

ВЫБОР ДИАМЕТРА МЕЖПРЕДСЕРДНОГО СООБЩЕНИЯ ДЛЯ АТРИОСЕПТОСТОМИИ ПРИ ЛЕГОЧНОЙ АРТЕРИАЛЬНОЙ ГИПЕРТЕНЗИИ

*Т.З. Аминов – [ORCID: 0000-0001-5660-029X]

врач по РЭДЛ оРХМДиЛ№1¹, ассистент кафедры РЭДЛ²

В.В. Плечев – [ORCID: 0000-0002-6716-4048]

д.м.н., профессор, академик АН РБ, зав. каф. госпитальной хирургии БГМУ^{1,2}

И.Е. Николаева – [ORCID: 0000-0002-6646-302X]

к.м.н., главный внештатный кардиолог Министерства здравоохранения РБ, главный врач¹, зав. кафедрой РЭДЛ²

Л.Х. Юлдыбаев – [ORCID: 0000-0001-7581-9967]

к.тех.н., доцент кафедры математики УГНТУ³

А.И. Давлетбаева – [ORCID: 0000-0002-4759-0672]

к.м.н., врач кардиолог оКХ№2¹

И.В. Бузаев – [ORCID: 0000-0003-0511-9345]

д.м.н., зав. оРХМДиЛ№1, профессор кафедры госпитальной хирургии²

1ГБУЗ «Республиканский Кардиологический Центр»

450106 Российская Федерация, г. Уфа, ул. Степана Кувыкина, 96

2ФГБОУ ВО «Башкирский Государственный Медицинский Университет»

450008 Российская Федерация, г. Уфа, ул. Ленина, 3

3ФГБОУ ВО «Уфимский Государственный Нефтяной Технический Университет»

450064 Российская Федерация, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

- идиопатическая легочная артериальная гипертензия
- чрескожная атриосептостомия
- фенестрированный окклюдер
- диаметр межпредсердного сообщения

АННОТАЦИЯ:

Введение: легочная артериальная гипертензия (ЛАГ) - патофизиологический синдром, который может встречаться при разнообразных клинических состояниях. Чрескожная баллонная дилатация и имплантация стента являются методами для создания или расширения межпредсердной коммуникации в различных условиях с целью улучшения сердечного выброса. Следует учитывать, что создание неадекватного размера шунта, приводит к избыточному объему право-левого сброса, ухудшению легочного кровотока, тяжелой гипоксемии и острой левожелудочковой недостаточности. Возможность расчетного определения необходимого размера шунта в межпредсердную перегородку повысит эффективность и безопасность атриосептостомии, что особенно важно у данной тяжелой категории пациентов.

Цель: обосновать способ определения оптимального диаметра межпредсердного сообщения при операции атриосептостомии у пациентов с ЛАГ для повышения толерантности к физическим нагрузкам, предупреждения синкопальных состояний и уменьшения риска внезапной смерти.

Материалы и методы: выбор диаметра межпредсердного сообщения при операции атриосептостомии у пациентов с ЛАГ осуществляется следующим образом: перед операцией больному проводят инвазивное измерение давления в правом и левом предсердиях, определяют ударный объем левого желудочка. После чего вычисляют диаметр межпредсердного сообщения по формуле. Нами выполнен расчет по представленной формуле 4 пациентам с ЛАГ.

Двум пациентам выполнена установка фенестрированного окклюдера, одному - стентирование межпредсердного сообщения, другому пациенту выполнена открытая атриосептостомия.

Результаты: у всех пациентов после атриосептостомии наблюдалось улучшение качества жизни: уменьшение одышки, повышение толерантности к физическим нагрузкам, уменьшение отеков нижних конечностей, отсутствие синкопальных состояний.

Таким образом, после операции отмечалась положительная динамика клинического статуса пациентов, показателей теста с шестиминутной ходьбой, а также изменения эхокардиографических показателей: сокращение размеров правого желудочка и площади правого предсердия, увеличение конечно-диастолического размера левого желудочка, что свидетельствует об улучшении функции обоих желудочков.

Выводы: математическая модель, основанная на принципах внутрисердечной гемодинамики, свидетельствует о важности выбора размера отверстия для создания определенного Qp/Qs. Размер отверстия, в зависимости от давлений в предсердиях, в условиях высокой легочной гипертензии имеет небольшой разброс значений (от 6 до 8 мм). Поэтому использование, полученного ранее эмпирически другими авторами, размера 7 мм обосновано физически. Наш первый опыт свидетельствует о применимости разработанной модели, но в связи с небольшим количеством наблюдений, связанным с редкостью патологии, требует дальнейшего исследования.

Для цитирования. Аминов Т.З., Плечев В.В., Николаева И.Е., Юлдыбаев Л.Х., Давлетбаева А.И., Бузаев И.В., «ВЫБОР ДИАМЕТРА МЕЖПРЕДСЕРДНОГО СООБЩЕНИЯ ДЛЯ АТРИОСЕПТОСТОМИИ ПРИ ЛЕГОЧНОЙ АРТЕРИАЛЬНОЙ ГИПЕРТЕНЗИИ» Ж. ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ И ИНТЕРВЕНЦИОННАЯ РАДИОЛОГИЯ. 2021;15(2): 19–27.

