. *Томографические методы исследования сердца и сосудов В книге: Руководство по кардиологии В 4-х томах*. Москва, Практика, 2014. С. 527-570.
12. Насникова И. Ю., Морозов С. П., Шмырев В. И., Евдокимов А.Г. *Диагностика поражений внутренних сонных артерий в целях хирургической профилактики ишемического инсульта. Диагностическая и интервенционная радиология*. 2011; 5(3): 23-30.
13. Tendera M., Aboyans V., Bartelink M. L., Baumgartner I., Clément D., Collet J.P. et al. *ESC Guidelines on the diagnosis and treatment of peripheral artery diseases. European Heart Journal*. 2011; 32(22): 2851–2906. DOI: 10.1093/eurheartj/ehr211
14. Сергиенко Е. В., Панчовская В. А., Манукова В. Б., Рудас М.С. *ПЭТ в диагностике атеросклеротических бляшек у онкологических больных. Терапевтический архив*. 2010; 4: 45-48.
15. Nahrendorf M., Zhang H., Hembrador S., Panizzi P., Sosnovik D.E., Aikawa E. et al. *Nanoparticle PET-CT imaging of macrophages in inflammatory atherosclerosis. Circulation*. 2008; 117: 379-387.
16. Kietselaer B. L., Reutelingsperger C. P., Heidendal G. A., Daemen M.J., Mess W.H., Hofstra L. et al. *Noninvasive detection of plaque instability with use of radiolabeled annexin A5 in patients with carotid-artery atherosclerosis. New England Journal of Medicine*. 2004; 350(14): 1472-1473.
17. Zhang J., Nie L., Razavian M., Ahmed M., Dobrucki L.W., Asadi A. et al. *Molecular imaging of activated matrix metalloproteinases in vascular remodeling. Circulation*. 2008; 118: 1953-1960.
18. Sadeghi M. M., Krassilnikova S., Zhang J., Gharaei A.A., Fassaei H.R., Esmailzadeh L. et al. *Detection of injury-induced vascular remodeling by targeting activated alpha5beta3 integrin in vivo. Circulation*. 2004; 110: 84-90.
19. Мамедов Ф. Р., Арутюнов Н. В., Усачев Д. Ю., Мельникова-Пицхелаури Т.В., Пяшина Д.В., Фадеева Л.М. и др. *Комплексная нейрорадиологическая диагностика при атеросклеротическом поражении сонных артерий. Вестник рентгенологии и радиологии*. 2011; 1: 4-10.
20. Джанаева Э. Ф., Шеметова Г. Н., Ширишова С. А. *Патогенетические основы и современные подходы к ранней диагностике атеросклероза. Фундаментальные исследования*. 2012; 4-2: 264-269.
21. Сторожаков Г. И., Червякова Ю. Б., Верещина Г. С., Федотова Н.М. *Оценка толщины комплекса интима-медиа при сердечно-сосудистых заболеваниях. Лечебное дело*. 2005; 1: 46-49.
22. Бойцов С. А., Кухарчук В. В., Карнов Ю. А., Сергиенко И. В., Драпкина О. М., Семенова А. Е. и др. *Субклинический атеросклероз как фактор риска сердечно-сосудистых осложнений. Кардиоваскулярная терапия и профилактика*. 2012; 11(3): 82-86.
23. Тимина И. Е., Калинин Д. В., Чехоева О. А., Кармазановский Г.Г. *Ультразвуковое исследование атеросклеротической бляшки в сонных артериях с использованием контрастного препарата (обзор литературы и первый опыт применения). Медицинская визуализация*. 2015; 1: 126-132.
24. Komiyama N., Berry G.J., Kolz M.L., Oshima A., Metz J.A., Preuss P. et al. *Tissue characterization of atherosclerotic plaques by intravascular ultrasound radiofrequency signal analysis: an in vitro study of human coronary arteries. American Heart Journal*. 2000; 140: 565-574.
25. Nair A., Kuban B.D., Tuzcu E.M., Schoenhagen P., Nissen S.E., Vince D.G. *Coronary plaque classification with intravascular ultrasound radiofrequency data analysis. Circulation*. 2002; 106: 2200-2206.
