

## **Использование ультразвукового внутрисосудистого исследования (IVUS) для определения оптимальных условий формирования коронарного анастомоза**

**Руденко А.В., Сало С.В., Галич С.С., Гаврилишин А.Ю.**

*ГУ «Национальный институт сердечно-сосудистой хирургии им. Н.М. Амосова НАМН»  
(Киев)*

Ультразвуковое внутрисосудистое исследование (IVUS) коронарных анастомозов, сформированных разными способами с использованием разного шовного материала, позволяет определить оптимальные условия для увеличения площади анастомоза. Результаты исследования указывают на то, что использование шовного материала с диаметром нити «8-0», взаимное уложение внутренних слоев стенок сосудов («интима к интима») и захват шовной нитью стенки коронарной артерии в пределах 1 мм от ее края увеличивают в разной степени размеры продольного и поперечного диаметров и площадь анастомоза, что увеличивает пропускную способность коронарного анастомоза.

**Ключевые слова:** *ишемическая болезнь сердца, внутрисосудистое ультразвуковое исследование, коронарный анастомоз.*

Одним из актуальных вопросов современной коронарной хирургии является длительность функционирования коронарных шунтов. От этого зависит вероятность возникновения ряда послеоперационных осложнений и угрожающих сердечных событий. К таким стоит отнести смерть пациента, инфаркт миокарда, вновь возникшую стенокардию и т.д. Следует отметить, что, по мнению многих исследователей, длительность функционирования сосудистых шунтов во многом зависит от методики выполнения сосудистого анастомоза [1, 2] и, соответственно, от скорости кровотока в них [3, 4]. Однако в мировой литературе не существует единой доктрины или перечня оптимальных условий, которые были бы общепринятыми в хирургическом обществе. На данный момент существует множество вариантов выполнения сосудистых анастомозов, включающих особенности подготовки анастомозирующего участка вшиваемого сосуда (шунта), технику наложения анастомозов, условия взаимного расположения сшиваемых сосудов между собой, использование шовного материала разных диаметров нити и т.д.

**Цель исследования** — определение оптимальных условий для формирования коронарного анастомоза с обеспечением максимальной объёмной скорости кровотока.

**Материалы и методы исследования.** В данной работе проводилась серия исследований, в которых формировались коронарные анастомозы с использованием разной хирургической методики создания сосудистого анастомоза, а также разного шовного материала и сосудов разного диаметра. После создания каждого анастомоза проводилось определение объёмного тока жидкости через анастомоз и внутрисосудистое ультразвуковое исследование (англ. IVUS — intravascular ultrasound) анастомоза с измерением его внутренних геометрических параметров. Анастомозы создавались между артериальными (диаметром от 2 до 3 мм) и венозными (диаметром от 3,5 до 5 мм) сосудами и коронарными артериями (эпикардальные артерии миокарда свиньи).

Для оценки пропускной способности анастомоза использовалось определение объёмного тока жидкости через анастомоз. Постоянное давление создавалось за счёт резервуа-

ра с постоянным столбом жидкости. Использовался раствор, вязкость которого была идентична вязкости крови.

Определение максимальных значений продольного и поперечного диаметров общего анастомоза (вены и артерии) проводилось с помощью ультразвукового исследования аппаратом «Boston Scientific iLab Ultrasound Imaging System». При проведении внутрисосудистого ультразвукового исследования сосуда УЗИ-датчик свободно располагается по центру сосуда. Но при исследовании сосудов, соединенных под определённым углом, УЗИ-датчик располагался на эластическом проводнике, заведенном через шунт в коронарную артерию. Запись изображения коронарного анастомоза производилась при подтягивании УЗИ-датчика из артерии в шунт. При этом он проходил через крайнюю переднюю (дистальную) точку соединения сосудов, стараясь найти наиболее оптимальное положение с наименьшим напряжением эластического проводника. Проведя ряд геометрических расчетов, можем утверждать, что, при проведении исследования геометрических показателей анастомоза между сосудами, соединёнными под углом в  $90^\circ$ , угол расположения датчика будет приближаться к  $60^\circ$  по отношению к горизонтально расположенной коронарной артерии. Однако, если угол соединения сосудов составляет  $45^\circ$ , датчик будет расположен в  $30^\circ$  (рис. 1).