*Адрес для корреспонденции (Correspondence to): Аминов Тагир Закариевич (Aminov Tagir Z.), e-mail: tag-aminov@yandex.ru

THE CHOICE OF THE INTERATRIAL COMMUNICATION DIAMETER FOR ATRIOSEPTOSTOMY IN PULMONARY ARTERIAL HYPERTENSION

***Aminov T.Z.** – [ORCID: 0000-0001-5660-029X]
MD^{1,2}
Plechev V.V. – [ORCID: 0000-0002-6716-4048]
MD, PhD, professor, academician of AS RB²
Nikolaeva I.E. – [ORCID: 0000-0002-6646-302X]
MD, PhD^{1,2}
Yuldybaev L.H. – [ORCID: 0000-0001-7581-9967]
MD, PhD³
Davletbaeva A.I. – [ORCID: 0000-0002-4759-0672]
MD, PhD¹
Buzayev I.V. – [ORCID: 0000-0003-0511-9345]
MD, PhD, professor^{1,2}

¹Republican Cardiology Center
96, Stepana Kur'ykina str., Ufa, Republic of Bashkortostan, Russian Federation, 450106
²Bashkir State Medical University
3, Lenina str., Ufa, Republic of Bashkortostan, Russian Federation, 450008
³Ufa State Petroleum Technological University
1, Cosmonavtov str., Ufa, Republic of Bashkortostan, Russian Federation, 450064

KEY-WORDS:

- idiopathic pulmonary arterial hypertension
- percutaneous atrioseptostomy
- fenestrated occluder
- diameter of the atrial septal communication

ABSTRACT:

Introduction: pulmonary arterial hypertension (PAH) is a pathophysiological syndrome that can occur in a variety of clinical conditions. Percutaneous balloon dilatation and stent implantation are methods for creating or expanding atrial communication in a variety of conditions to improve cardiac output. It should be kept in mind that creation of an inadequate size of the shunt leads to an excess of right-left shunt, worsening of pulmonary blood flow, severe hypoxemia, and acute left ventricular failure. Possibility of a calculated determination of required size of shunt in the interatrial septum will increase the effectiveness and safety of atrioseptostomy, which is especially important in this severe category of patients.

Aim: to substantiate a method of determining of optimal diameter of the atrial communication during atrioseptostomy in patients with PAH for increase of exercise tolerance, prevention of syncope and reducing the risk of sudden death.

Materials and methods: the choice of the diameter of the interatrial communication during atrioseptostomy operation in patients with PAH is as follows: before the operation, patient undergoes an invasive measurement of pressure in right and left atrium and determination of stroke volume of left ventricle. Then calculation the diameter of the interatrial communication according to the formula is performed. We performed calculation according to presented formula in 4 patients with PAH. In 2 patients, a fenestrated occluder was implanted, in 1 patient atrial septum stenting was performed, and 1 patient underwent open atrioseptostomy.

Results: in all patients after atrioseptostomy, an improvement in quality of life was observed: decreased dyspnea, increased exercise tolerance, decreased edema of lower limbs, and the absence of syncopal conditions. Thus, after the operation, there was a positive dynamics in clinical status of patients, indicators of test with a six-minute walk, as well as changes in echocardiographic indicators: a decrease in the size of the right ventricle and square area of right atrium, an increase in the end-diastolic size of the left ventricle, which indicates an improvement in function of both ventricles.

Conclusion: a mathematical model based on principles of intracardiac hemodynamics, demonstrates the importance of choosing of size of foramen to create a certain Qp/Qs. Size of foramen, depending on the pressure in atrium, in conditions of high pulmonary hypertension has a small range of values (from 6 to 8 mm). Therefore, the use of the 7 mm size, previously obtained empirically by other authors, is physically justified. Our first experience testifies to applicability of the developed model, but due to the small number of observations associated with the rarity of the pathology, it requires further research.

Введение

Легочная артериальная гипертензия (ЛАГ) - патофизиологический синдром, который может встречаться при разнообразных клинических состояниях, а также осложнять течение многих сердечно-сосудистых заболеваний. ЛАГ определяется при выявлении повышения среднего давления в легочной артерии (ср. ДЛА) >25 мм рт. ст. в покое по данным катетеризации правых камер сердца, давления заклинивания в легочной артерии ≤15 мм рт. ст. и легочного сосудистого сопро-

тивления >3 ед. Вуда, при отсутствии других причин прекапиллярной легочной гипертензии, таких как патология легких, хроническая тромбоэмболическая легочная гипертензия и др.

Несмотря на развитие специфической терапии ЛАГ, заболевание часто имеет злокачественное, рефрактерное к медикаментозной терапии течение, приводящее к правожелудочковой сердечной недостаточности и смерти [1].

Согласно Европейским рекомендациям по диагностике и лечению легочной гипертензии от 2015 г., у пациентов с неудовлетворительным ответом на оптимальную медикаментозную терапию ЛАГ может обсуждаться баллонная атриосептостомия (АСС).

Баллонная дилатация нацелена на создание «предохранительного клапана» для разгрузки правых отделов сердца, увеличения преднагрузки и ударного объема левого желудочка, улучшения коронарной и периферической перфузии, что, в свою очередь, приводит к повышению толерантности к физическим нагрузкам, предупреждению синкопальных состояний и уменьшению риска внезапной смерти [2]. Увеличение системного желудочкового выброса путем создания правостороннего шунтирования крови через предсердную фенестрацию может улучшить эффективный системный транспорт и доставку кислорода, несмотря на артериальную десатурацию [1].

Создание устойчивых ограниченных межпредсердных сообщений является сложной задачей, поскольку при баллонной предсердной септостомии достаточно велика частота спонтанного закрытия сообщений, что требует повторного проведения процедуры. Чрескожная имплантация стента и баллонная дилатация являются хорошо зарекомендовавшими себя методами для создания или расширения межпредсердной коммуникации в различных условиях с целью улучшения сердечного выброса [3,4].

