

# Возможности бесконтрастной магнитно-резонансной ангиографии в выборе кандидатов для радиочастотной денервации почечных артерий

В. А. Григин, О. В. Стукалова, А. С. Коробкин, Е. Ю. Стразден, Н. М. Данилов, Ю. Г. Матчин, И. Е. Чазова

ФГБУ «Российский кардиологический научно-производственный комплекс» МЗ РФ, Москва

## Абстракт

**Цель.** Оценить возможность использования бесконтрастной магнитно-резонансной ангиографии (МРА) на этапе отбора кандидатов для выполнения процедуры катетерной радиочастотной денервации (РДН) почечных артерий (ПА).

**Материалы и методы.** В исследование было включено 23 пациента с рефрактерной артериальной гипертензией в возрасте от 31 до 75 лет. Всем кандидатам перед денервацией проводилось дуплексное сканирование почечных артерий (УЗДГ), бесконтрастная МРА, а также брюшная аортография с селективной ангиографией. Магнитно-резонансное исследование проводилось сверхпроводящим МР-томографом Initial Achieva фирмы Philips (Нидерланды) с напряженностью магнитного поля 3 Тл, с системой ТХ. Исследование выполнялось с синхронизацией с ЭКГ и дыханием. Проводилась оценка следующих параметров:

- наличие дополнительных ПА;
- диаметр основных и дополнительных (при наличии) ПА;
- длина ствола ПА (от устья до бифуркации);
- наличие гемодинамически значимых стенозов ПА.

**Результаты.** По результатам МРТ 6 кандидатов (28,5%) были исключены из исследования в связи с диагностированными значимыми стенозами ПА (2 случая) и недостаточным диаметром дополнительных ПА (4 случая). У 15 пациентов (71,4%) анатомия почечных артерий позволила в дальнейшем выполнить процедуру денервации. У 2 пациентов (9,5%) с выраженным абдоминальным ожирением качество полученных МР-изображений не позволяло достоверно оценить анатомию почечных артерий. Во всех случаях результаты МРА, в том числе длина и диаметр почечных артерий, были сопоставимы с данными, полученными при последующей ангиографии, и между ними установлена значимая корреляция.

**Выводы.** Бесконтрастная МРА может применяться в комплексном обследовании пациентов с рефрактерной артериальной гипертензией перед выполнением радиочастотной денервации почечных артерий.

**Ключевые слова:** рефрактерная артериальная гипертензия, радиочастотная денервация почечных артерий, почечная ангиография, бесконтрастная магнитно-резонансная томография (МРТ).

## Features non-enhanced magnetic resonance imaging in the selection of candidates for radiofrequency denervation of the renal arteries

V. A. Grigin, O. V. Stukalova, A. S. Korobkin, E. Yu. Strazden, N. M. Danilov, Y. G. Matchin, I. E. Chazova  
Russian Cardiology Research Complex, Moscow, Russia

## Abstract

**Aim.** To assess the diagnostic ability of a non-contrast MR-angiography (MRA) of renal arteries (RA) during selection of patients for percutaneous denervation of renal arteries.

**Methods and Materials.** The study included 23 patients with refractory hypertension aged 31 to 75 years. All candidates to the denervation was performed duplex scanning of the renal arteries (Doppler ultrasound), non-enhanced MRA and abdominal aortography selective angiography. Magnetic resonance imaging (MRI) was performed superconducting MRI "Initial Achieva" company Philips (Netherlands) with a magnetic field of 3 Tesla, the system

*TX. The study was performed with synchronized ECG and respiration. The estimation of the following parameters:*

- availability of additional renal arteries;
- renal arteries diameter;
- length of the renal artery (from the mouth to the bifurcation);
- presence of significant stenosis of the renal arteries.

**Results.** *Contraindications to denervation were identified in 6 cases (28.5%): 2 patients had significant stenosis of the renal arteries and 4 patients had double blood supply to the kidneys with the small diameter in the additional arteries. Denervation was performed in 15 cases (71,4%), including 3 patients with hemodynamically nonsignificant stenosis. In 2 patients (9.5%) with severe abdominal obesity quality of the MR images did not allow to reliably determine the anatomy of the renal arteries. In all cases the results of MRA were confirmed during interventional aortography. A significant correlation of the results of MRA and aortography in determining the renal arteries size and presence of stenosis was found.*

**Conclusion.** *The non-contrast MRA can be applied during complex examination of patients with resistant hypertension before renal arteries denervation procedure.*

**Keywords:** *resistant hypertension, radiofrequency renal denervation, renal angiography, non-enhanced magnetic resonance imaging (MRI).*

Поиск новых подходов к лечению рефрактерной артериальной гипертензии (РАГ) остается по-прежнему актуальным, так как, несмотря на широкий выбор высокоэффективных гипотензивных препаратов и их комбинаций, в некоторых случаях достичь целевых уровней артериального давления (АД) не удается [1]. Это приводит к значительному росту сердечно-сосудистых осложнений у больных с данным заболеванием. Появление радиочастотной катетерной денервации почечных артерий (РДН ПА) – нового инвазивного метода лечения РАГ – позволяет эффективно воздействовать на патогенетические механизмы развития заболевания, что в совокупности с принимаемой гипотензивной терапией приводит к снижению АД [2]. Исследования, посвященные оценке эффективности РДН ПА, показали важность тщательного отбора пациентов для достижения эффекта процедуры. Необходимым условием успешного выполнения РДН артерий является оценка перед вмешательством анатомии ПА для выявления возможных аномалий, гемодинамически значимых стенозов, вариантов строения, препятствующих процедуре, а также оценки состояния почек. Для этого в клинической практике используются различные методы лучевой диагностики, такие как УЗИ, компьютерная томография с контрастированием (КТ) и бесконтрастная и контрастная магнитно-резонансная томография (МРТ). Золотым стандартом диагностики патологии почечных артерий остается рентгенконтрастная ангиография. МРТ – современный метод визуализации почек и ПА, успешно применяющийся для диагностики различных патологических состояний [3], важным достоинством которого являются отсутствие лучевой нагрузки, высокие диагностические возможности, небольшое количество противопоказаний [4]. Для визуализации ПА может применяться как бесконтрастная магнитно-резонансная ангиография (МРА), так и МРА с введением специальных гадолиний-содержащих контрастных пре-

паратов. Возможность получения изображений без использования контрастирования делает этот метод особенно привлекательным для применения в обследовании больных с артериальной гипертензией (АГ), так как при этой патологии часто отмечается снижение функции почек.