26. Nissen S.E., Yock P. *Intravascular ultrasound: novel pathophysiological insights and current clinical applications. Circulation*. 2001; 103: 604-616.
27. MacNeill B.D., Lowe H.C., Takano M., Fuster V., Jang I.K. *Intravascular modalities for detection of vulnerable plaque: current status. Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology*. 2003; 23: 1333-1342.
28. Anderson J. D., Kramer Ch. M. *MRI of Atherosclerosis: Diagnosis and Monitoring Therapy. Expert Review of Cardiovascular Therapy*. 2007; 5(1): 69-80. DOI: 10.1586/14779072.5.1.69
29. Corti R., Fuster V. *Imaging of atherosclerosis: magnetic resonance imaging. European Heart Journal*. 2011; 32(14): 1709-1719. DOI:10.1093/eurheartj/ehr068
30. Hingwala D., Kesavadas Ch., Sylaja P. N., Thomas B., Kapilamoorthy T. R. *Multimodality imaging of carotid atherosclerotic plaque: going beyond stenosis. Indian Journal of Radiology and Imaging*. 2013; 23(1): 26-34.
31. Latson L.A., DeAnda A., Ko J.P. *Imaging of the postsurgical thoracic aorta: a state-of-the-art review. Journal of Thoracic Imaging*. 2017; 32: 1-25
32. Wheaton A.J., Miyazaki M. *Non-contrast enhanced MR angiography: Physical principles. Journal of Magnetic Resonance Imaging*. 2012; 36: 286-304.
33. Laub GA. *Time-of-flight method of MR angiography. Magnetic Resonance Imaging Clinics of North America*. 1995; 3: 391-8.
34. Тиссен Т.П., Белова Т.В., Климчук О.В., Шеевелев И.Н. *Магнитно-резонансная ангиография в диагностике сосудистой патологии головного и спинного мозга. Нейрохирургия*. 2002; 3: 6-12.
35. Шрайбман Л.А., Тулунов А.А. *Возможности фазово-контрастной Магнитно-резонансной ангиографии в исследовании сосудистой системы. Часть 1. Исследование церебральных артерий. Клиническая физиология кровообращения*. 2014; 1: 5-11.

36. Esposito A., Ravelli S., Papa M., Del Maschio A. *Magnetic Resonance Imaging of the Aorta In: Chiesa R, Melissano G, Zangrillo A Thoraco-Abdominal Aorta – Surgical and anaesthetic management. Springer, Milan, p. 103-114.*
37. Raman S.V., Winner M.W. 3rd, Tran T., Velayutham M., Simonetti O.P., Baker P.B., et al. *In vivo atherosclerotic plaque characterization using magnetic susceptibility distinguishes symptom-producing plaques. JACC Cardiovasc Imaging. 2008; 1: 49–57. DOI: 10.1016/j.jcmg.2007.09.002.*
38. Saam T., Ferguson M.S., Yarnykh V.L., Takaya N., Xu D., Polissar N.L., Hatsukami T.S. et al. *Quantitative evaluation of carotid plaque composition by in vivo MRI. Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology. 2005; 25: 234-239.*
39. Kerwin W.S., O'Brien K.D., Ferguson M.S., Polissar N., Hatsukami T.S., Yuan C. *Inflammation in Carotid Atherosclerotic Plaque is Associated with Elevated Neovasculature and Permeability: A Dynamic Contrast-Enhanced MRI Study. Radiology. 2006; 241: 459-468.*
40. Усов В.Ю., Бобрикова Е.Э., Максимова А.С., Ребенкова М.С., Роговская Ю.В., Белянин М.Л. и др. *Неинвазивная оценка микроваскуляризации каротидных бляшек по данным МРТ сонных артерий с парамагнитным контрастным усилением. Сибирский медицинский журнал (г. Томск). 2016; 31(3): 39-43.*
41. Chu B., Kampschulte A., Ferguson M.S., Kerwin W.S., Yarnykh V.L., O'Brien K.D. et al. *Hemorrhage in the atherosclerotic carotid plaque: a high-resolution MRI study. Stroke. 2004; 35: 1079-1084.*