Первая баллонная дилатация межпредсердной перегородки (МПП) в СССР была выполнена профессором Алеканом Б.Г. в НЦССХ им. А.Н. Бакулева в 2003 г., а стентирование межпредсердного сообщения у пациентов с идиопатической ЛАГ (иЛАГ) – в 2007 г. [5,6].

В 2008 г. представлен отечественный опыт проведения баллонной дилатации межпредсердного сообщения [6]. В НЦССХ им. А.Н. Бакулева стентирование межпредсердной перегородки выполнено у 50 пациентов с иЛАГ в возрасте от 5 лет до 51 года (в среднем $24,1 \pm 8,9$ года).

Стентирование межпредсердной перегородки выполнено 49 пациентам по двум методикам: прямое стентирование 16 (32%) и по типу «песочных часов» – 33 (66%) больным. В 98% случаев удалось удачно выполнить вмешательство и создать межпредсердное сообщение диаметром от 5,0 до 8,0 мм. В отдаленном периоде через 6 мес. – 7 лет ($31,3 \pm 14,2$ мес.) были обследованы 45 (90%) из 49 пациентов. Улучшение клинического состояния пациентов и качества их жизни наблюдалось в большинстве случаев: 30 (66,6%) пациентов относились к I и II функциональному классу [7].

Пардаев Д.Б. и Алекан Б.Г. [8] сообщают о выполнении атриосептостомии со стентированием межпредсердной перегородки 63 пациентам с иЛАГ в НИИЦ ССХ им. А.Н. Бакулева.

Weimar T. и соавт. [9] в 2013 г. опубликовали экспериментальную работу на 9 собаках, в которой показали,

что предсердная септостомия является наиболее полезной при тяжелой ЛАГ, когда она дает шунтирующую фракцию приблизительно от 10 до 15% сердечного выброса.

При тяжелой ЛАГ объем веноартериального шунта должен быть около 11% от сердечного индекса, что приводит к оптимальному балансу между приростом сердечного выброса и снижением оксигенации крови и ассоциирован со значительным улучшением системной доставки кислорода к тканям.

В 2015 г. Sandoval J. и соавт. [10] опубликовали статью, где рассматривают мировой опыт проведения АСС у пациентов с ЛАГ. В обзоре представлены 24 работы по различным методам АСС (баллонная дилатация межпредсердной перегородки, ножевая АСС, процедура Парка). Всего рассмотрены результаты АСС у 352 пациентов с ЛАГ и 20 описаний клинических случаев. Диаметр создаваемого шунта МПП варьируется от 8 до 18 мм, со средним значением 11 мм. Авторы пришли к выводу, что достоверно оценить безопасность и эффективность АСС сложно в силу недостаточного мирового опыта, а также относительного успеха специфической консервативной терапии в последние годы.

В 2007 году Lammers A. и соавт. [11] опубликовали результаты имплантации фенестрированных окклюдеров «Atrial septal occluder» 10 пациентам с идиопатической ЛАГ, при этом 6 из них были модифицированы фабрично, 4 – изготовлены интраоперационно. В отдаленном периоде (в среднем через 26 мес.) были обследованы 9 пациентов. В 5 случаях сброс через межпредсердное сообщение сохранялся, в 4 случаях устройства были окклюзированы (1 фабричное и 3 изготовленных интраоперационно), несмотря на терапию варфарином или аспирином.

Шмальц А.А. и Нишонов Н.А. в проведенном обзоре мировой литературы описывают методику ступенчатой атриосептостомии баллонами возрастающего диаметра (4, 8, 12 и 16 мм) под гемодинамическим контролем давления в правом и левом предсердии, конечно диастолического давления в левом желудочке, сатурации артериальной крови после каждого из этапов. Рекомендаций по должному размеру межпредсердного сообщения в зависимости от дооперационных клиническо-гемодинамических показателей в настоящее время не существует [12].

Chiu J.S. и соавт. [13] в 2015 году опубликовали свои базы данных, включающие баллонную атриосептостомию у 32 больных, в период с 2002 г. по 2013 г. Методика процедуры не описана.

Hirsch R. и соавт. [14] описывают клиническое наблюдение хирургического лечения дефекта межпредсердной перегородки с неполным его закрытием у ребенка 5,5 лет с легочной гипертензией и большим дефектом межпредсердной перегородки. Размер дефекта и диаметр остаточного отверстия не сообщаются.

Kurzyna M. и соавт. [15] описывают четырнадцать процедур баллонной атриосептостомии у 11 пациентов с легочной гипертензией и правожелудочковой недостаточностью (5 мужчин и 6 женщин; возраст 33 ± 12 лет), которые были невосприимчивы к специфической терапии ЛАГ. Баллонная АСС состояла из пункции МПП и последующей дилатации баллонами с увеличивающимся диаметром пошаговым способом. Диаметр заключительного баллона не представлен.

Patel M.B. и соавт. [16] в 2015 году описывают клиническое наблюдение имплантации AFR устройства в МПП пациентке 54 лет с ЛАГ, у которой ранее дефект МПП был закрыт окклюдером. Диаметр фенестрации в AFR составил 6 мм, который был растянут баллоном 8 мм. Критерии выбора диаметра устройства также не описываются.

Karoor A. и соавт. [17] в 2012 году описывают клиническое наблюдение эндоваскулярной АСС баллонным катетером Inoue Balloon у пациента с ЛАГ с ранее проведенной пластикой врожденного дефекта МПП перикардиальной заплатой. Размер баллона составил 24 мм. Условия выбора диаметра устройства также не описаны.

Rajeshkumar R. и соавт. [18] в 2017 году сообщают о 12 случаях имплантации AFR устройства с заданным диаметром без указания критериев выбора диаметра устройства.