Целью настоящей работы было оценить возможность применения бесконтрастной МРА для оценки ПА на этапе отбора кандидатов для выполнения РДН и планирования процедуры у больных с рефрактерной АГ.

## Материалы и методы

В исследование было включено 23 пациента (16 (70 %) – женщины) с рефрактерным течением АГ, которые были направлены в ФГБУ «РКНПК» для решения вопроса о необходимости проведения РДН ПА. Возраст больных составлял от 31 до 75 лет (средний возраст  $58 \pm 20$  лет), средние показатели систолического АД при офисном измерении  $176 \pm 17$  мм рт. ст., диастолического АД  $104 \pm 8$  мм рт. ст., средняя продолжительность заболевания  $7 \pm 3$  года.

Все пациенты были обследованы по поводу АГ в соответствии с рекомендациями Российского медицинского общества по артериальной гипертензии и Всероссийского научного общества кардиологов [5]. Для исключения вторичного генеза АГ кандидатам на денервацию проводился ряд исследований: КТ надпочечников, определение уровня катехоламинов крови и мочи, ренина и альдостерона (покой, нагрузка); определение уровня гормонов щитовидной железы. Кроме того, всем пациентам выполнялась пульсоксиметрия для исключения синдрома обструктивного апноэ сна как одного из наиболее распространенных факторов развития РАГ. Ультразвуковое исследование почек, а также дуплексное сканирование почечных артерий с определением параметров кровотока выполнялось на догоспиталь-

ном этапе. Для оценки анатомии почечных артерий, исключения вторичного генеза заболевания, а также определения технической возможности выполнения РДН, всем больным проводили МРТ и МРА ПА, которая выполнялась непосредственно перед процедурой РДН.

В исследование не включались больные с наличием противопоказаний для проведения МРТ (см. прил. 1), а также больные с весом > 140 кг.

## Приложение 1

### Абсолютные противопоказания:

- искусственные водители ритма;
- имплантированные дефибрилляторы-кардиовертеры;
- металлические скрепки, скобки и другие металлические детали на сосудах головного мозга;
- металлические структуры в глазницах.

### Относительные противопоказания:

- клаустрофобия;
- эпилепсия, шизофрения (неадекватное поведение больного);
- беременность;
- крайне тяжелое состояние больного;
- невозможность для пациента сохранять неподвижность во время обследования, длительно задерживать дыхание;
- масса тела больного больше 150 кг;

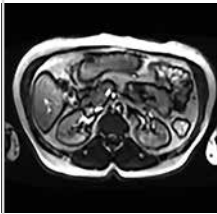
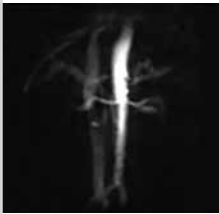
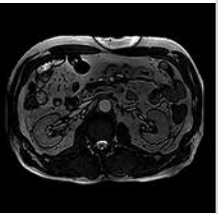

– наличие различных имплантированных устройств (лекарственные помпы, магнитные протезы внутреннего уха, миостимуляторы и др.).

Магнитно-резонансное исследование проводилось сверхпроводящем МР-томографе Initial Achieva фирмы Philips (Нидерланды) с напряженностью магнитного поля 3 Тл, с системой ТХ. Во всех случаях МРТ выполнялась перед рентгеновским ангиографическим исследованием. При МР-исследовании использовали 32-канальную поверхностную катушку, состоящую из двух элементов (верхнего и нижнего). Исследование выполнялось с синхронизацией с ЭКГ и дыханием.

Первоначально получали томограммы области интереса на задержке дыхания (для последующего позиционирования срезов) в трех плоскостях (фронтальная, сагиттальная и поперечная) и томограммы крупных сосудов и сосудов почек во фронтальной плоскости. Для визуализации почек выполняли быстрые градиентные последовательности ВТФЕ (Balanced Turbo Field Echo). Для выполнения неинвазивной МР-ангиографии в нашей работе использовалась последовательность В-TRANCE (Balanced-SSFP (Steady-State Free Precession) – Triggered Angiography Non-CE) с синхронизацией с дыханием. Характеристики перечисленных импульсных последовательностей представлены в табл. 1.

После получения данных при помощи программного обеспечения рабочей станции про-

**Таблица 1.** Характеристики импульсных последовательностей МР-исследования почечных артерий

Основные параметры Методика	Survey (для почек)	Survey (для сосудов)	ВТФЕ	В-TRANCE
Проекция	Аксиальная Фронтальная Сагиттальная	Фронтальная	Фронтальная, аксиальная	Аксиальная
Поле обзора, (FOV) мм	450	530	340–350	300
TE (мс)	1,5	4,8	1,3	3,1
TR (мс)	3,5	17	2,6	6,4
Число усреднений сигнала (NSA)	1	2	1	1
Угол наклона вектора намагниченности (градусы)	20	18	45	110
Матрица	128/256	151/320	256/ 256–260/288	250/560
Толщина среза (мм)	20	50	5	2
Количество срезов	11	1	13–16	85
Время	18 сек.	1 ми. 04 сек.	16 сек.	7 мин. 22 сек.
				

