С.С. Галич, А.В. Руденко, Е.А. Настенко, Ю.С. СтародубГУ «Национальный институт сердечно-сосудистой хирургии
имени Н.М. Амосова НАМН Украины», Киев

Влияние угла между шунтом и коронарной артерией на объемную скорость кровотока через коронарный анастомоз

ТЕХНОЛОГІЇ
ДІАГНОСТИКИ
ТА ЛІКУВАННЯ

Цель работы – определить оптимальное значение угла вшивания шунта в коронарную артерию, которое может обеспечить максимальные показатели пропускной способности созданного коронарного анастомоза.

Материалы и методы. Исследования проводили на свинных сосудах. Создавали коронарные анастомозы между шунтами и коронарными артериями, расположенными в участках свиного миокарда с углами 30°, 45° и 90°. Всего было создано 81 коронарный анастомоз – 27 троек сравнения. Для оценки пропускной способности коронарного анастомоза с помощью флуометра определяли объемный кровоток по шунту. Для этого по шунту при постоянном давлении пропускали специальный раствор, представляющий собой смесь дистиллированной воды и глицерина в пропорциях 7,5 : 7 для достижения относительной вязкости раствора, идентичной вязкости крови – 4,5. Все сравниваемые между собой анастомозы создавали на одних и тех же сосудах для чистоты эксперимента. Также анастомозы исследовали с помощью рентгеноконтрастного исследования в боковых и переднезадних проекциях. С помощью ангиографии измеряли внутренние размеры изучаемых анастомозов.

Результаты. Анастомозы с углом 30° и 45° показали большие значения объемного кровотока по сравнению с анастомозами с углом 90°. Результаты рентгеноконтрастного исследования подтвердили увеличение обоих (продольного и поперечного) размеров анастомозов с углом 45°.

Выводы. Наиболее оптимальным считаем угол анастомоза 45° с точки зрения легкости выполнения и лучших показателей пропускной способности анастомозов, что, возможно, обусловлено увеличением размеров анастомоза, которое нивелирует возможные неровности шовной линии.

Ключевые слова: коронарный анастомоз, объемный кровоток, угол анастомоза.

Посилання: Галич С.С., Руденко А.В., Настенко Е.А., Стародуб Ю.С. Влияние угла между шунтом и коронарной артерией на объемную скорость кровотока через коронарный анастомоз // Кардіохірургія та інтервенційна кардіологія. – 2019. – № 1. – С. 50–56.

To cite this article: Galych SS, Rudenko AV, Nastenka EA, Starodub YS. The effect of angle between the graft and coronary artery on volumetric flow rate through the anastomosis. *Cardiac Surgery and Interventional Cardiology*. 2019;1(24):50-56 (in Russ.).

Результаты операции коронарного шунтирования напрямую зависят от длительности функционирования коронарных шунтов. Известно, что нарушения в коронарных шунтах в отдаленные сроки после операции происходят из-за интимальной гиперплазии (ИГ) и атеросклероза коронарных шунтов [15]. Многие исследования определили интимальную гиперплазию как основную причину стенозов коронарных шунтов [10]. Интимальная гиперплазия представляет собой неестественную непрерывную пролиферацию и избыточный рост гладкомы-

шечных клеток в ответ на эндотелиальное повреждение или дисфункцию. Хотя точный механизм и патофизиология ИГ остаются неизученными, существуют некоторые доказательства совместного участия биологических и биомеханических факторов. Наравне с такими факторами, как эндотелиальное повреждение, активация тромбоцитов, несоответствие способности сосудистой стенки противостоять растяжению и сдавливанию (сосудистый комплаенс) шунтов и коронарных артерий, особое внимание заслуживает нарушение местной гемодинамики. Влияние

Таблиця 1
Характеристика матеріала

	Діаметр сосуда, мм	Кількість анастомозів
Артеріальний шунт	2,0–2,5	27
Венозний шунт	3,0–5,0	54
Коронарна артерія	1,0–3,0	81

гемодинамики в області коронарного анастомоза на розвиток ІГ изучалось многими авторами (Bassiouny и соавт., 1992; Fillinger и соавт., 1990; Keynton и соавт., 2001; Loth и соавт., 2002; Giordana и соавт., 2005).

Одним из важных параметров анастомоза, который влияет на распределение гемодинамических сил (в частности, напряжение сдвига), является угол, под которым вшивается шунт в артерию. Единого общепринятого мнения об оптимальном угле вшивания шунта в коронарную артерию и продольном размере коронарного анастомоза, соответственно, не существует в литературе. В то же время, невзирая на наличие значительного числа публикаций, посвященных изучению пристеночного напряжения в зоне дистального анастомоза, практически отсутствуют работы, посвященные исследованию изменений объемного кровотока по шунту в зависимости от угла между шунтом и шунтируемой артерией.