Baglini R. и соавт. [19] описали клиническое наблюдение проведения процедуры баллонной АСС пациенту 35 лет с терминальной легочной гипертензией с помощью баллона диаметром 10 мм, после чего у пациента возникла глубокая системная десатурация крови (от 89% до 75%), устойчивая к масочной кислородной терапии. Исходя из предположения, о чрезмерности объема шунтирования, была назначена новая процедура для уменьшения размера межпредсердного сообщения. Проведена имплантация модифицированного окклюдера с размером отверстия 5 мм в МПП. Системное насыщение крови кислородом увеличилось с 75% до 84%.

Представленные в обзоре авторы не раскрывают методу выбора необходимого диаметра шунта в МПП при выполнении АСС у пациентов с ЛАГ.

Баланс между системной десатурацией крови и увеличением сердечного выброса обычно приводит к лучшей перфузии тканей с последующим клиническим улучшением. Однако следует учитывать, что создание неадекватного размера шунта, приводит к избыточному объему право-левого сброса, ухудшению легочного кровотока, тяжелой гипоксемии и острой правожелудочковой недостаточности [2].

Таким образом, остается открытым вопрос о необходимом диаметре создаваемого межпредсердного сообщения. Точное определение объема сброса во время вмешательства невозможно и, следовательно, многие ориентируются на вес и возраст пациентов [20].

Следовательно, возможность расчетного определения необходимого размера шунта в МПП повысит эффективность и безопасность АСС, что особенно важно у данной тяжелой категории пациентов.

Цель исследования: Обосновать способ определения оптимального диаметра межпредсердного сообщения при операции атриосептостомии у пациентов с ЛАГ, для повышения толерантности к физическим нагрузкам, предупреждения синкопальных состояний и уменьшения риска внезапной смерти.

Материалы и методы

Выбор диаметра межпредсердного сообщения при операции АСС у пациентов с ЛАГ осуществляется следующим образом: перед операцией больному проводят инвазивное измерение давления в правом и левом предсердиях, определяют ударный объем левого желудочка. После чего вычисляют диаметр межпредсердного сообщения по формуле:

$$D = 1000 * \sqrt{\frac{4 * SV * 10^{-6} * (1 - Qp/Qs) \sqrt{1050}}{\mu * 3,14 * \sqrt{2 * 133,322(RAP - LAP)}}$$

где: D – диаметр межпредсердного сообщения, мм; Qp/Qs – отношение легочного кровотока к системному, равное 0,9; μ – математическая константа для ламинарного течения жидкости, равная 0,1; SV – ударный объем, мл; RAP – давление в правом предсердии, мм рт. ст.; LAP – давление в левом предсердии, мм рт. ст.

Предлагаемая формула была получена на основе гидравлической формулы для истечения жидкости через малые отверстия. При этом расчетные зависимости обычно относятся к малому отверстию в тонкой стенке. Малым считается такое отверстие, диаметр или вертикальный размер которого менее 0,1 напора H перед отверстием, что позволяет считать давление во всех точках этого отверстия одинаковым. Тонкой считается стенка, толщина которой не превышает $3d$ [21]. В сжатом сечении скорость истечения из отверстия без учета скорости подхода жидкости к отверстию будет равна:

$$v = \frac{\sqrt{2gH}}{\sqrt{1 + \zeta}} = \varphi \sqrt{2gH}$$

где: g – ускорение свободного падения, равное $9,8 \text{ м/с}^2$; H – напор жидкости; ζ – коэффициент местного сопротивления при истечении; φ – коэффициент скорости.

Расход через отверстия:

$$Q = \epsilon \varphi S \sqrt{2gh} = \mu S \sqrt{2gh}$$

где: Q – расход через отверстия; S – площадь сечения отверстия; μ – коэффициент расхода, определяемый опытным путем.

В итоге, получаем расход:

$$Q = \mu S \sqrt{\frac{2P}{\rho}} = \mu S \sqrt{\frac{2}{\rho} P}$$

$$Q = \mu * \frac{\pi * D^2}{4} * \sqrt{\frac{2 \Delta P}{\rho}}$$

где: ΔP – расчетная разность давлений, под действием которой происходит истечение; π – математическая константа, равная 3,14.

Из этого уравнения выводим:

$$SV \cdot \left(1 - \frac{Q_p}{Q_s}\right) = \mu \cdot \pi \cdot D^2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \sqrt{\frac{2(RAP - LAP)}{\rho}}$$

где: SV - ударный объем левого желудочка в литрах; Q_p/Q_s - отношение легочного кровотока к системному, равное 0,9; RAP - давление в правом предсердии; LAP - давление в левом предсердии; ρ - плотность крови человека, равная 1050 мг/см³.

$$70 \cdot 10^{-6} \cdot (1 - 0,9) = \mu \cdot 3,14 \cdot D^2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 133,322(RAP - LAP)}{1050}}$$

$$D^2 = \frac{4 \cdot 70 \cdot 10^{-6} \cdot (1 - 0,9) \sqrt{1050}}{\mu \cdot 3,14 \cdot \sqrt{2 \cdot 133,322(RAP - LAP)}}$$

$$D = 1000 \cdot \sqrt{\frac{4 \cdot SV \cdot 10^{-6} \cdot (1 - Q_p/Q_s) \sqrt{1050}}{\mu \cdot 3,14 \cdot \sqrt{2 \cdot 133,322(RAP - LAP)}}$$

где: μ - математическая константа для ламинарного течения жидкости, равная 0,1.