изготовителя проводились анализ и обработка полученных данных с получением реконструированных 3D изображений (MIP – Maximum Intensity Projection) почечных артерий. Все МР-изображения оценивались двумя врачами-рентгенологами независимо друг от друга:

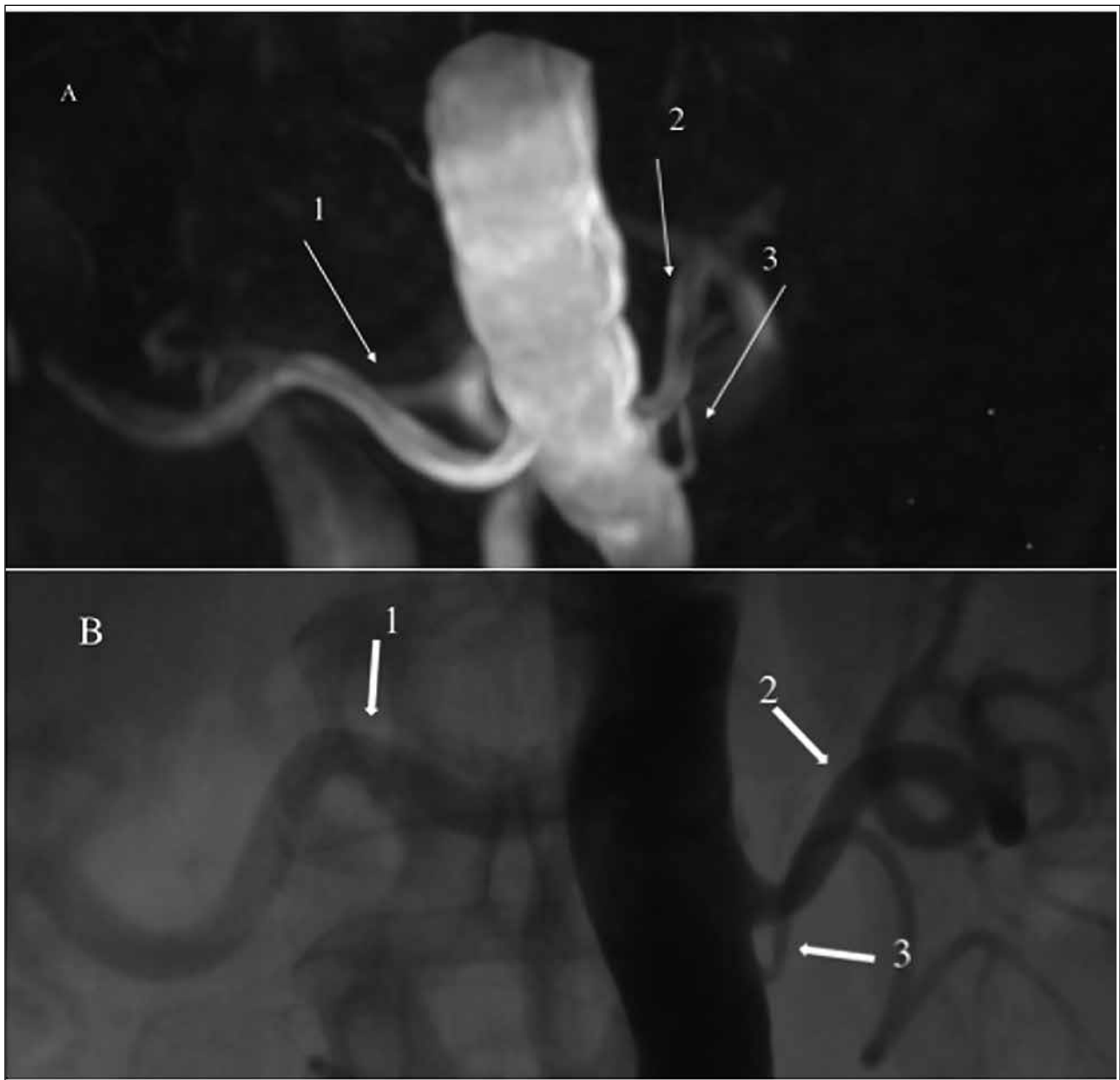
- диаметр основных и дополнительных (при наличии) почечных артерий;
- длина ствола почечных артерий (от устья до бифуркации);
- наличие гемодинамически значимых стенозов почечных артерий.

Стенозы ПА расценивались как гемодинамически значимые при наличии сужения не менее 50%. Степень сужения определялась по соотношению диаметра ПА в месте максимального

сужения к диаметру выше сужения, выраженному в процентах.

Ангиография почечных артерий выполнялась в условиях стандартной рентгеноперационной с использованием оборудования Philips. Под местной анестезией лидокаином или маркакаином пункционным методом с использованием правого феморального доступа до устьев почечных артерий направлялся многоцелевой диагностический катетер. После чего через катетер вводилось йодсодержащее рентгеноконтрастное неионное вещество (йогексол или йопромид) и в нескольких проекциях поочередно проводилась селективная ангиография. Если по данным МРТ диагностировалось множественное кровоснабжение почек, дополнительно выполнялась брюшная аортография.

**Рис. 1.** Магнитно-резонансная ангиография двойного кровоснабжения левой почки



Примечание: 3 мерная реконструкция (А) и обзорная брюшная аортография (В). 1 – правая почечная артерия, 2 – левая основная почечная артерия, 3 – левая добавочная почечная артерия.

Критериями технической возможности выполнения РДН считали:

- диаметр основных почечных артерий не менее 4 мм;
- диаметр добавочных артерий не менее 3 мм;
- длина артерий не менее 20 мм;
- отсутствие гемодинамически значимого стеноза и фибромышечной дисплазии почечных артерий.

Статистическая обработка результатов проводилась при помощи лицензионных компьютерных программ Microsoft Excel 2010 и SPSS Statistic 20.

## Результаты

МРА была выполнена всем включенным в исследование больным, переносимость исследования во всех случаях была удовлетворительной. В 2 случаях (9,5 %) качество полученных МР-изображений не позволяло достоверно оценить анатомию почечных артерий в связи с выраженным абдоминальным ожирением, позднее кандидатам была выполнена ангиография. Всего при анализе МР-изображений 21 пациента было проанализировано 49 почечных артерий, из которых 42 основные и 7 добавочных.