42. Kramer H., Michaely H.J., Reiser M.F., Schoenberg S.O. *Peripheral magnetic resonance angiography at 3.0 T. Topics in Magnetic Resonance Imaging. 2007; 18: 135-138.*
43. Maroules C.D., McColl R., Khera A., Peshock R.M. *Assessment and reproducibility of aortic atherosclerosis magnetic resonance imaging: impact of 3-Tesla field strength and parallel imaging. Investigative Radiology. 2008; 43: 656-662.*
44. Corti R., Fuster V., Badimon J.J., Hutter R., Fayad Z.A. *New understanding of atherosclerosis (clinically and experimentally) with evolving MRI technology in vivo. Annals of the New York Academy of Sciences. 2001; 947: 181-195.*
45. Yuan C., Mitsumori L.M., Ferguson M.S., Polissar N.L., Eche-lard D., Ortiz G. et al. *In vivo accuracy of multispectral magnetic resonance imaging for identifying lipid-rich necrotic cores and intraplaque hemorrhage in advanced human carotid plaques. Circulation 2001; 104: 2051-2056.*
46. Summers R.M., Andrasko-Bourgeois J., Feuerstein I.M., Hill S.C., Jones E.C., Busse M.K. et al. *Evaluation of the aortic root by MRI: insights from patients with homozygous familial hypercholesterolemia. Circulation. 1998; 98: 509-518.*
47. Jaffer F.A., O'Donnell C.J., Larson M.G., Chan S.K., Kissinger K.V., Kupka M.J. et al. *Age and sex distribution of subclinical aortic atherosclerosis: a magnetic resonance imaging examination of the Framingham Heart Study. Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology. 2002; 22: 849-854.*
48. O'Donnell C.J., Larson M.G., Jaffer F.A., Kissinger K.V., Levy D., Manning W.J. *Aortic atherosclerosis detected by MRI is associated with contemporaneous and longitudinal risk factors: The Framingham Heart Study (FHS). Circulation. 2000; 102: II-836.*
49. Lin W., Abendschein D.R., Haacke E.M. *Contrast-enhanced magnetic resonance angiography of carotid arterial wall in pigs. Journal of Magnetic Resonance Imaging. 1997; 7: 183-190.*
50. Aoki S., Aoki K., Ohsawa S., Nakajima H., Kumagai H., Arai T. *Dynamic MR imaging of the carotid wall. Journal of Magnetic Resonance Imaging. 1999; 9: 420-427.*
51. Hartung M.P., Grist T.M., François C.J. *Magnetic resonance angiography: current status and future directions. Journal of Cardiovascular Magnetic Resonance. 2011; 13:19. DOI: 10.1186/1532-429X-13-19.*
52. Maximova A.S., Babokin V.E., Bukhovets I.L., Bobrikova Y.E., Rogovskaya Y.V., Lukyanenok P.I., Ussov W.Y. *Contrast-enhanced MRI of aortal atherosclerosis syndrome types and prediction of dissection Journal of Cardiovascular Magnetic Resonance. 2015. 17(1): 256.*
53. Choudhury R. P., Fuster V., Badimon J. J., Fisher E.A., Fayad Z.A. *MRI and characterization of atherosclerotic plaque: emerging applications and molecular imaging. Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology. 2002; 22(7): 1065-1074.*
54. Wagner S., Schnorr J., Ludwig A., Stangl V., Ebert M., Hamm B. et al. *Contrast-enhanced MR imaging of atherosclerosis using citrate-coated superparamagnetic iron oxide nanoparticles: calcifying microvesicles as imaging target for plaque characterization. International Journal of Nanomedicine. 2013; 8: 767-779. DOI: 10.2147/IJN.S38702*
55. Wagenknecht L., Wasserman B., Chambless L., Coresh J., Folsom A., Mosley Th. et al. *Correlates of carotid plaque presence and composition as measured by MRI the atherosclerosis risk in communities study. Circulation. 2009; 2(4): 314-322. DOI: 10.1161/CIRCIMAGING.108.823922*
