

Варваренко Виктор Иванович, канд. мед. наук, старший научный сотрудник отделения рентгенохирургических методов диагностики и лечения ФГБУ "НИИ кардиологии" СО РАМН.
Адрес: 634012, г. Томск, ул. Киевская, 111а.
E-mail: vvi@cardio.tsu.ru

Кривошеков Евгений Владимирович, докт. мед. наук, ведущий научный сотрудник отделения сердечно-сосудистой хирургии ФГБУ "НИИ кардиологии" СО РАМН.
Адрес: 634012, г. Томск, ул. Киевская, 111а.
E-mail: kev@cardio.tsu.ru

УДК 616.711.6

ПАРАМАГНИТНОЕ КОНТРАСТИРОВАНИЕ АТЕРОСКЛЕРОТИЧЕСКИХ ПОРАЖЕНИЙ КОРОНАРНЫХ АРТЕРИЙ ПРИ ЭКГ-СИНХРОНИЗИРОВАННОМ ИССЛЕДОВАНИИ СЕРДЦА НА ОТКРЫТЫХ МРТ-СКАНЕРАХ

В.Ю. Усов¹, П.И. Лукьяненко¹, В.А. Архангельский², В.Е. Бабокин¹, Е.В. Федоренко², С.Г. Гольцов¹,
Е.Э. Бобрикова¹, В.Д. Аптекарь¹, А.Л. Крылов¹

¹ФГБУ "НИИ кардиологии" СО РАМН, Томск

²Научно-производственная фирма "АЗ", Москва

E-mail: ussov1962@yandex.ru

PARAMAGNETIC CONTRAST ENHANCEMENT OF CORONARY ATHEROSCLEROTIC LESIONS IN ECG-GATED STUDY OF THE HEART BY USING OPEN MRI-SCANNERS

W.Yu. Ussov¹, P.I. Lukyanenok¹, V.A. Arkhangelsky², V.E. Babokin¹, E.V. Fedorenko², S.G. Goltsov¹,
E.E. Bobrikova¹, V.D. Aptekar¹, A.L. Krylov¹

¹Federal State Budgetary Institution "Research Institute for Cardiology" of Siberian Branch under the Russian Academy of Medical Sciences, Tomsk

²Research and Production Company AZ Plc., Moscow

Проведено исследование парамагнитного контрастирования коронарных бляшек у пациентов с распространенным атеросклерозом и перенесенным острым инфарктом миокарда при магнитно-резонансном томографическом (МРТ) исследовании сердца на низко- и среднепольных открытых МРТ-сканерах. В исследование включено 25 пациентов с острым инфарктом миокарда в анамнезе и коронарографически подтвержденным стенозом инфарктсвязанной артерии. Наиболее выраженный стеноз, приведший к развитию острого инфаркта миокарда, располагался в бассейне правой (одиннадцать случаев), передней нисходящей (пять) или левой огибающей (девять) коронарных артерий. Контрольную группу составили 9 пациентов без коронарной болезни сердца, которым контрастированная МРТ была проведена по поводу патологии грудного отдела позвоночника. Всем пациентам выполнялась МР-томография миокарда по протоколу T1-взвешенных спин-эхо изображений с ЭКГ-синхронизацией и получением сканов сердца в конце диастолы (МР-томографы Аз-360, индукция поля 0,38Т, и Magnetom Open, индукция поля 0,22Т). Срезы были получены в аксиальной плоскости в 4-камерной позиции у всех пациентов и по короткой оси – у 16 из 24 пациентов. Параметры исследования составили: TR=450–890 мс, TE=15–25 мс, матрица – 256x256, толщина среза – 7–8 мм, размер области исследования – до 25x25 см, размеры вокселя – до 0,1–0,12 мм. Парамагнетик (Оптимарк, Маллинкрофт) вводился в дозе 2 мл 0,5М р-ра на 10 кг веса тела пациента. На срезах МРТ выделялись проксимальные участки коронарных артерий, для собственно зоны бляшки и по ходу стенки артерии рассчитывался индекс усиления (ИУ) интенсивности изображения как отношение: ИУ=(ИнтенсивностьT1-взв.SE-контрастированной)/ (ИнтенсивностьT1-взв.SE исходн.).