Рис. 1. Расположение УЗИ-датчика в сосудах, соединенных под разными углами ( $45^\circ$  и  $90^\circ$  соответственно). Максимальные размеры анастомоза представлены двусторонними стрелками

Именно под такими углами между датчиком и коронарной артерией будет происходить запись наибольшего по размеру ультразвукового изображения внутреннего строения коронарного анастомоза между сосудами. Проведя перпендикуляры к противоположным стенкам обоих сосудов, мы получим два треугольника в каждом случае. Интересным является то, что гипотенузы обоих треугольников в каждом рисунке будут составлять максимальный продольный диаметр УЗИ-изображения анастомоза.

Рассмотрим в отдельности соединение сосудов под углом в  $45^\circ$ . В таком случае максимальный размер продольного диаметра УЗИ-изображения анастомоза будет вычисляться по формуле:

$$C(\max) = C1 + C2,$$

где  $C$  – максимальный размер диаметра,  $C1$  – диаметр анастомоза в коронарной части,  $C2$  – в венозной части анастомоза.

$$C1 = d / \cos(30^\circ), \text{ т.е. } C1 = 2d / \sqrt{3},$$

где  $d$  – внутренний диаметр артерии.

$$C2 = D/\sin(75^\circ), \text{ т.е. } C2 = D/0,96,$$

где  $D$  – внутренний диаметр венозного шунта.

$$\text{Таким образом, } C(\mathbf{max}) = 2d/\sqrt{3} + D/0,96.$$

Рассмотрим анастомоз сосудов, соединенных под углом в  $90^\circ$ . В таком случае максимальный размер продольного диаметра анастомоза будет вычисляться по формуле:

$$C(\mathbf{max}) = C1 + C2,$$

$$C1 = d/\sin(30^\circ), \text{ т.е. } C1 = 2d$$

$$C2 = D/\sin(60^\circ), \text{ т.е. } C2 = 2D/\sqrt{3}$$

$$C(\mathbf{max}) = 2d + 2D/\sqrt{3}$$

Таким образом, сравнивая обе формулы вычисления продольного диаметра УЗИ-изображения анастомоза, следует отметить, что, учитывая преобладание диаметра венозного шунта над диаметром коронарной артерии, соединение сосудов под углом  $90^\circ$  увеличивает продольный диаметр анастомоза. Однако при этом уменьшается размер непосредственного продольного диаметра анастомоза  $C(\mathbf{long})$  – размер артериотомии, что также наверняка влияет на объёмный кровоток. В случае вшивания сосудов под углом в  $90^\circ$  его размер будет соответствовать диаметру шунта, тогда как при соединении сосудов под углом в  $45^\circ$ :

$$C(\mathbf{long}) = 2D/\sqrt{2}$$

Поперечный диаметр анастомоза стремится в своем значении к диаметру вшиваемого шунта и никогда не будет больше него. Поэтому повлиять на его размер не представляется возможным и приходится исходить из имеющегося размера диаметра шунта.

Вышеописанные размеры анастомоза, а именно – продольный и поперечный диаметры и, соответственно, площадь анастомоза, являются максимальными. Формирование наиболее оптимальной конфигурации анастомоза позволит достичь этих значений, тем самым обеспечить максимальную пропускную способность коронарного анастомоза.

**Результаты исследования.** Результаты исследований представлены в табл. 1.

Результаты исследования указывают на то, что, использование шовного материала меньшего диаметра, а именно – предпочтение 8-0 над 6-0, в наибольшей степени приближает внутренние геометрические размеры анастомоза к расчетным значениям. Также увеличивает в большинстве случаев размеры продольного (на 8,5–12,3%) и поперечного (на 13–30%) диаметров, что, безусловно, отражается на общей площади анастомоза: использование шовных нитей меньшего диаметра увеличивают площадь анастомоза от 20% до 50% (рис. 2).