56. Li T., Zhao X., Liu X., Gao J., Zhao S., Li X. et al. *Evaluation of the early enhancement of coronary atherosclerotic plaque by contrast-enhanced MR angiography. European Journal of Radiology. 2011; 80(1): 136-142. DOI: 10.1016/j.ejrad.2010.07.020*
57. Sirol M., Moreno P. R., Purushothaman K.-R., Levy A. P., Fuster V. *Increased neovascularization in advanced lipid-rich atherosclerotic lesions detected by gadofluorine-m-enhanced MRI: implications for plaque vulnerability. Circulation. 2009; 2(5): 391-396.*
58. Jiang X. B., Yuan W. S., Wang J. S., Liu Zh., Liu D.-H., Shi Zh.-S. *Matrix metalloproteinase-9 expression in carotid atherosclerotic plaque and contrast-enhanced MRI in a swine model. Journal of Neurointerventional Surgery. 2014; 6(1): 24-28.*
59. Wasserman B. A., Sharrett A. R., Lai S., Gomes A.S.,ushman M., Folsom A.R. et al. *Risk factor associations with the presence of a lipid core in carotid plaque of asymptomatic individuals using high-resolution MRI: the MultiEthnic Study of Atherosclerosis (MESA). Stroke. 2008; 39(2): 329-335. DOI: 10.1161/STROKEAHA.107.498634.*
60. Cai J., Hatsukami T. S., Ferguson M. S., Kerwin W.S., Saam T., Chu B. et al. *In vivo quantitative measurement of intact fibrous cap and lipid-rich necrotic core size in atherosclerotic carotid plaque comparison of high-resolution, contrast-enhanced magnetic resonance imaging and histology. Circulation. 2005; 112: 3437-44.*
61. Altaf N., Stephen D. G., Beech A., J.R.F. Gladman, P. S. Morgan, Sh. T. MacSweeney et al. *Plaque hemorrhage is a marker of thromboembolic activity in patients with symptomatic carotid disease. Radiology. 2011; 258(2): 538-45.*
62. Altaf N., Beech A., Goode S.D., Gladman J.R., Moody A.R., Auer D.P. et al. *Carotid intraplaque hemorrhage detected by magnetic resonance imaging predicts embolization during carotid endarterectomy. Journal of Vascular Surgery. 2007; 46: 31-*

36.

63. Ota H., Yarnykh V.L., Ferguson M. S., Underhill H.R., Demarco J.K., Zhu D.C. et al. Carotid intraplaque hemorrhage imaging at 3.0-T MR imaging: Comparison of the diagnostic performance of three T1-weighted sequences. *Radiology*. 2010; 254: 551-63. DOI: 10.1148/radiol.09090535.

References:

1. Ternovoj S.K. Radiologic methods in urgent medicine. *N.V.Sklifosovky Journal of Urgent Medicine*. 2017; 6(1): 8 - 12 (in Russian).
2. Lahoza C., Mostaza J. M. Atherosclerosis as a systemic disease. *Revista Española de Cardiología*. 2007; 60(2): 184-95.
3. Morgunova I. E. The social significance of atherosclerosis and the role of polyunsaturated fatty acids in its treatment. *Russian Medical Journal*. 2007; 15(20): 1501-1504. (in Russian).
4. Korneva V. A., Dolbikova N. V., Mazurov V. I. Multifocal atherosclerosis: clinical and pathogenetic syndromes. *Regional blood circulation and microcirculation*. 2006; 5(4): 45-53. (in Russian).
5. Maximova A.S., Babokin V.E., Bukhovets I.L., Bobrikova E.E., Rogovskaya Yu.V., Lukyanenok P.I., Usov W.Yu. Contrast-enhanced MRI imaging of atherosclerotic lesions of the aortic wall. *Complex Problems of Cardiovascular Diseases*. 2014; 3: 103-107. (in Russian).
6. Zarins Ch. K., Xu Ch., Taylor Ch. A., Glagov S., White R. A. ed., Hollier L. H. Hoboken ed. *Localization of atherosclerotic lesions. Vascular Surgery: Basic Science and Clinical Correlations, Second Edition*. Wiley, 2007. Ch. 5: 55- 65.