При визуальном анализе картины МРТ у пациентов с коронарным атеросклерозом во всех случаях удавалось уверенно визуализировать область расположения коронарных артерий с уверенным выделением области расположения стенозирования. У пациентов контрольной группы для правой коронарной артерии (ПКА) ИУ составлял $1,08 \pm 0,06$, а для левой коронарной артерии (ЛКА) – $1,09 \pm 0,07$. При локализации атеросклеротической бляшки в инфарктсвязанной ЛКА ИУ= $1,52 \pm 0,23$, при расположении бляшки в инфарктсвязанной ПКА – ИУ= $1,43 \pm 0,17$. В непораженных участках стенки коронарных артерий у пациентов ИУ= $1,18 \pm 0,10$. Не было выявлено достоверной корреляции между ИУ и степенью стеноза или показателями сократимости миокарда. Достоверной корреляции между величинами ИУ в различных участках коронарного русла у одного и того же пациента не отмечалось. Контрастированная МРТ миокарда с ЭКГ-синхронизацией в T1-взвешенном спин-эхо режиме позволяет визуализировать аккумуляцию контраста-парамагнетика в области коронарных атеросклеротических бляшек и является целесообразной как дополнение к контрастированию миокарда в T1-взв. SE IR режиме.

Ключевые слова: магнитно-резонансная томография сердца, атеросклероз, парамагнитное контрастирование, коронарная бляшка.

The aim of the study was to evaluate the capabilities of contrast-enhanced magnetic resonance imaging (MRI) with the use of open MRI scanners for detection of atherosclerotic plaques in patients with extensive atherosclerosis and myocardial infarction which occurred two to six months prior the examination. Twenty four patients with angiologically verified coronary atherosclerosis comprised the patient's group including 11 patients with predominant involvement of right coronary artery (RCA) and 13 patients with predominant atherosclerosis of left circumflex coronary artery. All patients received contrast-enhanced MRI study of the heart by using T1-weighted spin-echo with end-diastolic ECG gating (MRI scanners AZ-360 with 0.38T field and Magnetom Open with 0.22T) Thin 7–8-mm axial slices of the whole heart were obtained in four-chamber position in all patients; short axis slices were obtained in 16 out of 24 patients. Acquisition parameters were as follows: repetition time (TR) of 450–890 ms; echo time (ET) of 15–25 ms; 256x256 matrix; slice thickness of 7–8 mm; cross-dimension field of view of 25x25 cm; and voxel size of 0.1 to 0.12 mm. Paramagnetic (Optimark, Mallinckrodt Inc.) was injected as 2 mL of 0.5-M solution per 10 kg of body weight. For the atherosclerotic plaque itself and arterial wall beyond the plaque, the index of image enhancement (IE) was calculated as follows:

$IE = \text{intensity of T1 w SE scan with paramagnetic} / \text{Intensity of T1 w SE scan initial}$.

When analyzed visually, the T1-weighted contrast-enhanced MRI images in patients with coronary atherosclerosis provided clear delineation of coronary artery stenosis due to the significant uptake of paramagnetic by the plaque itself. In patients from the control group free of atherosclerosis, the RCA IE and LCA IE were 1.08 ± 0.06 and 1.09 ± 0.07 , respectively. The atherosclerotic plaque in infarction-related LCA demonstrated IE as high as 1.52 ± 0.23 , whereas the plaque in infarction-related RCA was enhanced with $IE = 1.43 \pm 0.17$. Also, the plaque-free areas of infarction-related arteries demonstrated mild but elevated enhancement with $IE = 1.18 \pm 0.10$. In this small group, no significant correlations were revealed between IE and degree of stenosis or LV contractility indices. The authors conclude that contrast-enhanced MRI of coronary atherosclerotic plaques is recommended as an addition to *inversion recovery* protocol that provides effective imaging of paramagnetic uptake by damaged myocardium.