Цель работы – определить оптимальное значение угла вшивания шунта в коронарную артерию, которое может обеспечить максимальные показатели пропускной способности созданного коронарного анастомоза.

Материалы и методы

Исследовательская работа проведена на базе Национального института сердечно-сосудистой хирургии имени Н.М. Амосова НАМН Украины. В работе создавали коронарные анастомозы между шунтами (участками свиных внутренних грудных артерий и подкожных вен) и коронарными артериями, расположенными в участке свиного миокарда. Для определения объемного кровотока через коронарный анастомоз, по шунту при постоянном давлении пропускали специальный раствор, представляющий собой смесь дистиллированной воды и глицерина в пропорциях 7,5 : 7 для достижения относительной вязкости раствора, идентичной вязкости крови – 4,5. Выполняя коронарный анастомоз между одними и теми же сосудами, но с разными углами, определяли степень влияния угла между шунтом и артерией на объемный кровоток через анасто-

моз. Объемный кровоток измеряли с помощью флуометра Sono TT Ultrasonic Flowcomputer. Исследовали 81 коронарный анастомоз (табл. 1).

В каждой тройке сосудов изменяли угол вшивания шунта в коронарную артерию (30° , 45° , 90°) путем увеличения длины анастомоза, продлевая разрезы на коронарной артерии и угол срезания конечного участка шунта, который участвует в формировании коронарного анастомоза (рис. 1).

На рис. 1 катет В равен диаметру сосуда-шунта, а гипотенуза С – искомой длине среза. Для срезания конца шунта под углом 90° длина среза должна равняться длине диаметра сосуда – срез перпендикулярно сечению сосуда. Для срезания конца шунта под углом в 30° длина среза должна соответствовать двойной длине диаметра сосуда – так как в прямоугольном треугольнике гипотенуза (длина среза) равна двойной длине катета (диаметр сосуда), лежащего против угла 30° . Для срезания конца шунта под углом 45° срез необходимо проводить таким образом, чтобы срезаемый участок шунта имел форму равнобедренного прямоугольного треугольника, в котором углы, прилежащие равным сторонам, равны 45° .

Следующим методом сравнения анастомозов стало рентгенконтрастное исследование анастомозов с углами 45° или 90° . Созданные анастомозы с определенным углом заполнялись контрастом во время рентгеноскопии. Когда контраст вытеснял воздух и полностью заполнял коронарный анастомоз, на концы коронарной артерии накладывались зажимы, что позволяло создать давление для полного расправления анастомоза.

Рис. 1. Определение угла срезания конечного участка шунта, который участвует в формировании анастомоза

Таблиця 2

Результаты измерений размеров анастомозов

Угол	Диаметр сосудов	Продольный размер анастомоза	Поперечный размер анастомоза
90°	Вена – 4 мм	4 мм	3 мм
45°	Артерия – 2 мм	6 мм	5 мм

Изображение записывалось в боковых и передне-задних проекциях. Измерялись внутренние размеры изучаемых анастомозов.

Протокол исследований был одобрен Комитетом по медицинской этике ГУ «Национальный институт сердечно-сосудистой хирургии имени Н.М. Амосова» НАМН Украины № 9 от 24.09.2013 г.

Для сравнения результатов в группах с разными показателями анастомозов использовали стандартные статистические методы, в частности, параметрический t-критерий Стьюдента. Использован пакет для статистической обработки данных IBM SPSS Statistics 20.0.

Результаты

Результаты сравнения объемных кровотоков через анастомозы с разными углами вшивания шунта представлены на *рис. 2*.

Объемные кровотоки через коронарные анастомозы с разными углами достигали высоких значений (до 408 мл/мин) при анастомозировании сосудов крупных диаметров (шунт – 5 мм, коронарная артерия – 2,5 мм). При меньших размерах сосудов показатели объемного кровотока были значительно меньше и достигали 20–30 мл/мин. При этом явно наблюдали отличия в

пропускной способности между анастомозами с разными углами.

При диаметрах сосудов, не превышающих 3,0 мм, среднее значение объемного кровотока при условии угла 30° составило ($138,8 \pm 62,8$) мл/мин, при 45° – ($140,9 \pm 74,1$) мл/мин, при 90° – ($120,0 \pm 45,6$) мл/мин.

Из результатов исследования следует, что значительных отличий в пропускной способности между анастомозами с углами 30° и 45° не наблюдалось ($p > 0,05$). Однако существуют значительные отличия в пропускной способности анастомозов с углом 45° и 90° в пользу конфигураций анастомозов 45° ($p = 0,025$). Разница составляла от 16 до 66 % для коронарных артерий диаметром более 1,5 мм ($p = 0,039$), но наиболее явное отличие между пропускной способностью анастомозов в пользу угла 45° было отмечено в случаях с коронарными артериями менее 1,5 мм диаметром (часто до 50 %) ($p = 0,002$).