7. Kovacic S., Bakran M. Genetic Susceptibility to Atherosclerosis. *Stroke Research and Treatment*. 2012; 2012: Article ID 362941. DOI:10.1155/2012/362941
8. Aronov D.M., Lupanov V.P. Atherosclerosis and coronary heart disease: some aspects of pathogenesis. *The Journal of Atherosclerosis and Dyslipidemias*. 2011; 1: 48-56. (in Russian).
9. Bockeria L. A., Pokrovsky A. V., Sokurenko G. Yu. National guidelines for the management of patients with diseases of the brachiocephalic arteries. *Russian agreement paper*. Moscow, *Angiology info*, 2013. 72 c. (in Russian).
10. Baliyan V., Verdini D., Meyersohn N. M. Noninvasive aortic imaging. *Cardiovascular Diagnosis and Therapy*. 2018; 8(1): S3-S18. DOI: 10.21037/cdt.2018.02.01 2018
11. Ternovoy S. K., Sharia M. A., Fedotenkov I. S., Chazov E.I. ed. *Tomographic methods of heart and blood vessels diagnostic* In the book: *A Guide to Cardiology In 4 volumes*. Moscow, *Practice*, 2014. C. 527-570. (in Russian).
12. Nasnikova I. Yu., Morozov S. P., Shmyrev V. I., Evdokimov A.G. Diagnosis of lesions of the internal carotid arteries for the surgical prevention of ischemic stroke. *Diagnostic and Interventional Radiology*. 2011; 5(3): 23-30. (in Russian).
13. Tendera M., Aboyans V., Bartelink M. L., Baumgartner I., Clément D., Collet J.P. et al. ESC Guidelines on the diagnosis and treatment of peripheral artery diseases. *European Heart Journal*. 2011; 32(22): 2851–2906. DOI: 10.1093/eurheartj/ehr211
14. Sergienko E.V., Panchkovskaya V.A., Manukova V.B., Rudas M.S. PET in the diagnosis of atherosclerotic plaques in cancer patients. *Therapeutic archive*. 2010; 4: 45-48. (in Russian).
15. Nahrendorf M., Zhang H., Hembrador S., Panizzi P., Sosnovik D.E., Aikawa E. et al. Nanoparticle PET-CT imaging of macrophages in inflammatory atherosclerosis. *Circulation*. 2008; 117: 379-387.
16. Kietselaer B. L., Reutelingsperger C. P., Heidendal G. A., Daemen M.J., Mess W.H., Hofstra L. et al. Noninvasive detection of plaque instability with use of radiolabeled annexin A5 in patients with carotid-artery atherosclerosis. *New England Journal of Medicine*. 2004; 350(14): 1472-1473.
17. Zhang J., Nie L., Razavian M., Ahmed M., Dobrucki L.W., Asadi A. et al. Molecular imaging of activated matrix metalloproteinases in vascular remodeling. *Circulation*. 2008; 118: 1953-1960.
18. Sadeghi M. M., Krassilnikova S., Zhang J., Gharraei A.A., Fassaei H.R., Esmailzadeh L. et al. Detection of injury-induced vascular remodeling by targeting activated alpha5beta3 integrin in vivo. *Circulation*. 2004; 110: 84-90.
19. Mamedov F. R., Arutyunov N. V., Usachev D. Yu., Melnikova-Pitshkelauri T.V., Pyashina D.V., Fadeeva L.M. et al. Complex neuroradiological diagnosis in case of atherosclerotic lesion of the carotid arteries. *Journal of radiology and nuclear medicine*. 2011; 1: 4-10. (in Russian).
20. Dzhanaeva E. F., Shemetova G. N., Shirshova S. A. Pathogenetic foundations and modern approaches to the early diagnosis of atherosclerosis. *Basic research*. 2012; 4-2: 264-269. (in Russian).