По результатам МРА противопоказания к выполнению РДН были выявлены у 6 обследованных (28,5 %). У 4-х пациентов (19 %) было диагностировано двойное кровоснабжение почки с недостаточным (менее 3 мм) для выполнения

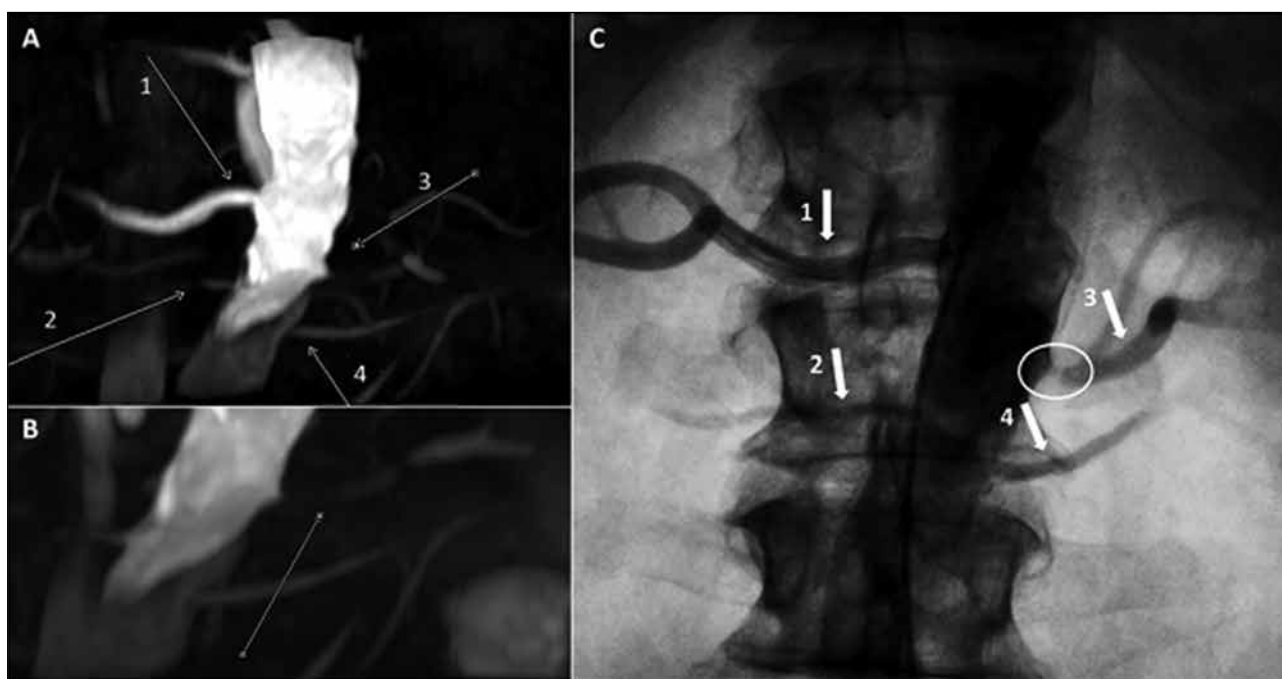
процедуры РДН диаметром добавочной почечной артерии (рис. 1). В 2 случаях (9,5 %) при МРА был диагностирован гемодинамически значимый стеноз устья почечных артерий (рис. 2), потребовавший в дальнейшем проведения баллонной ангиопластики со стентированием пораженных сосудов.

У 15 пациентов (71,4 %) анатомия почечных артерий позволила в дальнейшем выполнить процедуру РДН, при этом у 3 пациентов имелось по одной дополнительной почечной артерии достаточного диаметра (>3 мм) (рис. 3).

У 3 больных были диагностированы гемодинамически незначимые стенозы почечных артерий (рис. 4 и 5).

При анализе полученных анатомических параметров ПА по данным МРА и рентгеновской ангиографии установлена значимая корреляция (рис. 6 и 7). Средний диаметр правой и левой почечных артерий, измеренный в средней трети сосудов, по данным рентгеновской ангиографии и МРА составил  $6,1 \pm 1,8$  мм,  $6,4 \pm 1,5$  мм и  $5,6 \pm 2,1$  мм,  $6 \pm 1,7$  мм соответственно. Средняя длина правой и левой почечных артерий, измеряемая от устья до бифуркации сосудов, при ангиографии составила  $45,3 \pm 20,4$  мм и  $40,1 \pm 18,7$  мм, при МРТ –  $47 \pm 17,2$  мм и  $42,5 \pm 17$  мм соответственно (табл. 2).