Результаты рентгенконтрастного исследования представлены в *табл. 2*.

На *рис. 3* изображены рентгеноконтрастные снимки в боковых проекциях коронарных анастомозов, созданных с углом 90° и 45°, соответственно, и на *рис. 4* – те же изображения с измерениями диаметров сосудов и анастомозов.

Рис. 2. Влияние углов анастомозов 30°, 45° и 90° на величину объемного кровотока через него

Рис. 3. Рентгеноконтрастные снимки профиля коронарных анастомозов, созданных с углом 90° (А) и 45° (Б)

Рис. 4. Изображения с измерениями диаметров сосудов и анастомозов

Рис. 5. Рентгеноконтрастные снимки в прямых переднезадних проекциях коронарных анастомозов, созданных с углом 90° (А) и 45° (Б)

Рис. 6. Изображения с измерениями диаметров сосудов и анастомозов

На рис. 3, 4 можно наблюдать более пологое расположение шунта относительно коронарной артерии и более длинный продольный размер анастомоза с углом 45° по сравнению с анастомозом 90°. Измерение внутренних размеров сосудов и анастомозов подтверждают увеличение диаметра анастомоза 45°.

На рис. 5, 6 – изображения тех же анастомозов в прямых переднезадних проекциях.

На рис. 5, 6 обращает на себя внимание более широкое устье шунта в месте анастомоза с коронарной артерией в случае анастомоза 45°, а также видимое сужение устья шунта в случае анастомоза 90°. Измерение внутренних разме-

ров сосудов подтверждают данные особенности анастомозов.

Результаты рентгеноконтрастного исследования анастомозов с разными углами указывает, что методика создания коронарных анастомозов с углом 45° между теми же сосудами, что и с углом 90° , позволяет увеличить продольный размер анастомоза на 50 % и его поперечный размер на 65 %.

Обсуждение

Изучение угла вшивания шунта в артерию было проведено ранее. R.S. Keynton исследовал влияние угла между сосудами на распределение напряжения сдвигов в сосудах, изучая соединения трубочек из материала Plaxiglas под углами 30° , 45° и 60° [13]. R.S. Keynton определил наиболее оптимальные значения пристеночных напряжений сдвигов в соединении сосудов под углом 45° , заключив, что такая конфигурация могла бы увеличить срок функционирования шунта путем уменьшения ИГ. Признание угла 45° оптимальным согласуется с нашими результатами гидродинамических исследований анастомозов. Обзор данных литературы, проведенный D.N. Ghista, указывает, что меньший угол ($\leq 30^\circ$) вшивания шунта приводит к меньшим колебаниям кровотока и более плавному потоку крови из шунта в коронарную артерию [7]. Подобные результаты получил T. Grus на компьютерных моделях анастомозов, подтверждая меньшую вероятность развития ИГ при малых углах между сосудами [11]. И.М. Гудз [3] и К.В. Селянинов [2] также указывают, что наиболее благоприятные условия кровотока в зоне анастомоза создаются тогда, когда угол между трансплантатом и артерией по возможности острый, он ни в коем случае не должен превышать 45° . Однако в исследовании на каротидных артериях Z.S. Jackson (2001) указал на обратное [12]: развитие выраженной ИГ в принимающей артерии при острых углах вшивания шунтов и ее отсутствие при условии прямых углов между сосудами. При этом в артериях наблюдали истончение сосудистой стенки и развитие аневризмоподобного расширения. Таким образом, не существует единого мнения относительно оптимального угла анастомозиро-

вания сосудов, подтвержденного достоверными лабораторными исследованиями, как не существует его и среди хирургов. Результаты нашего исследования гидродинамических условий кровотока и размеров анастомозов, определяющие угол 45° оптимальным для коронарных сосудов, не согласуются с выводами некоторых других исследователей. Так, L. Cohn [6] и H.B. Barner [5] считают, что срез конца шунта возможно проводить под углом 90° , с чем мы категорически не согласны, так как считаем, что тем самым резко увеличивается риск перегиба и окклюзии шунта путем придавливания прилежащими тканями. Такого же мнения придерживается И. Литтманн [4]. Следует упомянуть, что разные углы между сосудами предполагают разную длину краев шунтов и артериотомии, а соответственно, разные размеры анастомозов. Некоторые авторы указывают конкретные размеры анастомозов. Так K. Konstantakos и F.W. Sellke указывают на артериотомию в размере от 4 до 6 мм [14], а D.B. Doty – от 4 до 5 мм [8]. Однако T.J. Gardner предлагает выполнять артериотомию в размере 6–8 мм [9]. При этом автор дифференцирует размеры анастомозов для маммарно-коронарных соустьев в размере 3–4 мм, а для анастомозов по типу «бок в бок» размер составляет 2–3 мм. P.C. Акчурун и A.A. Ширяев также расширяют разрез коронарной артерии до 4–8 мм [1]. По нашему мнению, размер анастомоза и, соответственно, артериотомии должен превышать поперечный размер шунта, что позволяет нивелировать возможные гофрирования и деформации шовной линии анастомоза, позволяя достигать максимальных значений объемного кровотока.

