

Магнитно-резонансная панангиография аорты, коронарных и внутренних грудных артерий в вычислительном анатомическом планировании оптимального малоинвазивного маммарокоронарного шунтирования

Усов В.Ю.¹, Скурихин И.М.¹, Лукьяненко П.И.¹, Вечерский Ю.Ю.¹, Бахметьева Т.А.², Шелковникова Т.А.¹, Усов Ю.П.³, Шелупанов А.А.⁴, Беличенко О.И.⁵

¹ ГНУ НИИ кардиологии Томского национального исследовательского медицинского центра РАН, Томск, Россия

² Janssen Pharmaceutica, Москва, Россия

³ ФГАОУ ВО Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия

⁴ ФГБОУ ВО Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Томск, Россия

⁵ ФГБОУ ВО Российский государственный университет физической культуры, спорта, молодежи и туризма им. П.Ф. Лесгафта, Москва, Россия

Simultaneous Magnetic Resonance Angiography of Aorta, Coronary and Internal Mammary Arteries for Three-Dimensional Anatomic Design in the Low-Invasive Mammaro-Coronary Bypass Surgery

Usov V.Yu.¹, Skurikhin I.M.¹, Lukyanenok P.I.¹, Vechersky Yu.Yu.¹, Bakhmetyeva T.A.², Shelkovnikova T.A.¹, Usov Yu.P.³, Shelupanov A.A.⁴, Belichenko O.I.⁵

¹ Tomsk Institute of Cardiology of the Tomsk National Medical Research Institution of the Russian Academy of Sciences, Tomsk, Russia

² Janssen Pharmaceutica, Moscow, Russia

³ National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

⁴ Tomsk State University of control systems and radioelectronics, Tomsk, Russia

⁵ P.F. Lesgaft Russian National university of athletics, sport, youth and tourism, Moscow, Russia



Введение. Эффективность малоинвазивных ангиохирургических вмешательств в большой степени зависит от точной индивидуальной локализации и анатомической характеристики артерий, в частности – при маммарокоронарном шунтировании – от оптимизации хирургического межреберного доступа в зависимости от расположения внутренней грудной и коронарных артерий (как правило, передней нисходящей). Однако возможности магнитно-резонансной томографии (МРТ) и МР-ангиографии (МРА) используются для такой индивидуализации ангиохирургической техники мало. Целесообразность и отдаленные результаты планирования маммарокоронарного шунтирования на основе МРТ и МРА грудной клетки пока не изучены, а эффективность их не доказана.

Цель исследования: разработка методики предоперационного выбора оптимального хирургического доступа для наложения малоинвазивного маммарокоронарного шунта у больных ишемической болезнью сердца, а также оценка результатов клинического использования этой методики при годичных сроках наблюдения

Материал и методы. В исследование вошло 23 человека, которые были разделены на 2 группы: основная группа – 14 (60,9%) пациентов, которым выполняли малоинвазивное маммарокоронарное шунтирование (апробация методики); группа сравнения – 9 (39,1%) пациентов, которым ранее вмешательство выполняли без учета результатов панангиографии грудной клетки.

Методика получения изображений МРА и МРТ, использованных затем для трехмерной оценки расположения поверхности сердца, передней нисходящей коронарной артерии, внутренней грудной артерии (ВГА), хрящевых, костных и мышечных структур, включала МРТ грудной клетки в аксиальных и корональных плоскостях с синхронизацией по дыханию и ЭКГ, с детальной визуализацией передней стенки, расположения и ширины межреберных промежутков и затем – получение срезов собственно сердца по длинной оси левого желудочка (в двух- и четырехкамерной позиции), а также и по короткой оси. При этом толщина срезов составляла 4–7 мм, изображения записывались в матрицу 256 × 256 или 256 × 392 элемента при размере поля зрения 30 × 40 см. По данным трехмерного сопоставления МРТ сердца и панартериографии аорты и внутренних грудных и коронарных артерий определяли оптимальный доступ для малоинвазивного маммарокоронарного шунтирования – наложения анастомоза внутренней грудной и передней нисходящей артерий.