Key words: magnetic resonance imaging, paramagnetic contrast enhancement, atherosclerosis, coronary plaque.

Введение

Атеросклероз венечных артерий сердца сохраняет свое положение ведущей причины смертности населения России [2], что требует создания новых методов его эффективной диагностики. В выявлении коронарного атеросклероза и повреждений миокарда в последние 5–7 лет ведущую роль стал играть метод контрастированной магнитно-резонансной томографии (МРТ) сердца, как в отношении нарушения кровоснабжения миокарда, так и точной дифференцировки необратимо поврежденного и жизнеспособного миокарда [3], выявлении нарушений клапанной гемодинамики. Быстро развивается технология МР-коронароангиографии (МРКА) [6], и уже сейчас нет принципиальных препятствий для надежной неинвазивной визуализации коронарных артерий при МРКА. Сегодня все кардиологические методики и импульсные последовательности МРТ для исследований сердца реализованы как на высокопольных, так и на среднепольных МР-томографах с напряженностью поля от 0,2Т и выше.

Слабо развитым разделом диагностических МРТ-технологий остается визуализация собственно коронарных атеросклеротических бляшек, сообщения о которой представлены всего единичными публикациями [9, 10], хотя в эксперименте она разрабатывается давно [13]. Клиническая диагностика состояния коронарных бляшек средствами МРТ не проводится даже при наличии в России немалого количества высокопольных МР-томографов. Причиной этого могут быть традиционные в прошлом методические трудности и артефакты от движения сердца и относительная малоразмерность объекта исследования в этом случае как такового.

Для атеросклеротических поражений периферических сосудов, в первую очередь каротидных и бедренных артерий, достигнуты существенные успехи в визуализации их средствами контрастированной МРТ. Показана возможность надежной визуализации структур атероск-

леротической бляшки с помощью контрастированной МРТ [8]. Доказана взаимосвязь между степенью интенсивности контрастирования и риском развития ишемических цереброваскулярных повреждений [1]. Аналогичные результаты получены и для случая атеросклероза бедренных артерий [8]. Визуализация бляшек в этих исследованиях выполнялась в T1-взвешенном спин-эхо режиме, без дополнительных импульсных последовательностей типа “инверсия – восстановление”. В кардиологических же исследованиях режим “*inversion – recovery*” вытеснил из диагностической практики обычные T1-взвешенные спин-эхо или турбо-спин-эхо изображения, так как за счет подбора времени инверсии позволяет максимизировать отношение интенсивностей аккумулирующего контраст поврежденного миокарда и сохранного, интенсивность которого стремятся приблизить к нулю. При этом внемиокардиальное накопление контраста-парамагнетика, как правило, просто игнорируется.

Поэтому мы выполнили оценочное исследование возможности контрастирования атеросклеротических поражений коронарных артерий при МРТ сердца на открытых МР-томографах у лиц с тяжелым коронарным атеросклерозом и перенесенным острым инфарктом миокарда.

Материал и методы

В исследование вошли 24 пациента (21 мужчина, 3 женщины, средний возраст – 60 ± 8 лет) с верифицированным коронарным атеросклерозом, перенесших в прошлом (в течение 6 недель – полугод, в среднем $2,5 \pm 1,1$ мес.) острый инфаркт миокарда, в том числе у 11 – в бассейне правой коронарной артерии (ПКА) при правом типе кровоснабжения, у 4 – в бассейне передней нисходящей, и у 9 – в бассейне огибающей ветви ЛКА. У всех инфаркт сопровождался подъемом сегмента ST; был осуществлен догоспитальный тромболизис, но экстренного баллонирования не проводилось, а реваскуляризация осу-

ществлялась затем в плановом порядке. В последующем всем им выполнялось успешное аортокоронарное шунтирование, в среднем $3,6 \pm 1,1$ артерий. При ультразвуковом исследовании фракция выброса левого желудочка составляла $46 \pm 8\%$. Во всех случаях объем инфарктированного миокарда левого желудочка (ЛЖ), по данным контрастированной МРТ, не превышал 20% от миокарда ЛЖ в целом. В группе пациентов с инфарктированием в бассейне ЛКА у 5 из 9 пациентов была выявлена митральная регургитация, не сопровождавшаяся дилатацией предсердия.