Захват шовной нитью малого диаметра стенки коронарной артерии на расстоянии до 3 мм от её края уменьшает размеры анастомоза – укорачивает длину анастомоза  $C(\mathbf{long})$  и поперечный внутренний диаметр, тем самым уменьшает площадь анастомоза на 20–25% (рис. 3).

Использование методики уложения стенок сосудов по типу «адвентиция к адвентиции» значительно уменьшает продольный и поперечный внутренние диаметры на 10–13% и 15–17% соответственно, тем самым уменьшая площадь анастомоза на 30–35% (рис. 4).

Как видно из таблицы, диаметры анастомоза влияют на размер его площади, а тот, в свою очередь, прямо пропорционально влияет на объёмный ток жидкости через анастомоз. Тем самым, влияя на размеры диаметров, то есть стремясь их увеличить до макси-

Таблиця 1

№	Спосіб	Діаметр вени і діаметр артерії (соответ-но)	Кол-во дослід-ний	Об'єм. Кровоток (мл/мін)	Діаметр прод-ний (мм)		Діаметр попереч-ний (мм)	Площадь анастомоза (мм <sup>2</sup> )	Длина анас-томоза (мм) (C(long) (расчетный))
					Расчетный (C(max))	Действи-тельный			
1	8-0 (45°)	- 3,5 мм - 3,0 мм	n=10	240±10	7,1	5,5±0,2	3,5±0,2	15,5±1,0	4,7±0,2 (3,5:0,7=5)
	6-0 (45°)	200±10							
2	8-0 (45°) 1 мм	- 3,5 мм - 3,0 мм	n=7	200±10	7,1	4,9±0,3	3,4±0,2	14,1±0,3	4,6±0,2 (3,5:0,7=5)
	8-0 (45°) 2 мм	180±10							
3	8-0 (45°)	- 5,0 мм - 3,0 мм	n=6	240±10	8,7	6,2±0,2	3,6±0,2	18,0±1,0	5,0±0,2 (5,0:0,7=7,1)
	8-0 (3мм) (45°)	240±10							
4	8-0 (45°)	- 3,5 мм - 2,5 мм	n=4	320±10	6,5	4,9±0,2	2,9±0,2	12,0±0,8	3,2±0,2 (3,5:0,7=5)
	7-0 (45°) (спинка к спинке)	200±10							
5	8-0 (90°)	- 2,5 мм (а.маммар)	n=6	120±10	7,9	5,1±0,2	2,4±0,2	13,0±1,0	4,2±0,2
	6-0 (90°)	50±5							
6	8-0 (90°)	- 4,0 мм - 3,0 мм	n=9	170±10	10,7	6,2±0,3	3,9±0,3	20,0±1,5	3,4±0,2
	6-0 (90°)	140±10							

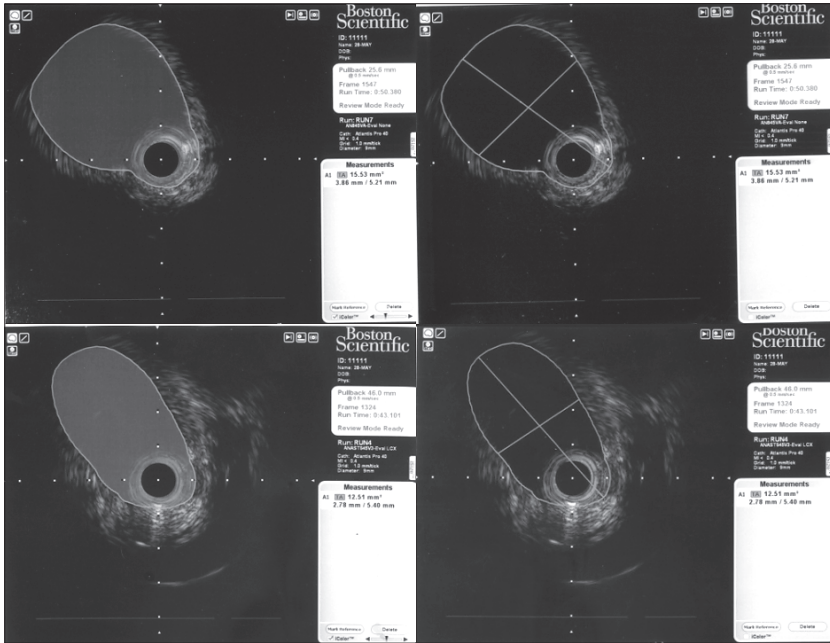


Рис. 2. Исследование № 1. Размеры анастомозов при использовании шовного материала с разным диаметром нити (8-0 и 6-0)