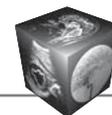
Результаты. При контроле спустя год ($12,5 \pm 2,2$ мес) проходимость шунта сохранялась у всех 14 пациентов основной группы и лишь у 7 из 9 в группе сравнения ($p < 0,05$ по критерию χ^2), у которых ранее вмешательство выполнялось без МР-коронаро- и ангиографии. Протяженность участка выделения ВГА составляла у пациентов, которым выполняли планирование по результатам МРА грудной клетки, 20–35 мм, в среднем 29 ± 6 мм, тогда как в группе сравнения, до использования анатомического моделирования, более 30 мм во

Для корреспонденции: Усов Владимир Юрьевич – 634012 Томск 12, ул. Киевская, д. 111, НИИ кардиологии Томского национального исследовательского медицинского центра РАН, отделение рентгеновских и томографических методов. Тел. +7(903)951-26-76. E-mail: mritomsk@yandex.ru

Усов Владимир Юрьевич – доктор мед. наук, профессор, руководитель лаборатории рентгеновских и томографических методов диагностики НИИ кардиологии Томского национального медицинского исследовательского центра РАН, Томск; **Скурихин Илья Михайлович** – аспирант отдела сердечно-сосудистой хирургии НИИ кардиологии Томского национального медицинского исследовательского центра РАН, Томск; **Лукьяненко Павел Иванович** – доктор мед. наук, профессор, ведущий научный сотрудник лаборатории рентгеновских и томографических методов диагностики НИИ кардиологии Томского национального медицинского исследовательского центра РАН, Томск; **Вечерский Юрий Юрьевич** – доктор мед. наук, профессор, ведущий научный сотрудник отдела сердечно-сосудистой хирургии НИИ кардиологии Томского национального медицинского исследовательского центра РАН, Томск; **Бахметьева Татьяна Алексеевна** – старший медицинский представитель Janssen Pharmaceutica, Москва; **Шелковникова Татьяна Александровна** – канд. мед. наук, старший научный сотрудник НИИ кардиологии Томского национального медицинского исследовательского центра РАН, Томск; **Усов Юрий Петрович** – доктор техн. наук, профессор кафедры теоретических основ электротехники Национального исследовательского Томского политехнического университета, Томск; **Шелупанов Александр Александрович** – доктор техн. наук, профессор, заведующий кафедрой комплексной информационной безопасности электронно-вычислительных систем Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР), ректор ТУСУР, Томск; **Беличенко Олег Игоревич** – доктор мед. наук, профессор кафедры “Спортивная медицина” Российского государственного университета физической культуры, спорта, молодежи и туризма им. П.Ф. Лесгафта, Москва.

Contact: Usov Vladimir Yurevich – 634012 Tomsk 12, Kievskaya str., 111, Institute of Cardiology of the Tomsk National research medical Center of the Russian Academy of Sciences, Department of X-ray and tomographic methods. Phone +7-903-951-26-76. E-mail: mritomsk@yandex.ru

Usov Vladimir Yurievich – doct. of med. sci., professor, chairman of the department of X-ray and tomographic methods of the Institute of Cardiology of Tomsk National research medical Center of the Russian Academy of Sciences, Tomsk; **Skurikhin Ilya Mikhaylovich** – PhD student of the cardiovascular surgery department of the Institute of Cardiology of Tomsk National research medical Center of the Russian Academy of Sciences, Tomsk; **Lukyanenok Pavel Ivanovich** – doct. of med. sci., professor, leader research fellow of the department of X-ray and tomographic methods of the Institute of Cardiology of Tomsk National research medical Center of the Russian Academy of Sciences, Tomsk; **Vechersky Yuriy Yurievich** – doct. of med. sci., professor, leader research fellow cardiovascular surgery department of the Institute of Cardiology of Tomsk National research medical Center of the Russian Academy of Sciences, Tomsk; **Bakhmetyeva Tatyana Alekseevna** – Senior medical representative, Janssen Pharmaceutical, Moscow; **Shelkovnikova Tatyana Aleksandrovna** – cand. of med. sci., Senior research fellow of the department of X-ray and tomographic methods of the Institute of Cardiology of Tomsk National research medical Center of the Russian Academy of Sciences, Tomsk; **Usov Yury Petrovich** – doct. of tekh. sci., professor of the department of theoretical bases of electrotechnics of the National research of Tomsk Polytechnic university, Tomsk; **Shelupanov Aleksandr Aleksandrovich** – doct. of tekh. sci., professor, chairman of the department of the complex information safety of the electronic digital systems of the Tomsk State university of control systems and radioelectronics (TUSUR), Rector of the TUSUR University, Tomsk; **Belichenko Oleg Igorevich** – doct. of med. sci., Professor of the Sport Medicine Department of P.F. Lesgaft Russian state university of physical culture, sport, youth and turism, Moscow.