В качестве лиц контрольной группы выступали 9 пациентов сходного возраста (57 ± 8 лет), которым контрастированное МРТ-исследование грудной клетки (в том числе и кардиологические протоколы с ЭКГ-синхронизацией) выполнялось по поводу патологии грудного отдела позвоночника, при этом клинической симптоматики ишемической болезни сердца у них не отмечалось, при МРТ повреждений миокарда у них не выявлено.

Исследования были проведены на открытых МР-томографах (Аз-360, индукция поля 0,38Т, производства НПФ Аз и MagnetomOpen, индукция поля 0,22Т, производства Siemens Medical). Исследования миокарда проводились в режиме T1-взвешенных спин-эхо изображений, с ЭКГ-синхронизацией. Изображения сердца были получены для конечно-диастолического момента сердечного цикла в аксиальной плоскости (в 4-камерной позиции). Параметры исследования составляли соответственно: TR=450–890 мс (тем выше, чем реже ритм сердца пациента), TE=15–25 мс, размер матрицы во всех случаях – 256x256, толщина среза – 7–8 мм, размер зоны исследования – до 25–29 см, т.е. с полным охватом анатомической области сердечной мышцы, и поперечными размерами вокселя до 0,1–0,12 мм. Такие размеры элемента изображения позволяют надежно оценивать состояние анатомических структур в 2–3 мм.

Исследования выполнялись исходно без контрастирования, а затем спустя 7–15 мин после внутривенного введения контрастного препарата-парамагнетика, что соответствует оптимальному времени накопления парамагнетика для «отсроченного» скана. При этом контрастный препарат – Оптимарк (пр-ва Mallinckrodt) вводился в стандартной для кардиологических исследований мио-

карда дозе в 2 мл 0,5М раствора парамагнетика на 10 кг веса тела пациента. Технические параметры исследований до и после введения контраста были неизменными.

Первоначально картина исходной и контрастированной МРТ сердца в T1-взвешенном спин-эхо режиме оценивалась визуально, а затем выделялись области расположения проксимальных участков коронарных артерий, обычно на уровне срезов, отстоящих не далее 0,8–1,6 см от уровня корня аорты – полулунных клапанов, как в четырехкамерной позиции, так и при срезах по короткой оси (рис. 1, см. 3-ю стр. обложки). Для сканов, записанных до и после контрастирования, средствами обработки изображений обводились области стенки коронарной артерии, и определялась интенсивность (яркость) изображения на воксель, в аппаратных единицах данного томографа. Расчет проводился для областей на стороне инфарктсвязанной артерии и на противоположной – для области собственно бляшки и вне бляшки по ходу стенки артерии. На непораженной стороне при этом бляшка как таковая не выделялась. Затем рассчитывался индекс усиления интенсивности изображения как отношение:

$$ИУ = \frac{(\text{Интенсивность T1-взв. SE-контрастированная})}{(\text{Интенсивность T1-взв. SE исходн.})}$$

Сравнение величин ИУ проводилось между группами пациентов с поражением ЛКА, ПКА и контрольными лицами. Использовался критерий Стьюдента, исходя из того, что он, будучи параметрическим, является наиболее строгим в оценке межгрупповых различий.

Результаты

При визуальном анализе картины МРТ у пациентов с коронарным атеросклерозом (рис. 1, 2, см. 3-ю стр. обложки), во всех случаях уверенно визуализировались области расположения коронарных артерий по ходу их проксимальных участков на протяжении до 3 см с выделением участка стенозирования, причем как в аксиальных срезах в 4-камерной позиции, так и для срезов по короткой оси. В частности, для срезов по короткой оси в 6 из 11 случаев правая коронарная артерия на протяжении до 4–5 см визуализировалась четко на проксимальном срезе, как представлено в случае на рисунке 2.