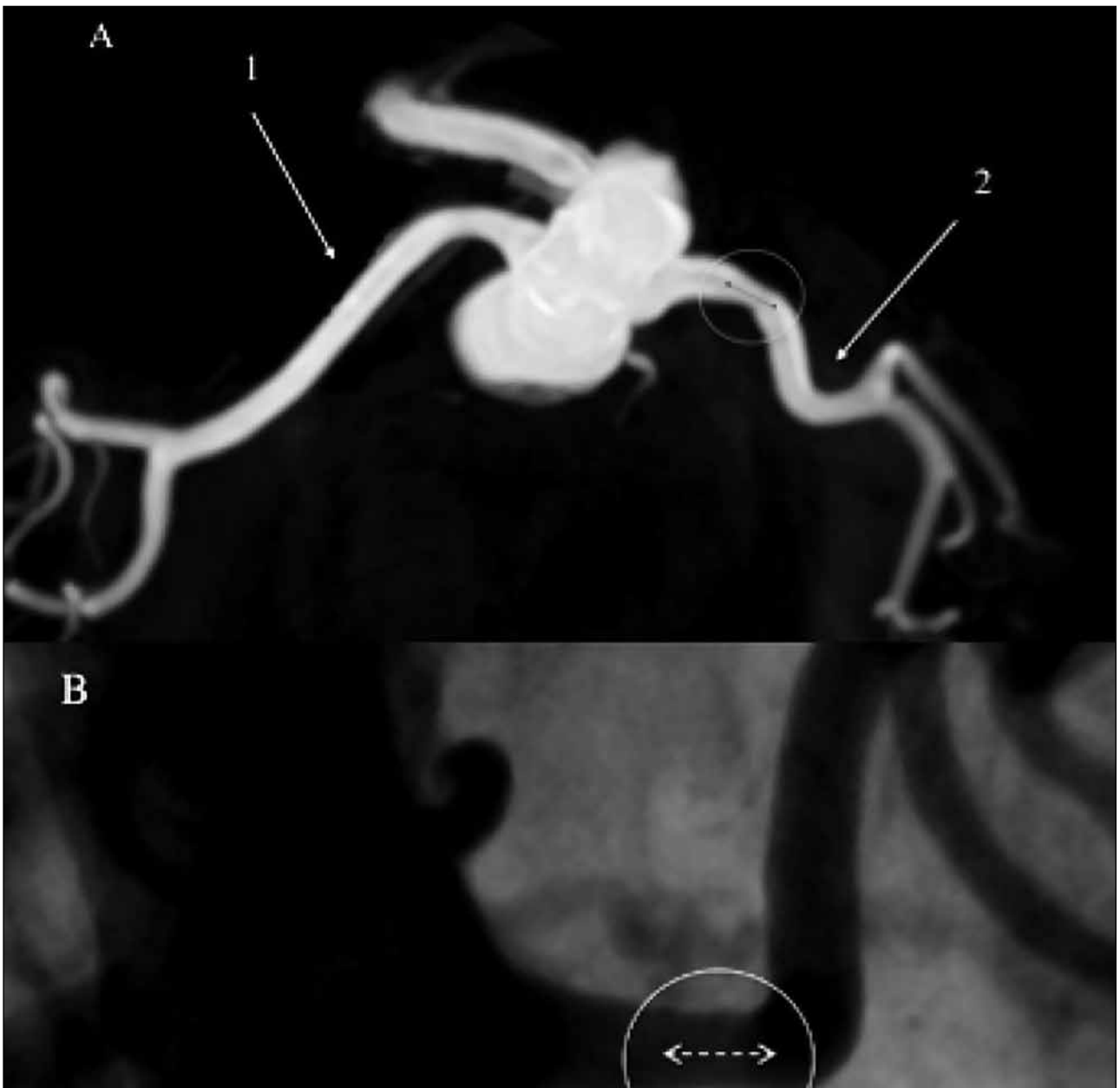
**Рис. 2.** Магнитно-резонансная ангиография множественного кровоснабжения почек и гемодинамически значимого стеноза устья левой основной почечной артерии



Примечание: 3 мерная реконструкция во фронтальной (А) и сагиттальной (В) проекциях и обзорная брюшная аортография (С). 1 – правая основная почечная артерия, 2 – правая добавочная почечная артерия, 3 – левая основная почечная артерия, 4 – левая добавочная почечная артерия.

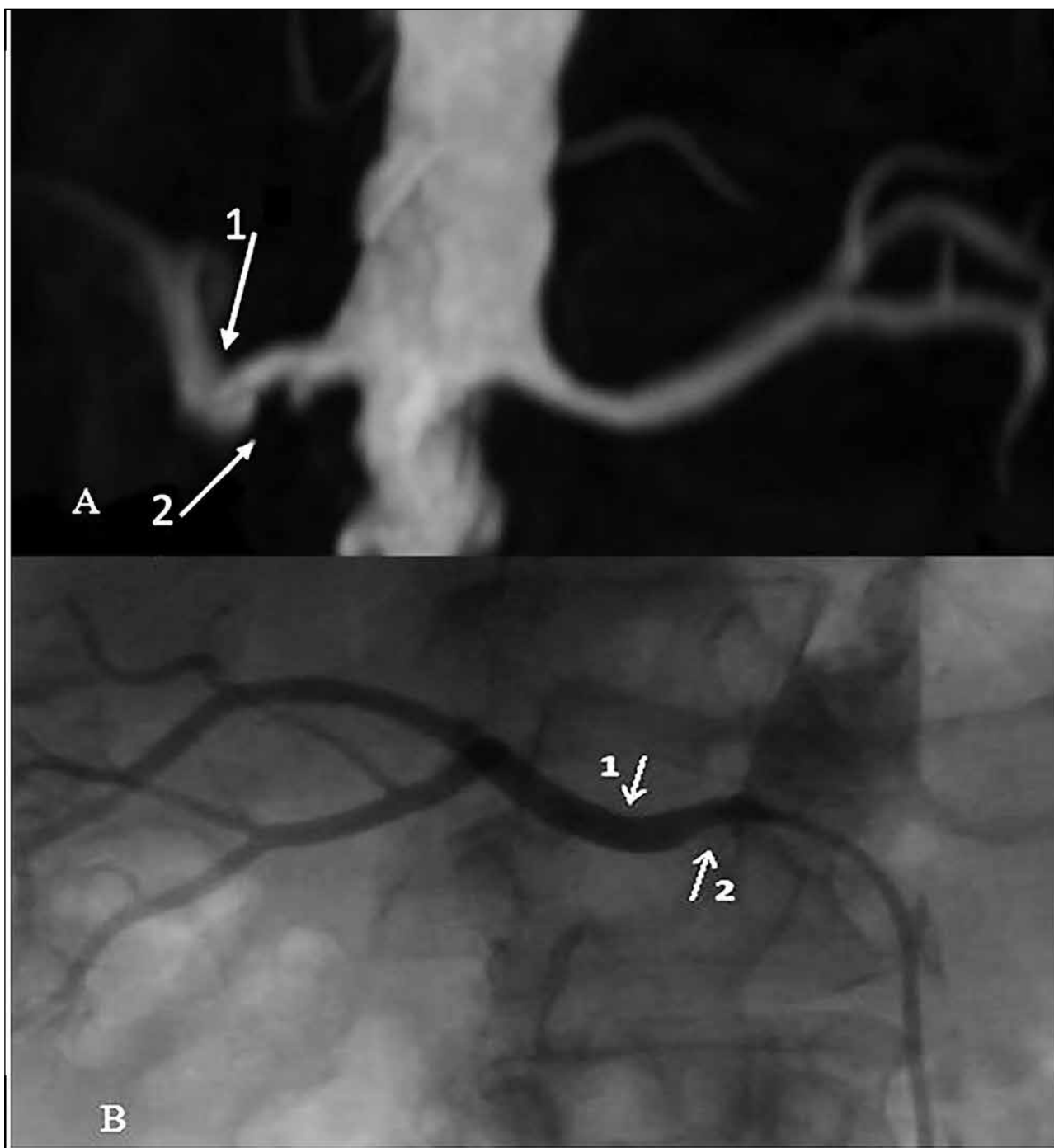
**Рис. 3.** Магнитно-резонансная ангиография дополнительной почечной артерии