всех случаях. Воспалительных осложнений (в частности, медиастинита) не было ни у кого.

Заключение. Таким образом, риск осложнений, связанный с анатомической вариабельностью прохождения ВГА, минимизируется при планировании на основе МРТ и МРА за счет использования в каждом случае полностью индивидуальной анатомической карты расположения артерий грудной клетки.

Ключевые слова: МР-коронарография, МРТ грудной клетки, малоинвазивное маммарокоронарное шунтирование, виртуальное планирование коронарного шунтирования.

Background. Efficiency of low-invasive angiosurgical revascularisation techniques essentially depends on precise and individualised anatomic localization of arteries involved to the procedure. In particular when carrying out the low-invasive mammarocoronary bypass surgery this means the optimal selection of intercostal anatomic approach adjusted to real position of internal thoracic and coronary arteries. Nevertheless the real possibilities of use of the MRI simultaneously with MR-angiography (MRA) for 3D pre-surgical design and personalization of surgical technique in every personal case according to real anatomic relation of coronary and internal thoracic arteries remain underemployed. Both the feasibilities and long-term results of individual virtual design of mammarocoronary bypass surgery based on routine chest MRI and MRA data are not yet studied, and the real efficiency of such approach remains unclear.

Aim: comprised first the development of a technique of 3D virtual anatomic design of mammarocoronary bypass surgery basing on the data of simultaneous ssfp-MRA imaging of coronary and internal mammary arteries and on set of chest MRI tomographic images, in order to improve the results of mammarocoronary mini-invasive transthoracic technique of bypass; and second, the technique was briefly evaluated from the one-year follow-up clinical results.

Material and Methods. The patient's material comprised overall 23 persons who were assigned to two groups – first the fourteen (61%) patients of the main group, in whom the low-invasive mammarocoronary bypass surgery was carried out; and the nine patients (39%) of the comparison group, recruited from earlier cases, in whom the surgical intervention was performed without evaluation of chest MR-angiographic data.

The MRI and MR-angiography, later employed for three-dimensional quantification of inter-position of heart surface, of anterior descendent coronary artery, of internal mammary artery, of bone, chest wall muscular and cartilage structures, comprised chest breath- and ECG-synchronized MRI with detailed imaging of anterior chest wall, intercostal spaces and internal mammary artery, imaging of the heart itself using two- and four-chamber long-axis positions, and pan-angiography of chest aorta and major arteries, including coronary arteries and internal thoracic arteries. The slices were 4–7 mm thin, acquired to matrix 256×256 or 256×392 voxels, with field of view as big as 30×40 cm. From the 3D model of thoracic and coronary arteries the optimal surgical technique was designed in every clinical case basing on criterion of minimal distance between internal thoracic artery and anterior descending artery as rationale for selection of intercostal level for endoscope introduction and location of aortio-arterial anastomosis between internal thoracic and coronary arteries.

Results. The possibilities of individual anatomic adjustment based on MR-angiography of thoracic arteries were

evaluated in fourteen patients in whom the mammarocoronary shunts were carried out basing on MRA data, delivering no any occlusion of the shunt during 12.5 ± 2.2 months follow-up. As a control group nine patients who underwent mammarocoronary bypass surgery without pre-operational MRI anatomic simulation were employed, in whom in two of nine occlusion of the shunt occurred. The anatomic extent of isolation of internal mammary artery was in the group of patients in whom the 3D MRI-based design of surgery was employed as long as 20–35 mm, in average 29 ± 6 mm, whereas in patients without 3D anatomic simulation and design it was over 30 mm in all cases.