У пациентов контрольной группы отмечалось мини-

Таблица

Индексы усиления интенсивности T1-взв. спин-эхо изображений пораженных коронарных артерий в зависимости от локализации

Инфарктсвязанная артерия	Участки сосудистой стенки		Индекс усиления интенсивности при контрастировании
Левая коронарная артерия (огигающая ветвь), n=13	Левая огигающая артерия	Область бляшки	$1,52 \pm 0,23$ $p < 0,05$
		Непораженный участок стенки	$1,22 \pm 0,14$
	Правая коронарная артерия	Область бляшки	–
		Непораженный участок стенки	$1,18 \pm 0,10$
Правая коронарная артерия, n=11	Левая огигающая артерия	Область бляшки	–
		Непораженный участок стенки	$1,16 \pm 0,12$
	Правая коронарная артерия	Область бляшки	$1,43 \pm 0,17$ $p < 0,05$
		Непораженный участок стенки	$1,20 \pm 0,16$

Примечание: величина показателя р рассчитана для сравнения области бляшки с непораженными участками стенок артерий.

мальное усиление интенсивности в стенке коронарных артерий, так что для ПКА ИУ составлял $1,08 \pm 0,06$, а для ЛКА – $1,09 \pm 0,07$. При наличии же коронарного атеросклероза усиление было явно видимым (рис. 1), судя по величинам ИУ (таблица).

Таким образом, при различных локализациях коронарные атеросклеротические бляшки достоверно аккумулялировали контрастный препарат-парамагнетик. В этих случаях и в области непораженных участков артерий накопление контраста и усиление интенсивности Т1-взв. МРТ происходило более выражено, чем у лиц контрольной группы, показатели ИУ для которых приведены выше. Визуальная картина однозначно указывала на достоверное усиление в области стенки коронарных артерий, преимущественно – в области атеросклеротических бляшек инфаркт-связанных артерий.

В нашем пилотном исследовании, ограниченном по численности групп пациентов, не было выявлено достоверной взаимосвязи между степенью стенозирования артерии и интенсивностью контрастирования атеросклеротической бляшки, а также и внебляшечных участков стенки артерий как для ЛКА, так и ПКА. Показатели объема инфарктированного миокарда и общая фракция выброса левого желудочка также не имели значимой корреляции с величинами индексов усиления артериальной стенки при парамагнитном контрастировании, в частности – во всех случаях коэффициент корреляции r был менее 0,29 ($p > 0,5$).

Обсуждение

Совершенствование МР-томографии привело сегодня к массовому распространению томографов с напряженностью поля 1,5Т, а в последнее время и в 3Т [7]. Однако даже при увеличении быстродействия МР-томографов за счет более сильного поля у лиц с неотложными кардиологическими и ангионеврологическими заболеваниями закрытая конструкция магнита затрудняет контроль состояния больного и повышает риск случайного развития осложнений во время исследования. Психологическая комфортность исследования у пациентов с коронарным болевым синдромом на открытых системах заметно выше. Так как современные открытые системы реализуют все кардиологические импульсные последовательности, за исключением спектроскопии, необходимость визуализации коронарных бляшек при МРТ сердца на открытых системах не требует обоснования. Однако до сих пор такого исследования не выполнялось.