Прикидочный расчет режима истечения:

число Рейнольдса для примерных значений величин плотности крови, характерных значений скорости, диаметра и динамической вязкости крови, что соответствует ламинарному режиму истечения, то есть можно принять $\mu=0,1$.

$$\rho = 1050 \text{ кг/м}^3; \nu = \frac{4\Delta Q}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 7 \cdot 10^{-6}}{3,14 \cdot 0,007^2} \cdot 0,18 \text{ м/с}; d = 0,007 \text{ м}; \gamma = 0,004 \text{ кг/(м} \cdot \text{с)}$$

$$Re = \frac{\rho v d}{\gamma} = \frac{1050 \cdot 0,18 \cdot 0,007}{0,004} \approx 330 < 2100$$

Исходя из представленной формулы мы можем выявить прямую зависимость необходимого диаметра отверстия в МПП от разницы давлений в правом и левом предсердиях на **диаграмме 1**.

По данным **диаграммы 1** выявлено, что чем больше разница давления в правом и левом предсердиях, тем меньше диаметр отверстия в МПП. Но в пределах разницы давлений более 3 мм рт. ст. разница диаметров не столь драматична (при разнице давлений 15 мм рт. ст. минимальный диаметр составляет 6-7 мм, при разнице давлений 5 мм рт. ст. - 8 мм, разница давлений менее 5 мм рт. ст. при идиопатической ЛАГ маловероятна). Это объясняет «магическое число» 7-8 мм при выборе диаметра межпредсердного сообщения, которое отмечено как наиболее оптимальное на практике у ряда других авторов [6,7,10,16,19].

При имплантации устройств в МПП с заданным

диаметром отверстия, необходимо создание право-левого сброса с соотношением легочного кровотока к системному равным 0,9 ($Q_p/Q_s = 0,9$). При таких условиях, по разнице давления в правом и левом предсердиях рассчитывается диаметр отверстия в имплантируемом устройстве, при том, что при достижении разницы давления в предсердиях 7,5 мм рт. ст. диаметр отверстия уменьшается незначительно.

Также представляется закономерным зависимость соотношения легочного кровотока к системному (Q_p/Q_s) к диаметру отверстия в МПП (**диагр. 2**).

По данным **диаграммы 2** выявлено, что чем больше диаметр отверстия в МПП, тем меньше соотношение легочного кровотока к системному. При оптимальном Q_p/Q_s 0,85-0,90 для пациентов с легочной гипертензией диаметр отверстия в МПП соответствует 8,5 мм.

При имплантации устройств в МПП с заданным диаметром отверстия, необходимо создание право-левого сброса с соотношением легочного кровотока к системному равным 0,85-0,90 ($Q_p/Q_s = 0,9$).

Клиническое наблюдение

Пациент А., 21 год, поступил в кардиологическое отделение с жалобами на одышку при минимальных физических усилиях, отеки нижних конечностей, пресинкопальные состояния. Из анамнеза известно, что с подросткового возраста отмечает снижение толерантности к физическим нагрузкам, одышку.

Диагноз идиопатическая ЛАГ верифицирован в экспертном центре в 18-летнем возрасте. Пациент находился на трехкомпонентной ЛАГ специфической терапии: силденафил 60 мг/сут., бозентан 250 мг/сут., ингаляционный илопрост 5 мкг 6 раз в сутки. Несмотря на проводимое лечение, отмечал прогрессирующее ухудшение состояния в виде нарастания одышки, усиления отеков нижних конечностей и появления пресинкопальных состояний.

Клинический диагноз: Идиопатическая легочная гипертензия 4-го функционального класса по классификации ВОЗ. Относительная недостаточность трикуспидального клапана 3 степени. Учитывая тяжесть состояния больного, недостаточный ответ на

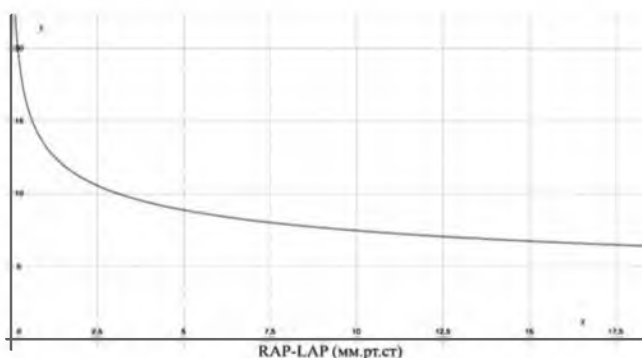


Диаграмма 1. RAP - среднее давление в правом предсердии; LAP - среднее давление в левом предсердии.

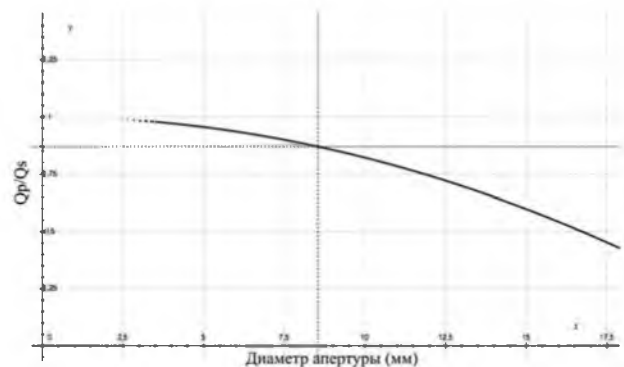


Диаграмма 2. Q_p/Q_s - соотношение легочного кровотока к системному кровотоку.

комбинированную терапию, включающую простаноиды, было принято решение о проведении чрескожной АСС для декомпрессии правого желудочка и улучшения наполнения левого желудочка.

Перед оперативным вмешательством ему выполнена эхокардиография и катетеризация камер сердца с инвазивным измерением давления в правом и левом предсердиях.