Conclusion. Thus, the use of simultaneous MRA imaging of coronary and internal mammary arteries significantly improved both technique of mammarocoronary bypassing itself and provided no cases of shunt occlusion during the one-year follow-up.

Key words: MR-coronarography, MRI of the chest, low-invasive mammarocoronary bypass surgery, Virtual design of coronary bypass surgery.

Введение

Визуализация стенозов коронарных артерий при распространенном атеросклерозе эффективно выполняется сегодня в основном средствами спиральной рентгеновской компьютерной томографической (СРКТ) ангиографии. Ее массовое использование позволило оставить за классической катетерной ангиографией лишь меньшинство ангиографических исследований – случаи одновременной визуализации коронарного русла и стентирования выявленных при этом коронарных стенозов [1]. Однако для современных малоинвазивных методик коронарного шунтирования, когда при одно- и двухсосудистых поражениях коронарных артерий шунтирование осуществляют путем маммарокоронарного анастомозирования доступом через малый разрез в одном из межреберий парастернально [2], исключительно важно одновременно визуализировать и коронарные артерии, и внутренние грудные артерии (ВГА), их расположение относительно межреберий, возможности мобилизации ВГА и оптимального наложения маммарокоронарного анастомоза. Несмотря на то что важность такого подхода подчеркивали еще создатели маммарокоронарного шунтирования В.П. Демихов и В.И. Колесов [3–5], к сожалению, ни методики катетеризационной, ни СРКТ-ангиографии до сих пор либо не позволяют осуществить одновременную визуализацию внутригрудных ветвей аорты вообще, либо требуют использования нефизиологически больших объемов контрастных препаратов и высоких лучевых нагрузок. С другой стороны, МР-ангиография (МРА) исключительно успешно используется для планирования вмешательств на других артериях дуги и нисходящей аорты уже более двух десяти-

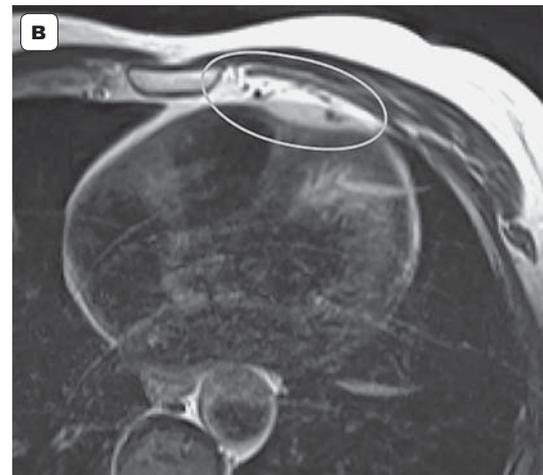
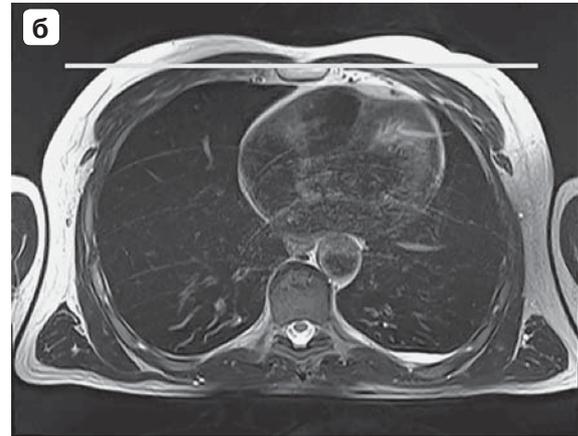
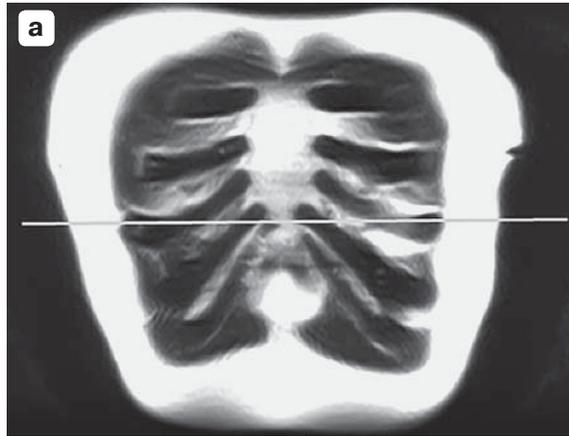