В данном случае оказалось, что как и при каротидной локализации атеросклеротических бляшек [1, 11, 12], при коронарном атеросклерозе с перенесенным в бассейне пораженной артерии инфарктом миокарда происходит достоверное накопление контрастного препарата-парамагнетика и усиление Т1-взвешенной МРТ как собственно атеросклеротической бляшки, так и стенки сосуда рядом в области нестенозированного участка. С одной стороны, накопление контраста было взаимосвязано с фактом инфарктирования в соответствующем артериальном бассейне (таблица, рис. 1, 2), а с другой, – показатель ИУ оказался не коррелирующим ни со степенью коронар-

ного стеноза, ни с тяжестью нарушения функции левого желудочка сердца. В настоящее время ведется более расширенное исследование с целью оценить на широкой выборке предположение о том, что интенсивное накопление парамагнетика в коронарной бляшке, по сути, означает независимый достоверный риск развития инфаркта и требует коррекции в виде стентирования или АКШ. По механизму контрастирования интенсивное накопление парамагнетика в бляшке означает формирование развитой сети *vasa vasorum* в ее толще [13]. Ранее было морфологически доказано, что формирование *vasa vasorum* достоверно связано с нестабильностью бляшки и повышенным риском инфарктирования [4, 12].

Наши результаты показывают, что использование Т1-взвешенного режима спин-эхо в контрастированном исследовании миокарда для визуализации коронарных атеросклеротических бляшек может быть целесообразно в сочетании с протоколами *inversion recovery*, позволяющими хорошо выявить накопление парамагнетика в поврежденном миокарде [5] в стеноз-зависимых участках и, таким образом, полностью охарактеризовать патологический процесс. Вероятно, на основе выявленного нами накопления парамагнетика в коронарных атеросклеротических бляшках целесообразно пытаться создать отдельную технологию неинвазивной визуализации и оценки тяжести коронарного атеросклероза, в том числе на открытых МРТ-сканерах, при условии создания полностью безопасных контрастов-парамагнетиков. При этом полученные нами первые результаты контрастирования коронарных бляшек при МРТ указывают на необходимость дальнейшего исследования его диагностического значения при первичном обследовании пациентов с ишемической болезнью сердца, а также возможностей вторичного МРТ атеросклеротических поражений после стентирования, аортокоронарного шунтирования, или гемосорбционных методов удаления атерогенных компонент плазмы крови.

Литература

1. Бобрикова Е.Э., Щербань Н.В., Ханеев В.Б. и др. Оценка состояния атеросклеротических бляшек брахиоцефальных артерий средствами высокоразрешающей контрастированной МРТ: взаимосвязь с ишемическим повреждением головного мозга // Мед. визуализация. – 2013. – № 1. – С. 26–34.
2. Гарганеева А.А., Округин С.А., Зяблов Ю.И. Программа ВОЗ “Регистр острого инфаркта миокарда”: 25-летнее эпидемиологическое изучение инфаркта миокарда в среднеурбанизированном городе Западной Сибири // Сибирский медицинский журнал (Томск) – 2012. – Т. 25, № 2. – С. 44–48.
3. Усов В.Ю., Шелковникова Т.А., Лукьяненко П.И. и др. ЭКГ-синхронизированная контрастированная МРТ миокарда на открытом МР-томографе в оценке ишемического повреждения миокарда у пациентов перед аортокоронарным шунтированием // Мед. визуализация. – 2011. – № 5. – С. 114–122.
4. Carlier S., Kakadiaris I.A., Dib N. et al. Vasa vasorum imaging: a new window to the clinical detection of vulnerable atherosclerotic plaques // Cur. Atheroscler. Rep. – 2005. – Vol. 7, No. 2. – P. 164–169.
5. Edelman R.R. Contrast-enhanced MR imaging of the heart // Radiology. – 2004. – Vol. 232, No. 3. – P. 653–668.