Примечание: 3 мерная реконструкция (А) и обзорная брюшная аортография (В) при двойном кровоснабжении левой почки. 1 – правая почечная артерия; 2 – левая основная почечная артерия; 3 – левая добавочная почечная артерия.

**Рис. 4.** Магнитно-резонансная ангиография незначимого стеноза (отмечен кругом) левой почечной артерии

Примечание: 3 мерная реконструкция почечных артерий в аксиальной проекции (А) и почечная ангиография (В). 1 – правая почечная артерия; 2 – левая почечная артерия.

**Рис. 5.** Магнитно-резонансная ангиография незначимого стеноза проксимального сегмента правой почечной артерии

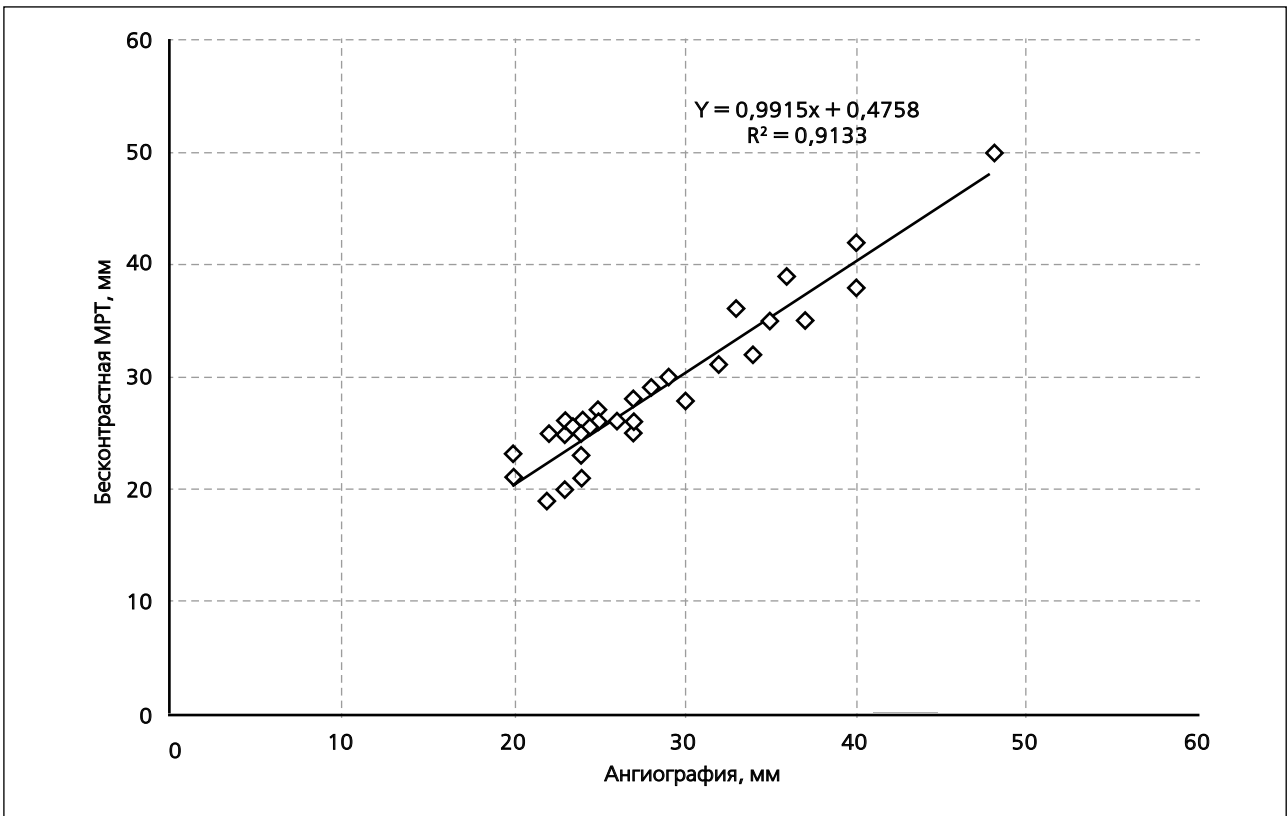


Примечание: 3-х мерная реконструкция (А) и почечная ангиография (В). 1 - атерома; 2 - правая почечная артерия.