21. Storozhakov G.I., Chervyakova Yu. B., Vereshchagina G.S., Fedotova N.M. Evaluation of the thickness of the intima-media complex for cardiovascular diseases. *The Journal of General Medicine*. 2005; 1: 46-49. (in Russian).
22. Boitsov S. A., Kukharchuk V. V., Karpov Yu. A., Sergienko I. V., Drapkina O. M., Semenova A. E., et al. Subclinical atherosclerosis as a risk factor for cardiovascular complications. *Cardiovascular Therapy and Prevention*. 2012; 11(3): 82-86. (in Russian).
23. Timina I.E., Kalinin D.V., Chekhoyeva O.A., Karmazanovsky G.G. Contrast-Enhanced Ultrasound Imaging Atherosclerotic Plaque in Carotid Arteries (Literature Review and First Experience). *Medical Visualization*. 2015; 1: 126-132. (in Russian).
24. Komiyama N., Berry G.J., Kolz M.L., Oshima A., Metz J.A., Preuss P. et al. Tissue characterization of atherosclerotic plaques by intravascular ultrasound radiofrequency signal analysis: an in vitro study of human coronary arteries. *American Heart Journal*. 2000; 140: 565-574.
25. Nair A., Kuban B.D., Tuzcu E.M., Schoenhagen P., Nissen S.E., Vince D.G. Coronary plaque classification with intravascular ultrasound radiofrequency data analysis. *Circulation*. 2002; 106:2200-2206.
26. Nissen S.E., Yock P. Intravascular ultrasound: novel pathophysiological insights and current clinical applications. *Circulation*. 2001; 103: 604-616.
27. MacNeill B.D., Lowe H.C., Takano M., Fuster V., Jang I.K. Intravascular modalities for detection of vulnerable plaque: current status. *Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology*. 2003; 23: 1333-1342.

28. Anderson J. D., Kramer Ch. M. MRI of Atherosclerosis: Diagnosis and Monitoring Therapy. *Expert Review of Cardiovascular Therapy*. 2007; 5(1): 69-80. DOI: 10.1586/14779072.5.1.69
29. Corti R., Fuster V. Imaging of atherosclerosis: magnetic resonance imaging. *European Heart Journal*. 2011; 32(14): 1709-1719. DOI:10.1093/eurheartj/ehr068
30. Hingwala D., Kesavadas Ch., Sylaja P. N., Thomas B., Kapilamoorthy T. R. Multimodality imaging of carotid atherosclerotic plaque: going beyond stenosis. *Indian Journal of Radiology and Imaging*. 2013; 23(1): 26-34.
31. Latson L.A., DeAnda A., Ko J.P. Imaging of the postsurgical thoracic aorta: a state-of-the-art review. *Journal of Thoracic Imaging*. 2017; 32: 1-25
32. Wheaton A.J., Miyazaki M. Non-contrast enhanced MR angiography: Physical principles. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*. 2012; 36: 286-304.
33. Laub GA. Time-of-flight method of MR angiography. *Magnetic Resonance Imaging Clinics of North America*. 1995; 3: 391-8.
34. Tissen T.P., Belova T.V., Klimchuk O.V., Shevelev I.N. Magnetic resonance angiography in the diagnosis of cerebral and spinal vascular pathology. *Neurosurgery*. 2002; 3: 6-12. (in Russian).
35. Shraybman L. A., Tulupov A. A. Abilities of phase-contrast magnetic resonance angiography in research of vascular system. Part 1. Cerebral arteries examination. *Clinical physiology of circulation*. 2014; 1: 5-11. (in Russian).
36. Esposito A., Ravelli S., Papa M., Del Maschio A. Magnetic Resonance Imaging of the Aorta In: Chiesa R, Melissano G, Zangrillo A Thoraco-Abdominal Aorta – Surgical and anaesthetic management. Springer, Milan, p. 103-114.
37. Raman S.V., Winner M.W. 3rd, Tran T., Velayutham M., Simonetti O.P., Baker P.B., et al. In vivo atherosclerotic plaque characterization using magnetic susceptibility distinguishes symptom-producing plaques. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2008; 1: 49–57. DOI: 10.1016/j.jcmg.2007.09.002.