6. Harrison A., Adluru G., Damal K. et al. Rapid ungated myocardial perfusion cardiovascular magnetic resonance: preliminary diagnostic accuracy // J. Cardiovasc. Magn. Reson. – 2013. – Vol. 27, No. 15(1). – P. 26–30.
7. Kerwin W.S., Liu F., Yarnykh V. Signal features of the atherosclerotic plaque at 3,0 Tesla versus 1,5 Tesla: impact on automatic classification // J. Magn. Reson. Imaging. – 2008. – Vol. 28, No. 4. – P. 987–995.
8. Li F., McDermott M.M., Li D. et al. The association of lesion eccentricity with plaque morphology and components in the superficial femoral artery: a high-spatial-resolution multi-contrast weighted CMR study // J. Cardiovasc. Magn. Reson. – 2010. – No. 7. – P. 12–37.
9. Li T., Zhao X., Liu X. et al. Evaluation of the early enhancement of coronary atherosclerotic plaque by contrast-enhanced MR angiography // Eur. J. Radiol. – 2011. – Vol. 80, No. 1. – P. 136–142.
10. Maintz D., Ozgun M., Hoffmeier A. et al. Selective coronary artery plaque visualization and differentiation by contrast-enhanced inversion prepared MRI // Eur. Heart J. – 2006, Jul. – Vol. 27, No. 14. – P. 1732–1736.
11. Millon A., Mathevet J.L., Bousset L. et al. High-resolution magnetic resonance imaging of carotid atherosclerosis identifies vulnerable carotid plaques // J. Vasc. Surg. – 2013. – Vol. 57, No. 4. – P. 1046–1051.
12. Uemura S. Invasive imaging of vulnerable atherosclerotic plaques in coronary artery disease // Circ. J. – 2013. – Vol. 77. – P. 869–875.
13. Worthley S.G., Helft G., Fuster V. et al. Noninvasive in vivo magnetic resonance imaging of experimental coronary artery lesions in a porcine model // Circulation. – 2000. – Vol. 101. – P. 2956–2961.

Поступила 25.02.2014

Сведения об авторах

Усов Владимир Юрьевич, докт. мед. наук, профессор, руководитель отделения рентгеновских и томографических методов диагностики ФГБУ “НИИ кардиологии” СО РАМН.

Адрес: 634012, г. Томск, ул. Киевская, 111а.

E-mail: ussov1962@yandex.ru

Лукьяненко Павел Иванович, докт. мед. наук, старший научный сотрудник, заведующий кабинетом МРТ по клинике отделения рентгеновских и томографических

методов диагностики ФГБУ “НИИ кардиологии” СО РАМН.

Адрес: 634012, г. Томск, ул. Киевская, 111а.

E-mail: paul@cardio.tsu.ru

Архангельский Вячеслав Алексеевич, докт. техн. наук, генеральный директор Научно-производственной фирмы “Аз”.

Адрес: 105037, г. Москва, ул. 1-я Парковая, 10.

E-mail: info@az-mri.com

Бабокин Вадим Егорович, канд. мед. наук, старший научный сотрудник отделения сердечно-сосудистой хирургии ФГБУ “НИИ кардиологии” СО РАМН.

Адрес: 634012, г. Томск, ул. Киевская, 111а.

Федоренко Елена Вениаминовна, канд. мед. наук, заместитель главного врача Научно-производственной фирмы “Аз”.

Адрес: 105037, г. Москва, ул. 1-я Парковая, 10.

E-mail: sheltom@az-mri.com

Гольцов Сергей Георгиевич, канд. мед. наук, врач-рентгенолог отделения рентгенохирургических методов диагностики и лечения ФГБУ “НИИ кардиологии” СО РАМН.

Адрес: 634012, г. Томск, ул. Киевская, 111а.

Бобрикова Евгения Эдуардовна, младший научный сотрудник отделения рентгеновских и томографических методов диагностики ФГБУ “НИИ кардиологии” СО РАМН.

Адрес: 634012, г. Томск, ул. Киевская, 111а.

E-mail: e.b.1989@mail.ru

Аптекарь Владимир Дмитриевич, докт. мед. наук, заведующий отделением сердечной недостаточности ФГБУ “НИИ кардиологии” СО РАМН.

Адрес: 634012, г. Томск, ул. Киевская, 111а.

Крылов Александр Любомирович, докт. мед. наук, профессор, руководитель отделения рентгенохирургических методов диагностики и лечения ФГБУ “НИИ кардиологии” СО РАМН.

Адрес: 634012, г. Томск, ул. Киевская, 111а.

E-mail: krylov@cardio.tsu.ru