По данным эхокардиографии (ЭхоКГ): КДР левого желудочка 3,9 см, левое предсердие 3,7 см, правый желудочек 4,7 см, толщина стенки правого желудочка 0,7 см, правое предсердие 8,5×6,4 см, площадь правого предсердия 59 см², ФВ ЛЖ 70%, ФВ ПЖ 40% по Sim., трикуспидальная регургитация 3 степени, систолическое давление в легочной артерии 80 мм рт. ст., диастолическое - 40 мм рт. ст. Ударный объем левого желудочка составил 70 мл.

По данным катетеризации сердца давление в правом предсердии 18 мм рт. ст., давление в левом предсердии 7 мм рт. ст. Для расчета необходимого диаметра межпредсердного сообщения полученные данные подставляем в уравнение:

$$D = 1000 * \sqrt{\frac{4 * SV * 10^{-6} * (1 - Qp/Qs) \sqrt{1050}}{\mu * 3,14 * \sqrt{2 * 133,322(RAP - LAP)}}}$$

$$D = 1000 * \sqrt{4 * 70 * 10^{-6} * (1 - 0,9) \sqrt{1050} / 0,1 * 3,14 * \sqrt{2 * 133,322(18 - 7)}} = 7,3 \text{ мм}$$

Под контролем рентгеноскопии и чреспищеводной ЭхоКГ пациенту выполнена баллонная АСС с имплантацией интраоперационно модифицированного (пинцетом извлекли тромбогенную ткань) фенестрированного окклюдера диаметром 7 мм.

ЭхоКГ после АСС: КДР левого желудочка 4,2 см, левое предсердие 3,9 см, правый желудочек 4,4 см, правое предсердие 8,1×6,3 см, площадь правого предсердия 55 см², ФВ ЛЖ 70%, ФВ ПЖ 46% по Sim., трикуспидальная регургитация 3 степени, систолическое давление в легочной артерии 77 мм рт. ст., диастолическое 37 мм рт. ст. В средней трети МПП наблюдается поток перекрестного сброса диаметром 0,3-0,4 см.

В послеоперационном периоде пациент отметил уменьшение одышки, повышение толерантности к физической нагрузке, уменьшение отеков нижних конечностей, отсутствие пресинкопальных состояний. Таким образом после операции отмечалась положительная динамика клинического статуса пациента, а также улучшение эхокардиографических параметров (сокращение размеров правого желудочка с 4,7 до 4,4 см, площади правого предсердия с 59 до 55 см², увеличение КДР левого желудочка с 3,9 до 4,2 см), что свидетельствует об улучшении функции обоих желудочков.

Нами выполнен расчет по представленной формуле 4-м пациентам с ЛАГ.

Двум пациентам выполнена установка фенестрированного окклюдера. Одному пациенту - стентирование межпредсердного сообщения, другому

пациенту выполнена открытая атриосептостомия. Через год после операции по данным контрольной ЭхоКГ у пациентов не выявлено признаков закрытия межпредсердного сообщения, а также сохранялось право-левое направление потока с соотношением легочного кровотока к системному: у трех пациентов Qp/Qs равным 0,9; у одного больного - 0,85.

Результаты

На сегодняшний день существует несколько способов создания межпредсердного сообщения: баллонная дилатация, процедура Парка, баллонная ножевая атриосептостомия и стентирование межпредсердной перегородки, имплантация фенестрированных окклюдеров [7].

Недостатками данных методов является то, что диаметр создаваемого межпредсердного сообщения определяется произвольно, при этом недостаточное создание объема право-левого сброса приводит к недостаточному приросту сердечного выброса левого желудочка, а избыточное - приводит к критическому снижению оксигенации крови и соответственно значительному ухудшению доставки кислорода к тканям.

При планировании операции АСС у пациентов с тяжелой ЛАГ проводилось инвазивное измерение давления в правом и левом предсердиях, инвазивно рассчитывался ударный объем левого желудочка и по представленной формуле вычислялся диаметр шунта в МПП для того, чтобы соотношение легочного кровотока к системному равнялось 0,9. Такая величина право-левого сброса крови обеспечивает декомпрессию правых отделов сердца и увеличивает преднагрузку левых, не вызывая при этом выраженной гипоксемии. То есть, приводит к оптимальному балансу между приростом сердечного выброса и снижением оксигенации крови и обеспечивает максимальную доставку кислорода к тканям. При этом создаются наилучшие результаты для клинического состояния пациента.

У всех пациентов после атриосептостомии наблюдалось улучшение качества жизни: уменьшение одышки, повышение толерантности к физическим нагрузкам, уменьшение отеков нижних конечностей, отсутствие синкопальных состояний.

Контрольное эхокардиографическое исследование, спустя год после операции, продемонстрировало у всех пациентов сохранное межпредсердное сообщение с соотношением легочного кровотока к системному от 0,85 до 0,9.

Таким образом после операции отмечалась положительная динамика клинического статуса пациентов, показателей теста с шестиминутной ходьбой, а также изменения эхокардиографических исследований: сокращение размеров правого желудочка и площади правого предсердия, увеличение КДР левого желудочка, что свидетельствует об улучшении функции обоих желудочков.

Следовательно, представленная формула может использоваться при расчете оптимального диаметра шунта в межпредсердной перегородке при проведении атриосептостомии, или диаметра отверстия в имплантируемых устройствах (фенестрированный окклюдер, стент) у пациентов с ЛАГ.