Рис. 1. МРТ-изображения костных и артериальных структур передней грудной стенки в T2-взвешенном спин-эхо режиме с синхронизацией по дыханию. а – фронтальный срез по ходу межреберий и ребер; б – аксиальный срез на уровне четвертого межреберья; в – увеличенный фрагмент среза б в области грудины и передней поверхности сердца. Прямыми линиями указаны взаиморасположения плоскостей срезов – аксиального относительно фронтального и наоборот (а и б). На увеличенном аксиальном – срезе (в) визуализируется взаиморасположение левой внутренней грудной (ближе к грудины) и передней нисходящей коронарной (по межжелудочковой борозде по передней поверхности межжелудочковой перегородки) артерий.

летий [6–8]. Поэтому, хотя МРА коронарных артерий пока еще и не является равнозначным аналогом СРКТ- и катетерных методик, тем не менее отсутствие лучевой нагрузки и возможность одновременной визуализации артериального сосудистого русла в больших анатомических объемах позволяют использовать для обсуждаемой задачи планирования малоинвазивного маммарокоронарного шунтирования именно технологию МРА для визуализации аорты, маммарных артерий и коронарного русла, тем более что времяпроблетные методики получения МР-ангиограмм позволяют избежать введения парамагнитных контрастных препаратов, используя естественные парамагнитные свойства крови [7, 8]. Мы попытались использовать одновременную МРА аорты, внутренних грудных и коронарных артерий для планирования малоинвазивного маммарокоронарного шунтирования.

Цель исследования

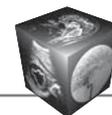
Разработка методики предоперационного выбора оптимального хирургического доступа для наложения малоинвазивного маммарокоронарного шунта у больных ишемической болезнью

сердца, а также оценка результатов клинического использования этой методики при годичных сроках наблюдения.

Материал и методы

В исследование вошло 23 человека, которые были разделены на 2 группы: основная группа – 14 (60,9%) пациентов, которым выполняли малоинвазивное маммарокоронарное шунтирование (апробация методики); группа сравнения – 9 (39,1%) пациентов, которым ранее вмешательство выполняли без учета результатов панангиографии грудной клетки.

Методика получения изображений МРА и МРТ, использованных затем для сопоставления и оценки расположения поверхности сердца, передней нисходящей коронарной артерии, ВГА, хрящевых, костных и мышечных структур друг относительно друга, включала следующие этапы. Первоначально всем пациентам выполнялась МРТ грудной клетки в аксиальных и фронтальных (корональных) плоскостях с синхронизацией по дыханию и ЭКГ, с детальной визуализацией передней стенки, расположения и ширины межреберных промежутков (рис. 1, а, б) и затем – получение срезов собствен-



но сердца по длинной оси левого желудочка (в двух- и четырехкамерной позициях), а также и по короткой оси. При этом толщина срезов составляла 4–7 мм, изображения записывались в матрицу 256 × 256 или 256 × 392 элемента при размере поля зрения 30 × 40 см.

Затем проводили МРА аорты и сосудов грудной клетки, включая и коронарные артерии, в режиме ssfp (single side free precession) при параметрах TR = 5,2 мс, TE = 2,6 мс и расположении плоскостей срезов в плоскости левый край грудины – середина восходящей аорты, что близко к плоскости межжелудочковой перегородки, фактически по ходу передней нисходящей артерии (рис. 2).

Была получена группа томосрезов по 1–2,5 мм толщиной с визуализацией камер сердца, коронарных сосудов, аорты и ее ветвей в пределах грудной клетки. В поле зрения при этом, как правило, визуализировались также и структуры спинномозгового канала. Расположение плоскости томограмм соответствовало плоскости расположения восходящей аорты и дуги, составляя в целом по толщине до 8–9 см и охватывая за счет этого области передней стенки левого желудочка – передней нисходящей артерии. По данным МР-ангиограмм строилась трехмерная картина расположения артерий грудной клетки друг относительно друга, в частности внутренних грудных и коронарных артерий (рис. 3).