38. Saam T., Ferguson M.S., Yarnykh V.L., Takaya N., Xu D., Polissar N.L., Hatsukami T.S. et al. Quantitative evaluation of carotid plaque composition by in vivo MRI. *Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology*. 2005; 25: 234-239.
39. Kerwin W.S., O'Brien K.D., Ferguson M.S., Polissar N., Hatsukami T.S., Yuan C. Inflammation in Carotid Atherosclerotic Plaque is Associated with Elevated Neovasculature and Permeability: A Dynamic Contrast-Enhanced MRI Study. *Radiology*. 2006; 241: 459-468.
40. Ussov W.Yu., Bobrikova E.E., Maksimova A.S., Rebenkova M.S., Rogovskaya Yu.V., Belyanin M.L. et al. Noninvasive quantification of microvascular density in carotid atherosclerotic plaques using MRI with paramagnetic contrast enhancement. *Siberian Medical Journal (Tomsk)*. 2016; 31(3): 39-43. (in Russian).
41. Chu B., Kampschulte A., Ferguson M.S., Kerwin W.S., Yarnykh V.L., O'Brien K.D. et al. Hemorrhage in the atherosclerotic carotid plaque: a high-resolution MRI study. *Stroke*. 2004; 35: 1079-1084.
42. Kramer H., Michaely H.J., Reiser M.F., Schoenberg S.O. Peripheral magnetic resonance angiography at 3.0 T. *Topics in Magnetic Resonance Imaging*. 2007; 18: 135-138.
43. Maroules C.D., McColl R., Khera A., Peshock R.M. Assessment and reproducibility of aortic atherosclerosis magnetic resonance imaging: impact of 3-Tesla field strength and parallel imaging. *Investigative Radiology*. 2008; 43: 656-662.
44. Corti R., Fuster V., Badimon J.J., Hutter R., Fayad Z.A. New understanding of atherosclerosis (clinically and experimentally) with evolving MRI technology in vivo. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 2001; 947: 181-195.
45. Yuan C., Mitsumori L.M., Ferguson M.S., Polissar N.L., Echeleard D., Ortiz G. et al. In vivo accuracy of multispectral magnetic resonance imaging for identifying lipid-rich necrotic cores and intraplaque hemorrhage in advanced human carotid plaques. *Circulation* 2001; 104: 2051-2056.
46. Summers R.M., Andrasko-Bourgeois J., Feuerstein I.M., Hill S.C., Jones E.C., Busse M.K. et al. Evaluation of the aortic root by MRI: insights from patients with homozygous familial hypercholesterolemia. *Circulation*. 1998; 98: 509-518.
47. Jaffer F.A., O'Donnell C.J., Larson M.G., Chan S.K., Kissinger K.V., Kupka M.J. et al. Age and sex distribution of subclinical aortic atherosclerosis: a magnetic resonance imaging examination of the Framingham Heart Study. *Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology*. 2002; 22: 849-854.
48. O'Donnell C.J., Larson M.G., Jaffer F.A., Kissinger K.V., Levy D., Manning W.J. Aortic atherosclerosis detected by MRI is associated with contemporaneous and longitudinal risk factors: The Framingham Heart Study (FHS). *Circulation*. 2000; 102: II-836.
49. Lin W., Abendschein D.R., Haacke E.M. Contrast-enhanced magnetic resonance angiography of carotid arterial wall in pigs. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*. 1997; 7: 183-190.
50. Aoki S., Aoki K., Ohsawa S., Nakajima H., Kumagai H., Arai T. Dynamic MR imaging of the carotid wall. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*. 1999; 9: 420-427.
51. Hartung M.P., Grist T.M., François C.J. Magnetic resonance angiography: current status and future directions. *Journal of Cardiovascular Magnetic Resonance*. 2011; 13:19. DOI: 10.1186/1532-429X-13-19.
52. Maximova A.S., Babokin V.E., Bukhovets I.L., Bobrikova Y.E., Rogovskaya Y.V., Lukyanenok P.I., Ussov W.Y. Contrast-enhanced MRI of aortal atherosclerosis syndrome types and prediction of dissection *Journal of Cardiovascular Magnetic Resonance*. 2015. 17(1): 256.