Выводы

Математическая модель, основанная на физике жидкости, свидетельствует о важности выбора размера

отверстия для создания определенного Qp/Qs. Размер отверстия в зависимости от давлений в предсердиях в условиях высокой легочной гипертензии имеет небольшой разброс значений (от 6 до 8 мм). Поэтому использование, ранее полученного эмпирически другими авторами, размера 7 мм обосновано физически.

Наш первый опыт свидетельствует об применимости разработанной модели, но в связи с небольшим количеством наблюдений, связанным с редкостью патологии, требует дальнейшего исследования. ■

Список литературы

- Micheletti A., Hislop A.A., Lammers A., et al. Role of atrial septostomy in the treatment of children with pulmonary arterial hypertension. *Heart*. 2006; 92: 969-72. <http://doi.org/10.1136/hrt.2005.077669>
- Baglini R., Scardulla C. Reduction of a previous atrial septostomy in a patient with end-stage pulmonary hypertension by a manually fenestrated device. *Cardiovasc Revasc Med*. 2010; 11(4). <http://doi.org/10.1016/j.carrev.2009.11.005>
- Stümper O., Gewillig M., Vettukattil J., et al. Modified technique of stent fenestration of the atrial septum. *Heart*. 2003; 89: 1227-30. <http://doi.org/10.1136/heart.89.10.1227>
- Sivaprakasam M., Kiesewetter C., Veldtman G.R., et al. New technique for fenestration of the interatrial septum. *J Interv Cardiol*. 2006; 19: 334-6.
- Алекян Б.Г., Пурсанов М.Г. Стентирование межпредсердной перегородки. *Руководство по рентгеновско-допplerографической хирургии сердца и сосудов*. 2008; 2: 57-65.
- Горбачевский С.В., Белкина М.В., Пурсанов М.Г. и др. Септостомия как длинный мост к трансплантации легкого у пациентов с идиопатической легочной артериальной гипертензией. *Сердечно-сосудистая хирургия*. 2012; 53 (2):11.
- Алекян Б.Г., Горбачевский С.В., Пурсанов М.Г., и др. Стентирование межпредсердной перегородки при идиопатической легочной гипертензии. *Грудная и сердечно-сосудистая хирургия*. 2016; 58(5): 258-314.
- Пардаев Д.Б., Алекян Б.Г., Горбачевский С.В. и др. Атриосептостомия со стентированием предсердной перегородки у пациентов с идиопатической легочной гипертензией. *НМИЦ ССХ им. А.Н. Бакулева*. 2017.
- Weimar T., Watanabe Y., Kazui T., et al. Impact of differential right-to-left shunting on systemic perfusion in pulmonary arterial hypertension. *Cathet. Cardiovasc. Interv*. 2013; 81(5): 888-95. <http://doi.org/10.1002/ccd.24458>
- Sandoval J., Arroyo J.G., Gaspar J., et al. Interventional and surgical therapeutic strategies for pulmonary arterial hypertension: Beyond palliative treatments. *J. Cardiol*. 2015; 66: 304-4. <http://doi.org/10.1016/j.jcc.2015.02.001>
- Lammers A.E., Derrick G., Haworth S.G., et al. Efficacy and long-term patency of fenestrated Amplatzer devices in children. *Cathet. Cardiovasc. Interv*. 2007; 70 (4): 578-84. <http://doi.org/10.1002/ccd.21216>
- Шмальц А.А., Нишионов Н.А. Атриосептостомия у больных с легочной гипертензией. *Грудная и сердечно-сосудистая хирургия*. 2015; 57(5): 18-25.
- Chiu J.S., Zuckerman W.A., Turner M.E., et al. Balloon atrial septostomy in pulmonary arterial hypertension: effect on survival and associated outcomes. *J Heart Lung Transplant*. 2015; 34(3): 376-380. <http://doi.org/10.1016/j.healun.2015.01.004>
- Hirsch R., Bagby M.C., Zussman M.E., Fenestrated ASD closure in a child with idiopathic pulmonary hypertension and exercise desaturation. *Congenit Heart Dis*. 2011; 6(2): 162-166. <http://doi.org/10.1111/j.1747-0803.2010.00472.x>
- Kurzyna M., Dabrowski M., Bielecki D., et al. Atrial septostomy in treatment of end-stage right heart failure in patients with pulmonary hypertension. *Chest*. 2007; 131(4): 977-983. <http://doi.org/10.1378/chest.06-1227>
- Patel M.B., Samuel B.P., Girgis R.E., et al. Implantable atrial flow regulator for severe, irreversible pulmonary arterial hypertension. *EuroIntervention*. 2015; 11(6): 706-709. http://doi.org/10.4244/EIJY15M07_08
- Kapoor A., Khanna R., Batra A., et al. Inoue balloon atrial septostomy in severe persistent pulmonary hypertension following surgical ASD closure. *J Cardiol Cases*. 2012; 6(1): 1-3. <http://doi.org/10.1016/j.jccase.2012.02.002>
- Rajeshkumar R., Pavithran S., Sivakumar K., et al. Atrial septostomy with a predefined diameter using a novel occlutech atrial flow regulator improves symptoms and cardiac index in patients with severe pulmonary arterial

hypertension. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2017; 90(7): 1145–1153.

<http://doi.org/10.1002/ccd.27233>

19. Baglini R., Scardulla C. Reduction of a previous atrial septostomy in a patient with end-stage pulmonary hypertension by a manually fenestrated device. *Cardiovasc Revasc Med.* 2010; 11(4).

<http://doi.org/10.1016/j.carrev.2009.11.005>

Referenses

1. Micheletti A, Hislop AA, Lammers A, et al. Role of atrial septostomy in the treatment of children with pulmonary arterial hypertension. *Heart.* 2006; 92: 969-72.