Затем путем одновременного анализа изображений панангиографии артериальных сосудов грудной клетки и МР-томограмм грудной клетки оценивались расстояние между левосторонней ВГА и передней нисходящей коронарной артерией (см. рис. 3), а также возможности наиболее оптимального (атравматичного и анатомически близкого) эндоскопического трансторакального доступа с учетом расположения хрящевых и костных отделов III–VII ребер и соответствующих межреберных промежутков. По визуальным данным проведенного исследования планировался оптимальный по уровню и последующему анатомическому маршруту проведения эндоскопа хирургический доступ.

Предложенная техника была использована у 14 пациентов с изолированными стенозами передней нисходящей коронарной артерии, которым ввиду противопоказаний к постоянному приему антикоагулянтов было невозможно выполнить внутрисосудистое баллонирование и стентирование и вследствие этого было проведено маммарокоронарное шунтирование малоинвазивным доступом. В качестве группы сравнения были использованы результаты ранее оперированных 9 пациентов, у которых малоинвазивное

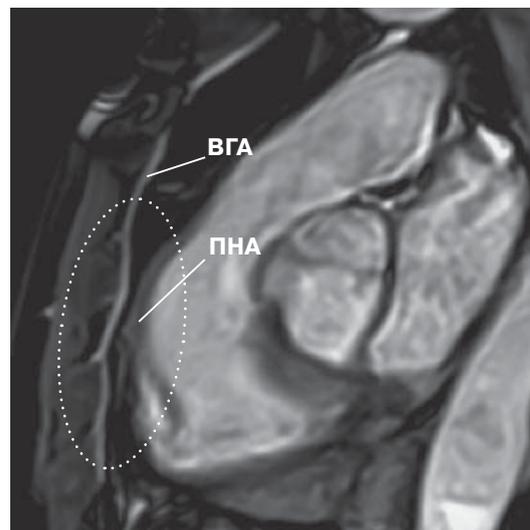


Рис. 2. Томосрез МР-ангиограммы аорты и ВГА в режиме ssfp в плоскости расположения левосторонней ВГА. Можно видеть, что на уровне четвертого межреберья ВГА наиболее близко подходит к передней поверхности сердца и постстенотическому участку передней нисходящей коронарной артерии (ПНА).

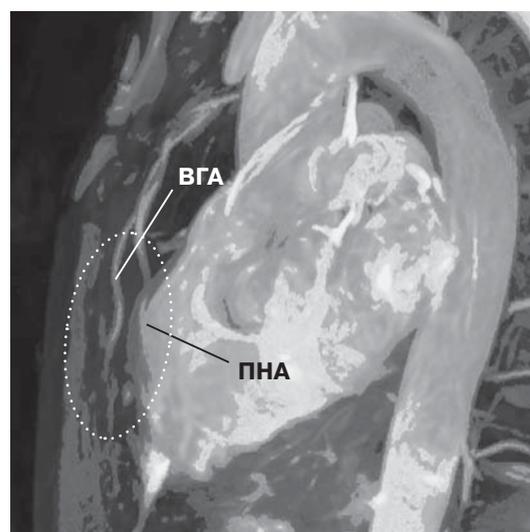


Рис. 3. Трехмерное изображение в режиме МРА ssfp камер сердца аорты и ветвей аорты по ходу передней грудной стенки и межреберий— вид в плоскости длинной оси левого желудочка в двухкамерной позиции. Наряду с изображением аорты и межреберных артерий можно видеть анатомический ход и участок наиболее близкого расположения левосторонней

маммарокоронарное шунтирование было выполнено без предварительного планирования по данным МР-панартериографии грудной полости. У всех обследованных ранее хирургических вмешательств на органах грудной клетки не выполняли, металлофрагментов и иных причин артефактов МР-изображений не было.