53. Choudhury R. P., Fuster V., Badimon J. J., Fisher E.A., Fayad Z.A. MRI and characterization of atherosclerotic plaque: emerging applications and molecular imaging. *Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology*. 2002; 22(7): 1065-1074.
54. Wagner S., Schnorr J., Ludwig A., Stangl V., Ebert M., Hamm B. et al. Contrast-enhanced MR imaging of atherosclerosis using citrate-coated superparamagnetic iron oxide nanoparticles: calcifying microvesicles as imaging target for plaque characterization. *International Journal of Nanomedicine*. 2013; 8: 767-779. DOI: 10.2147/IJN.S38702
55. Wagenknecht L., Wasserman B., Chambless L., Coresh J., Folsom A., Mosley Th. et al. Correlates of carotid plaque presence and composition as measured by MRI the atherosclerosis risk in communities study. *Circulation*. 2009; 2(4): 314-322. DOI: 10.1161/CIRCIMAGING.108.823922
56. Li T., Zhao X., Liu X., Gao J., Zhao S., Li X. et al. Evaluation of the early enhancement of coronary atherosclerotic plaque by contrast-enhanced MR angiography. *European Journal of Radiology*. 2011; 80(1): 136-142. DOI: 10.1016/j.ejrad.2010.07.020
57. Sirol M., Moreno P. R., Purushothaman K.-R., Levy A. P., Fuster V. Increased neovascularization in advanced lipid-rich atherosclerotic lesions detected by gadofluorine-m-enhanced

- MRI: implications for plaque vulnerability. *Circulation*. 2009; 2(5): 391-396.
58. Jiang X. B., Yuan W. S., Wang J. S., Liu Zh., Liu D.-H., Shi Zh.-S. Matrix metalloproteinase-9 expression in carotid atherosclerotic plaque and contrast-enhanced MRI in a swine model. *Journal of Neurointerventional Surgery*. 2014; 6(1): 24-28.
59. Wasserman B. A., Sharrett A. R., Lai S., Gomes A.S., Cushman M., Folsom A.R. et al. Risk factor associations with the presence of a lipid core in carotid plaque of asymptomatic individuals using high-resolution MRI: the MultiEthnic Study of Atherosclerosis (MESA). *Stroke*. 2008; 39(2): 329-335. DOI: 10.1161/STROKEAHA.107.498634.
60. Cai J., Hatsukami T. S., Ferguson M. S., Kerwin W.S., Saam T., Chu B. et al. In vivo quantitative measurement of intact fibrous cap and lipid-rich necrotic core size in atherosclerotic carotid plaque comparison of high-resolution, contrast-enhanced magnetic resonance imaging and histology. *Circulation*. 2005; 112: 3437-44.
61. Altaf N., Stephen D. G., Beech A., J.R.F. Gladman, P. S. Morgan, Sh. T. MacSweeney et al. Plaque hemorrhage is a marker of thromboembolic activity in patients with symptomatic carotid disease. *Radiology*. 2011; 258(2): 538-45.
62. Altaf N., Beech A., Goode S.D., Gladman J.R., Moody A.R., Auer D.P. et al. Carotid intraplaque hemorrhage detected by magnetic resonance imaging predicts embolization during carotid endarterectomy. *Journal of Vascular Surgery*. 2007; 46: 31-36.
63. Ota H., Yarnykh V.L., Ferguson M. S., Underhill H.R., Demarco J.K., Zhu D.C. et al. Carotid intraplaque hemorrhage imaging at 3.0-T MR imaging: Comparison of the diagnostic performance of three T1-weighted sequences. *Radiology*. 2010; 254: 551-63. DOI: 10.1148/radiol.09090535.
64. Kapschulte A., Ferguson M.S., Kerwin W.S., Polissar N.L., Chu B., Saam T. et al. Differentiation of intraplaque versus juxtaluminal hemorrhage/thrombus in advanced human carotid atherosclerotic lesions by in vivo magnetic resonance imaging. *Circulation*. 2004; 110: 3239-44.