<http://doi.org/10.1136/hrt.2005.077669>

2. Baglini R, Scardulla C., Reduction of a previous atrial septostomy in a patient with end-stage pulmonary hypertension by a manually fenestrated device. *Cardiovasc Revasc Med.* 2010; 11(4).

<http://doi.org/10.1016/j.carrev.2009.11.005>

3. Stümper O, Gewillig M, Vettukattil J, et al. Modified technique of stent fenestration of the atrial septum. *Heart.* 2003; 89: 1227-30.

<http://doi.org/10.1136/heart.89.10.1227>

4. Sivaprakasam M, Kiesewetter C, Veldtman GR, et al. New technique for fenestration of the interatrial septum. *J Interv Cardiol.* 2006; 19: 334-6.

5. Alekyan BG, Pursanov MG. Atrial septal stenting. Textbook of endovascular surgery for cardiovascular diseases. *AN Bakulev National Medical Research Center of Cardiovascular Surgery.* 2008; 2: 57–65 [In Russ].

6. Gorbachevsky SV, Belkina MV, Pursanov MG, et al. Atrial septostomy as a long bridge to lung transplantation in patients with idiopathic pulmonary arterial hypertension. *J. Cardiovasc. Surg.* 2012; 53(2): 11 [In Russ].

7. Alekyan BG, Gorbachevskiy SV, Pursanov MG, et al. Atrial septal stenting with idiopathic pulmonary hypertension. A.N. Bakulev National Medical Research Center of Cardiovascular Surgery. *Thoracic and Cardiovascular Surgery.* 2016; 58(5): 258-314 [In Russ].

8. Pardaev DB, Alekyan BG, Gorbachevskiy SV, et al. Atrioseptostomy with atrial septum stenting in patients with idiopathic pulmonary hypertension. A.N. Bakulev National Medical Research Center of Cardiovascular Surgery. 2017 [In Russ].

9. Weimar T, Watanabe Y, Kazui T, et al. Impact of differential right-to-left shunting on systemic perfusion in pulmonary arterial hypertension. *Cathet. Cardiovasc. Interv.* 2013; 81(5): 888–95.

<http://doi.org/10.1002/ccd.24458>

10. Sandoval J, Arroyo JG, Gaspar J, et al. Interventional and surgical therapeutic strategies for pulmonary arteri-

al hypertension: Beyond palliative treatments. *J. Cardiol.* 2015; 66: 304–4.

20. Alekyan Б.Г., Горбачевский С.В., Pursanov М.Г. и др. Стентирование межпредсердной перегородки как лечение идиопатической легочной гипертензии. *J. Invasive Cardiol.* 2015.

21. Koval P.V. Hydraulics and hydraulic lines of mining machines: Textbook for universities in the specialty «Mining machines and complexes». *Engineering.* 1979.

11. Lammers AE, Derrick G, Haworth SG, et al. Efficacy and long-term patency of fenestrated Amplatzer devices in children. *Cathet. Cardiovasc. Interv.* 2007; 70(4): 578–84.

<http://doi.org/10.1016/j.jcc.2015.02.001>

12. Shmalc AA, Nishonov NA. Atrioseptostomy in patients with pulmonary hypertension. *Thorax and Cardiovascular Surgery.* 2015; 57(5): 18-25 [In Russ].

13. Chiu JS, Zuckerman WA, Turner ME, et al. Balloon atrial septostomy in pulmonary arterial hypertension: effect on survival and associated outcomes. *J Heart Lung Transplant.* 2015; 34(3): 376–380.

<http://doi.org/10.1016/j.healun.2015.01.004>

14. Hirsch R, Bagby MC, Zussman ME. Fenestrated ASD closure in a child with idiopathic pulmonary hypertension and exercise desaturation. *Congenit Heart Dis.* 2011; 6(2): 162–166.

<http://doi.org/10.1111/j.1747-0803.2010.00472.x>

15. Kurzyna M, Dabrowski M, Bielecki D, et al. Atrial septostomy in treatment of end-stage right heart failure in patients with pulmonary hypertension. *Chest.* 2007; 131(4): 977–983.

<http://doi.org/10.1378/chest.06-1227>

16. Patel MB, Samuel BP, Girgis RE, et al. Implantable atrial flow regulator for severe, irreversible pulmonary arterial hypertension. *EuroIntervention.* 2015; 11(6): 706–709.

http://doi.org/10.4244/EIJY15M07_08

17. Kapoor A, Khanna R, Batra A, et al. Inoue balloon atrial septostomy in severe persistent pulmonary hypertension following surgical ASD closure. *J Cardiol Cases.* 2012; 6(1): 1–3.

<http://doi.org/10.1016/j.jccase.2012.02.002>

18. Rajeshkumar R, Pavithran S, Sivakumar K, et al. Atrial septostomy with a predefined diameter using a novel occlutech atrial flow regulator improves symptoms and cardiac index in patients with severe pulmonary arterial hypertension. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2017; 90(7): 1145–1153.

<http://doi.org/10.1002/ccd.27233>

19. Baglini R, Scardulla C. Reduction of a previous atrial septostomy in a patient with end-stage pulmonary hypertension by a manually fenestrated device. *Cardio-vasc Revasc Med.* 2010; 11(4).
<http://doi.org/10.1016/j.carrev.2009.11.005>

20. Alekyan BG, Gorbachevsky SV, Pursanov MG, et al.

Stenting of the interatrial septum for the treatment of idiopathic pulmonary arterial hypertension. *J. Invasive Cardiol.* 2015 [In Russ].

21. Koval PV. Hydraulics and hydraulic lines of mining machines: Textbook for universities in the specialty «Mining machines and complexes». *Engineering.* 1979.