Результаты и их обсуждение

При анализе хода оперативных вмешательств из 14 пациентов основной группы, у которых эндоскопическое сосудистое вмешательство осуществляли с учетом предварительного трехмерного анатомического планирования по данным МРТ, ни у одного в ходе операции не возникло хирургических проблем неадекватности уровня межреберного доступа, мобилизации левой ВГА и наложения анастомоза, тогда как в группе сравнения таковые встретились у 3 из 9, в частности у двух из-за несоответствия уровня первоначального доступа в пятом межреберье ходу левосторонней ВГА потребовалось осуществлять повторный доступ межреберьем выше, а у одного вследствие кровотечения из межреберной артерии оказалось необходимым выполнение резекции V ребра.

Кроме того, при непосредственном выделении ВГА слева для осуществления анастомоза с передней нисходящей артерией протяженность участка выделения составляла оценочно 20–35 мм, в среднем 29 ± 6 мм, тогда как ранее, до использования анатомического моделирования, более 30 мм во всех случаях. Воспалительных осложнений, в частности медиастинита, мы ни в одном случае не наблюдали.

При контроле спустя год ($12,5 \pm 2,2$ мес) проходимость шунта сохранялась у всех пациентов основной группы и лишь у 7 из 9 в группе сравнения ($p < 0,05$ по критерию χ^2). Риск осложнений, связанный с анатомической вариабельностью прохождения ВГА, при МР-планировании минимизируется за счет использования в каждом случае полностью индивидуальной анатомической карты расположения артерий грудной клетки.

Необходимость тщательного планирования анатомического доступа и всего хода операции по данным визуализирующих томографических исследований в каждом случае является сегодня уже аксиомой, не подлежащей ни сомнениям, ни значимой дискуссии [8]. Однако практическая клиническая реализация такого планирования как в онкологии, так и в сосудистой хирургии сегодня пока заметно отстает по уровню практического воплощения и по-прежнему не является компьютерным моделированием, а просто ограничивается тщательным совместным анализом томографической информации хирургом и рентгенологом либо использованием данных СРКТ для биофизических численных экспериментов [9]. Представленный нами алгоритм проведения МРТ и обработки данных реализует давно сформулированный принципиальный подход [6] – необходимость как можно более широкого применения способно-

сти МРА визуализировать все сосуды обследуемой области в их анатомических особенностях и анатомотических соотношениях.

Методика выбора точки доступа при малоинвазивном шунтировании – создании анастомоза между ВГА и коронарной передней нисходящей артерией по критерию визуальной анатомической близости очевидно проста, может использоваться рентгенологами и клиницистами, детально знакомыми с томографической анатомией грудной клетки и основами МРТ, а затем самими кардиохирургами в ходе собственно оперативного лечения. Получение МР-ангиограмм и МР-томограмм грудной клетки может быть осуществлено на любых томографах с возможностью применения ЭКГ-синхронизации и многоканальными катушками для исследования грудной клетки – как высоко-, так и среднепольных, как ранее показано для исследований с парамагнитным контрастированием стенки коронарных артерий при их атеросклеротическом поражении [10].

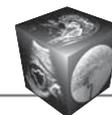
В дальнейшем логично распространить технологию планирования и выбора оптимального кардиохирургического вмешательства на основе данных МР-панангиографии сердца и грудной клетки и на случай аортокоронарного шунтирования, и для гемодинамически оптимального размещения эндovasкулярных стентов, для чего необходимо принципиально более высокое пространственное разрешение МР-коронарограмм. Однако, судя по имеющимся результатам планирования маммарокоронарных шунтов, принципиальных препятствий к этому не видно.

Заключение

Обоснованно считать, что использование МР-панартериографии грудной клетки позволяет зримо индивидуализировать и оптимально анатомически спланировать операцию малоинвазивного маммарокоронарного шунтирования, облегчает выполнение хирургического этапа и приводит к лучшим отдаленным результатам маммарокоронарного шунтирования.