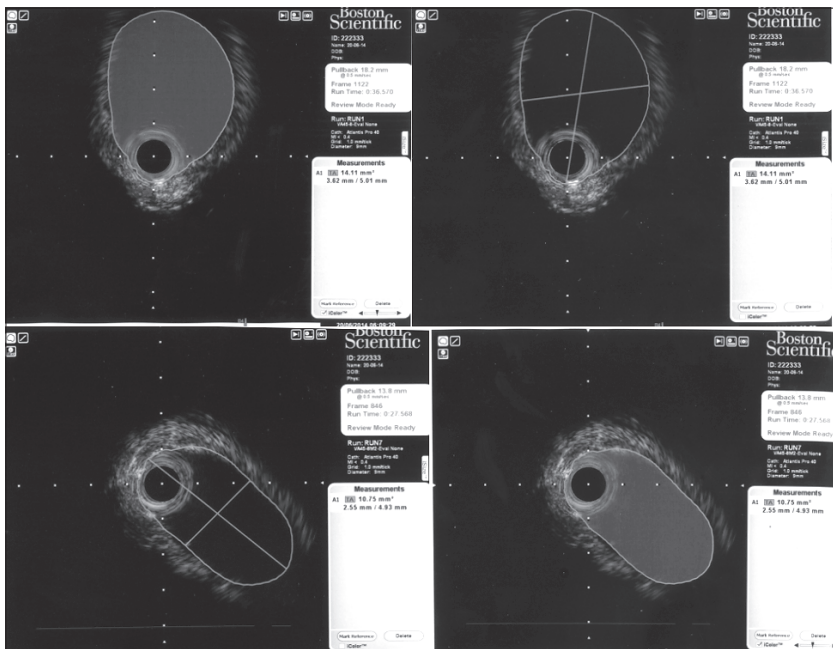


Рис. 3. Исследование № 2. Размеры анастомозов при разном захвате нитью коронарной артерии (1 мм и 2 мм от края стенки)

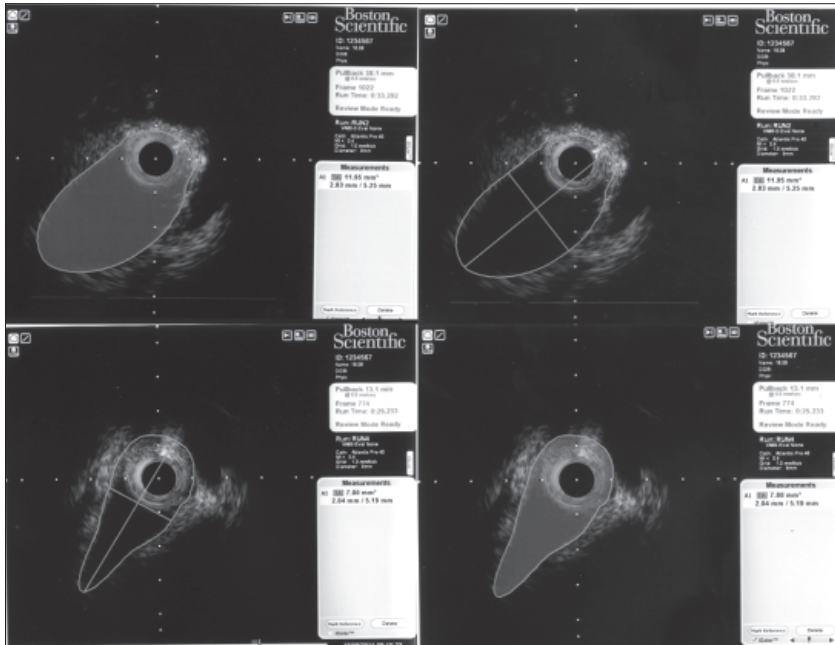


Рис. 4. Исследование № 4. Размеры анастомозов при разном взаимном уложении внутренних слоёв стенок сосудов

мальных значений, удаётся увеличить объёмную скорость кровотока через анастомоз, что обеспечивает длительное функционирование самого шунта.