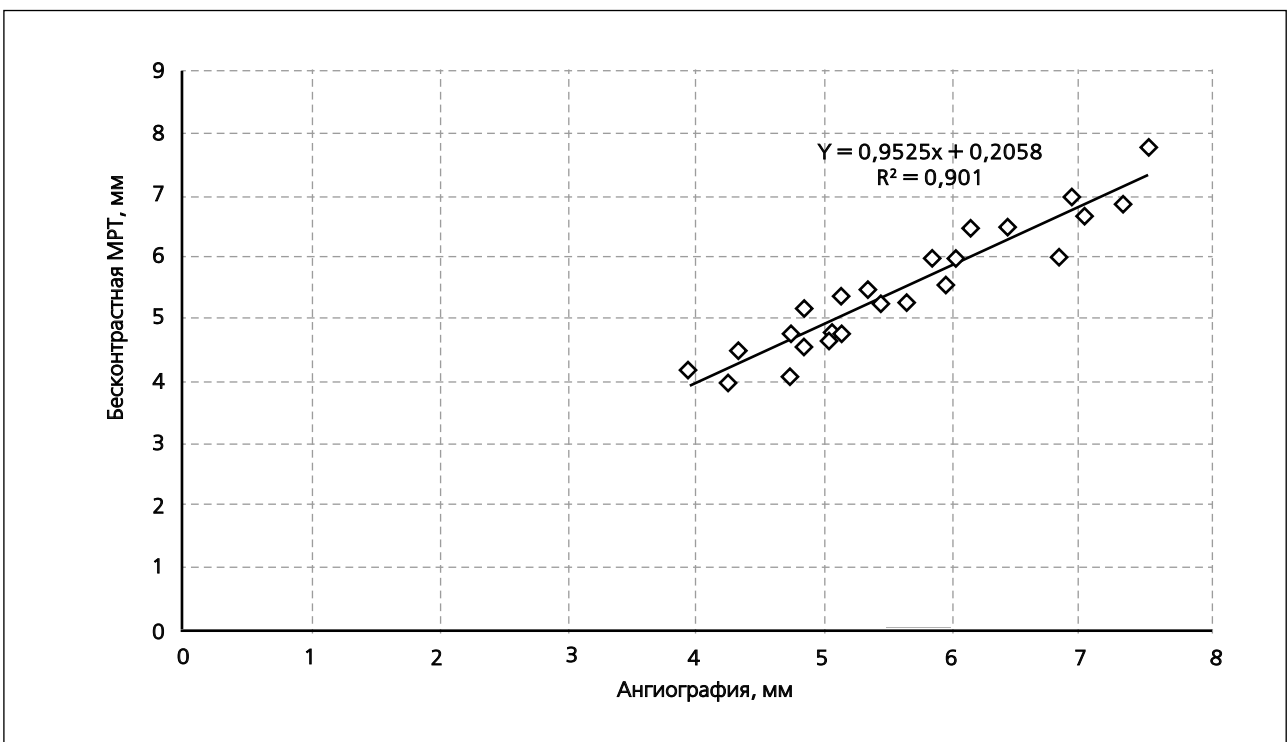
**Таблица 2.** Средние значения длины и диаметра почечных артерий, по данным ангиографии и бесконтрастной магнитно-резонансной ангиографии

	Длина (мм)		Диаметр (мм)	
	Правая почечная артерия	Левая почечная артерия	Правая почечная артерия	Левая почечная артерия
Ангиография	45,3 ± 20,4	40,1 ± 18,7	6,1 ± 1,8	6,4 ± 1,5
МРТ	47 ± 17,2	42,5 ± 17	5,6 ± 2,1	6 ± 1,7

**Рис. 6.** Точечная диаграмма распределения длины почечных артерий, по данным магнитно-резонансной ангиографии и ангиографии



**Рис. 7.** Точечная диаграмма распределения диаметра почечных артерий, по данным магнитно-резонансной ангиографии и ангиографии





## Обсуждение

РДН ПА – современный метод эндоваскулярного лечения РАГ. Опубликованные в последнее время результаты применения РДН показали, что эффективность этого вида лечения зависит от правильности отбора больных для вмешательства [6]. Большую роль в отборе играет обследование больных для определения состояния ПА как для подтверждения технической возможности выполнения процедуры РДН, так и для выявления патологии ПА, которая может быть причиной АГ.

В арсенал современной лучевой диагностики входит несколько методов, способных точно оценить состояния ПА. Наиболее распространенным методом является УЗДГ, к достоинствам его, помимо широкой распространенности и доступности, относятся также невысокая цена и отсутствие противопоказаний. Однако точность метода зависит от опыта оператора, а также конституциональных особенностей пациента, что снижает его информативность [7].

Контрастная МСКТ-ангиография – современный и высокоточный метод диагностики различных заболеваний почек и почечных артерий. В исследовании Hutchinson и соавт. [8], в котором в качестве метода оценки ПА перед РДН использовали МСКТ с контрастированием, было показано, что такой подход позволяет снизить дозу контрастного препарата и время рентгеновского облучения при выполнении процедуры. Кроме того, высокая скорость сканирования позволяет во время одного введения контрастного препарата оценить не только ПА, но и подвздошные, что облегчает выбор оптимального артериального доступа для вмешательства. Однако метод МСКТ, как и инвазивная ангиография, сопряжен с лучевой нагрузкой и необходимостью введения рентгенконтрастных препаратов, что потенциально повышает риск развития контраст-индуцированной нефропатии у больных с нарушенной функцией почек.

В последнее время в клинической практике для диагностики патологии почечных артерий все чаще успешно применяется бесконтрастная МРА как альтернатива исследованиям с контрастным усилением [9–11]. Исследования, в которых оценивались чувствительность и специфичность бесконтрастной МРА и МРА с контрастным усилением в диагностике значимого стеноза почечных артерий (>50%), показали хорошую сопоставимость результатов обоих методов [12–14].

Результаты выполненного исследования показали возможность применения бесконтрастной МРА на этапе отбора больных для проведения РДН ПА. В 91,3% случаев удалось успешно выполнить и оценить ПА с помощью МРА без использования контрастных препаратов. Ни в одном случае ис-

следование не привело к развитию побочных эффектов, во всех случаях удовлетворительно переносилось пациентами. Причиной невозможности выполнить исследование у 2 больных (8,7%) был вес выше 130 кг, что не позволило поместить пациента в канал томографа.

Во всех случаях результаты МРА были подтверждены контрастной ангиографией как в плане наличия дополнительных артерий, диаметра и длины артерий, так и относительно наличия гемодинамически значимых стенозов.