Список литературы

1. Архипова И.М., Мершина Е.А., Сеницын В.Е. Роль КТ-коронарографии в диагностике ИБС на амбулаторном этапе. Поликлиника. 2013; 12 (3–1): 18–21.
2. Вечерский Ю.Ю., Затолокин В.В., Андреев С.Л. и др. Технические аспекты аутоартериального коронарного шунтирования. Сибирский медицинский журнал (Томск). 2015; 30 (2): 65–68.
3. Demikhov V.P. On methods of blood vessels connection. Trudi I Mosk. Med. Inst. 1958; 6: 36–45.
4. Колесов В.И. Хирургическое лечение коронарной болезни сердца. Л.: Медицина, 1966. 362 с.



5. Kolesov V.I. Mammary artery-coronary artery anastomosis as method of treatment for angina pectoris. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 1967; 54: 535–544.
6. Абрамова Н.Н., Беличенко О.И. Клинический аспект сочетанного применения магнитно-резонансной томографии головного мозга и магнитно-резонансной ангиографии экстра- и интракраниальных артерий. *Терапевтический архив.* 1996; 9: 26–31.
7. Беличенко О.И., Абрамова Н.Н., Шария М.А., Сергиенко И.В. Магнитно-резонансная томография и ангиография в оценке состояния почечных артерий и почек у пациентов с реноваскулярной гипертензией. *Медицинская радиология и радиационная безопасность.* 1997; 42 (2): 42–46.
8. Федоров В.Д., Кармазановский Г.Г., Цвиркун В.В. и др. Виртуальные хирургические операции на основе использования спиральной компьютерной томографии. *Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова.* 2003; 94 (2): 3–11.
9. Челнокова Н.О., Островский Н.В., Голядкина А.А. и др. Компьютерное 3Д пространственно-ориентированное моделирование гемодинамики венечных артерий при их атеросклеротическом поражении и реконструктивных вмешательствах. *Вопросы реконструктивной и пластической хирургии.* 2015; 18 (1): 64–74.
10. Бобрикова Е.Э. Контрастирование коронарных атеросклеротических поражений при МРТ-исследовании сердца. *Медицинская визуализация.* 2013; 19 (3): 21–27.
2. Vechersky Yu. Yu., Zatulokin V.V., Andreev S.L. et al. Technical aspects of autoarterial coronary bypass grafting. *Siberian Medical Journal (Tomsk).* 2015; 30 (2): 65–68. (In Russian)
3. Demikhov V.P. On methods of blood vessels connection. *Trudi I Mosk. Med. Inst.* 1958; 6: 36–45.
4. Kolesov V.I. Surgical treatment of coronary heart disease. Leningrad.: Meditsyna publ., 1966. 362 p. (In Russian).
5. Kolesov V.I. Mammary artery-coronary artery anastomosis as method of treatment for angina pectoris. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 1967; 54: 535–544.
6. Abramova N.N., Belichenko O.I. Clinical aspects of cooperative use of cerebral MRI and MR-angiography of the extra- and intracranial arteries. *Therapeutic archive.* 1996; 9: 26–31. (In Russian)
7. Belichenko O.I., Abramova N.N., Shariya M.A., Sergienko I.V. MRI and MRA in evaluation of renal arteries in patients with renovascular hypertension. *Meditsynskaya radiologiya i radiat. bezopasnost.* 1997; 42 (2): 42–46. (In Russian)
8. Fedorov V.D., Karmazanovsky G.G., Zvirkun V.V. et al. Virtual surgical operations using spiral computed tomography data. *Hirurgia. N.I.Pirogov journal.* 2003; 94 (2): 3–11. (In Russian)
9. Chelnokova N.O., Ostrovsky N.V., Golyadkina A.A. et al. Computer 3-D space simulation of coronary haemodynamics in atherosclerotic disease and after reconstructive surgery. *Voprosy rekonstruktivnoy i plasticheskoi hirurgii.* 2015; 18 (1): 64–74. (In Russian)
10. Bobrikova E.E. Contrast enhancement of coronary atherosclerotic lesions at MRI of the heart. *Meditsynskaya Vizualizatsiya* 2013; 19 (3): 21–27. (In Russian).

References

1. Arkhipova I.M., Mershina E.A., Sinitsyn V.E. Role of CT-coronarigraphy in diagnosis of coronary heart disease in out-patients. *Polyclinica.* 2013; 12 (3–1): 18–21. (In Russian)