**Выводы.** Использование шовного материала с диаметром нити «8-0» увеличивает продольные (на 8,5–12,3%) и поперечные (на 13%–30%) размеры анастомоза, что увеличивает площадь анастомоза на 20–50% по сравнению с использованием шовного материала с диаметром нити «6-0». Увеличение площади анастомоза при использовании шовного материала «8-0» увеличивает объёмную скорость кровотока на 20–25% по сравнению с использованием материала «6-0».

Форма анастомоза при взаимном уложении внутренних слоев стенок сосудов («интима к интима») увеличивает площадь анастомоза на 40–50%, что приводит к увеличению объёмной скорости кровотока на 50–60% по сравнению с методикой уложения слоев «адвентиция к адвентиции».

Захват шовной нитью стенки коронарной артерии в пределах 1 мм от ее края обеспечивает увеличение площади анастомоза на 25–30%, а объёмной скорости – на 10–15% по сравнению с захватом нитью стенки сосуда более 3 мм от её края.

### Литература

1. Velocity distribution and intimal proliferation in autologous vein grafts in dogs / S.E. Rittgers et al. // *Circ. Res.* – 1978. – Vol. 42. – P. 792–801.
2. A lumped parameter model to evaluate the fluid dynamics of different coronary bypasses / R. Pietrabissa [et al.] // *Med. Eng. Phys.* – 1996. – Vol. 18. – P. 477–484.

3. Intraoperative Imaging Techniques to Assess coronary artery bypass graft patency // L. Balacumaraswami, D. Taggart // Ann Thorac Surg. – 2007. – Vol. 83. – P. 2251–7.
4. Intraoperative graft assessment during coronary artery bypass surgery // Toshihiro Fukui // General Thoracic and cardiovascular Surgery // 06 January 2015.

### **Використання внутрішньосудинного ультразвукового дослідження (IVUS) для визначення оптимальних умов формування коронарних анастомозів**

**Руденко А.В., Сало С.В., Галич С.С., Гаврилішин А.Ю.**

Внутрішньосудинне ультразвукове дослідження (IVUS) коронарних анастомозів, що сформовані різними способами з використанням різного шовного матеріалу, дозволяє визначити оптимальні умови для збільшення площі анастомозу. Результати дослідження вказують на те, що використання шовного матеріалу з діаметром нитки «8-0», взаємне розташування внутрішніх шарів стінок судин («інтима до інтими») та захват шовною ниткою стінки коронарної артерії в межах 1 мм від її краю різною мірою збільшує розміри повздожнього та поперечного діаметрів та площу анастомозу, що збільшує пропускну здатність коронарного анастомозу.

**Ключові слова:** ішемічна хвороба серця, внутрішньосудинне ультразвукове дослідження (IVUS), коронарний анастомоз.

### **Use of Intravascular Ultrasound (IVUS) to Determine Optimal Conditions for Creation of Coronary Anastomosis**

**Rudenko A., Salo S., Galich S., Gavrilyshyn A.**

Intravascular ultrasound (IVUS) of the coronary anastomoses, that constructed using different techniques and suture material of various diameter of thread, allows to determine the optimal condition for increasing the area of anastomosis. According to the results of the investigation: using of suture material with thread “8-0” and relative position of internal layers of vessels by “intima to intima” and putting stitches in 1 mm along the edge of coronary artery increase the size of longitudinal and transverse diameter and total area of anastomosis that increase of volume blood flow velocity through the coronary anastomosis.

**Key words:** ischemic heart disease, intravascular ultrasound, coronary anastomosis.