Использование бесконтрастной МРА имеет ряд преимуществ по сравнению с другими исследованиями. Данный метод позволяет получить наглядную картину сосудов (схожую с почечной ангиограммой), а трехмерная реконструкция помогает оценить анатомические параметры почечных артерий, их извитость, наличие добавочных ветвей или добавочных артерий. Кроме того, полученные данные помогают заранее определиться с типом используемого направляющего катетера, спланировать тактику нанесения радиочастотных воздействий. Это позволяет сократить время выполнения процедуры, дозу используемого контрастного препарата за счет отказа от проведения брюшной аортографии. Отсутствие необходимости во введении контрастного вещества позволяет использовать методику для обследования пациентов со сниженной функцией почек, что особенно важно для больных с АГ. МРТ безопасна, не сопряжена с лучевой нагрузкой, это делает возможным применение метода неоднократно, в динамике, например, для оценки состояния устьев ПА уже после РДН.

## Заключение

Использование бесконтрастной МРТ почечных артерий является информативным и безопасным диагностическим методом исследования пациентов перед проведением радиочастотной денервации. Кроме того, это ценный инструмент в диагностике реноваскулярных причин развития рефрактерной артериальной гипертензии.

## Конфликт интересов

Конфликт интересов отсутствует.

## Список литературы

1. Chazova IE, Fomin VV, Razuwayeva MA, Vigdorcbik AV. Resistant and uncontrolled essential hypertension in the Russian Federation: epidemiological characteristics and treatment approaches (Russian register of uncontrolled and resistant arterial hypertension – REGATA «Resistant essential hypertension»). *Systemic Hypertension*. 2010;3:34–41. Russia. (Чазова ИЕ, Фомин ВВ, Разуваева МА, Вигдорчик АВ. Эпидемиологическая характеристика резистентной и неконтролируемой артериальной гипертензии в Российской Федерации (Российский регистр неконтролируемой и резистентной артериальной гипертензии РЕГАТА-ПРИМА «Резистентная Гипертензия Артериальная – Причины И Механизмы Развития»). *Системные гипертензии*. 2010;3:34–41).
2. Danilov NM, Matchin YG, Chazova IE. Endovascular radiofrequency denervation of renal arteries as an innovation method of treatment of refractory arterial hypertension: first experience in Russia. *Angiology and vascular surgery*. 2012;18(1):51–4. Russian (Данилов НМ, Матчин ЮГ, Чазова ИЕ. Эндоваскулярная радиочастотная денервация почечных артерий – инновационный метод лечения рефрактерной артериальной гипертензии. Первый опыт в России. *Ангиология и сосудистая хирургия*. 2012;18(1):51–4.)
3. Gromov AI. Scientific and technical progress of radiology: use for urology. *Russian Electronic Journal of Radiology*. 2012;2:43–51. Russian (Громов АИ. Научно-технический прогресс лучевой диагностики в урологии. *Российский электронный журнал лучевой диагностики*. 2012;2:43–51).
4. Sinicyn VE, Stukalova OV, Ternovoy SK, Kupriyanova OM. Safety of magnetic resonance imaging after coronary stenting. *Kardiologiya*. 2007;47(6):94–6. Russian (Синицын ВЕ, Стукалова ОВ, Терновой СК, Куприянова ОМ. Безопасность магнитно-резонансной томографии после коронарного стентирования. *Кардиология*. 2007;47(6):94–6).
5. Recommendations for the management of arterial hypertension Russian Medical Society of Arterial Hypertension and Society of Cardiology of the Russian Federation (4th generation). 2010. Russian (Российское медицинское общество по артериальной гипертензии (РМОАГ), Всероссийское научное общество кардиологов (ВНОК). *Диагностика и лечение артериальной гипертензии. Российские рекомендации (четвертый пересмотр)*. 2010).
6. Fontenlaa A, Garcia-Donaireb José A, Hernándezc F, Segura J, Salgado R, Cerezo C, Ruilope LM, Arribas F. Management of Resistant Hypertension in a Multidisciplinary Unit of Renal Denervation: Protocol and Results. *Rev Esp Cardiol*. 2013;66(5):364–70.
7. Soares GM, Murphy TP, Singha MS, Parada A, Jaff M. Renal artery duplex ultrasonography as a screening and surveillance tool to detect renal artery stenosis: a comparison with current reference standard imaging. *J Ultrasound Med*. 2006;25(3):293–8.
8. Hutchinson B, Keane D, Dodd J. Renal sympathetic denervation: MDCT evaluation of the renal arteries. *Am J Roentgenol*. 2013;201(2):342–6.
9. Miyazaki M, Akabane M. Non-contrast enhanced MR angiography: established techniques. *J Magn Reson Imaging*. 2012;35(1):1–19.
10. Chin AS, Thompson AK, Daniel BL, Herfkens RJ. Three-dimensional (3D) Balanced Steady State Free Precession (SSFP) ECG-Gated, Respiratory-Navigated Free-Breathing Renal MR Angiography (MRA): An Alternative to Contrast-enhanced MR Angiography (CE-MRA) in Patients with Renal Insufficiency. Conference: Radiological Society of North America 2007 Scientific Assembly and Annual Meeting.
11. Angeretti MG, Lumia D, Cani A, Barresi M, Nocchi Cardim L, Piacentino F, Maresca AM, Novario R, Genovese EA, Fugazola C. Non-enhanced MR angiography of renal arteries: comparison with contrast-enhanced MR angiography. *Acta Radiol*. 2013;54(7):749–56.
12. Braidly C, Daou I, Diop AD, Helweh O, Gageanu C, Boyer L, Chabrot P. Unenhanced MR angiography of renal arteries: 51 patients. *AJR Am J Roentgenol*. 2012;199(5):629–37.
13. Glockner JF, Takahashi N, Kawashima A, Woodrum DA, Stanley DW, Takei N, Miyoshi M, Sun W. Non-contrast renal artery MRA using an inflow inversion recovery steady state free precession technique (Inbance): comparison with 3D contrast-enhanced MRA. *J Magn Reson Imaging*. 2010;31(6):1411–8.
14. Khoo MM, Deeb D, Gedroyc WM, Duncan N, Taube D, Dick EA. Renal artery stenosis: comparative assessment by unenhanced renal artery MRA versus contrast-enhanced MRA. *Eur Radiol* 2011;21(7):1470–6.