Выводы

Вшивание коронарного шунта в артерию под острым углом (приближается к 45°) приводит к увеличению объемного кровотока в коронарном шунте, что возможно будет способствовать его более длительному функционированию. Создаваемые таким образом большие размеры анастомоза позволяют нивелировать возможные гофрирования и деформации шовной линии анастомоза, позволяя достигать максимальных значений объемного кровотока.

Конфликта интересов нет.

Участие авторов: сбор материала, обзор литературы, проведение исследований – С.Г., Ю.С., статистическая обработка данных – Е.Н., критический обзор материала – А.Р.

Литература

1. Акчурин Р.С., Ширяев А.А. Микрохирургия коронарных артерий: руководство. – М.: Гэотар-Медиа, 2012. – С. 74–80.
2. Байтингер В.Ф. Сосудистый шов. – Томск, 2005. – С. 92–94.
3. Гудз У., Бальцер К. Реконструктивна та ендоваскулярна хірургія інфраренальної аорти та артерій нижніх кінцівок // Івано-Франківськ, 2004. – 224 с.
4. Литтманн И. Оперативная хирургия. – Будапешт: Издательство Академии наук Венгрии AKADEMIAI KIAD6, 1985. – С. 785–787.
5. Barner H.B., Farkas E.A. Conduits for Korean // J. Thorac. Cardiovasc. Surg. – 2012. – Vol. 45. – P. 275–228. doi:10.5090/kjtc.2012.45.5.275.
6. Cohn L.H. Cardiac surgery in the adult. 3rd ed. – The McGraw-Hill Companies, 2008..
7. Dhanjoo N. Ghista, Foad Kabinejadian. Coronary artery bypass grafting hemodynamics and anastomosis design: a biomedical engineering review // BioMedical. Engineering. Online. – 2013. – Vol. 12. – P. 129. doi :10.1186/1475-925X-12-129.
8. Doty D.B., Doty J.R. Cardiac surgery: operative technique. – 2nd ed. – Saunders, 2012.
9. Gardner T.J., Spray T.L. Operative Cardiac Surgery. – 5th ed. – CRC Press, 2004.
10. Gaudino M., Taggart D.P. Fifty years after Favaloro, coronary artery bypass surgery is still an ART // Cardiovasc. Res. – 2018. – Vol. 114 (13). – P. e99–e101. doi: 10.1093/cvr/cvy236.
11. Grus T., Grusová G., Lambert L. et al. The influence of the anastomosis angle on the hemodynamics in the distal anastomosis in the infrainguinal bypass: an in vitro study // Physiol. Res. – 2016. – Vol. 65 (4). – P. 591–595.
12. Jackson Z.S., Ishibashi H., Gotlieb A., Lowell Langille B. Effects of anastomotic angle on vascular tissue responses at end-to-side arterial grafts // J. Vasc. Surg. – 2001. – Vol. 34. – P. 300–307. doi: 10.1067/mva.2001.115815.
13. Keynton R.S., Evancho M.M., Sims R.L. et al. Intimal hyperplasia and wall shear in arterial bypass graft distal anastomoses: an in vivo model study // J. Biomech. Eng. – 2001. – Vol. 123. – P. 464–473.
14. Selke F., Ruel M. Atlas of Cardiac Surgical Techniques. 1st ed. – Saunders, 2010.
15. Wadey K., Lopes J., Bendeck M., George S. Role of smooth muscle cells in coronary artery bypass grafting failure // Cardiovasc. Res. – 2018. – Vol. 114 (4). – P. 601–610.

С.С. Галич, А.В. Руденко, Є.А. Настенко, Ю.С. Стародуб

ДУ «Національний інститут серцево-судинної хірургії імені М.М. Амосова НАМН України», Київ

Вплив кута між шунтом і коронарною артерією на об'ємну швидкість кровоплину через коронарний анастомоз

Мета роботи – визначити оптимальне значення кута вшивання шунта в коронарну артерію, яке може забезпечити максимальні показники пропускної здатності створеного коронарного анастомозу.

Матеріали і методи. Дослідження проводили на свинячих судинах. Створювалися коронарні анастомози між шунтами і коронарними артеріями, розташованими в ділянках свинячого міокарда з кутами 30°, 45° і 90°. Усього було створено 81 коронарний анастомоз – 27 трійок порівняння. Для оцінки пропускної здатності коронарного анастомозу за допомогою флуометра визначали об'ємний кровоплин по шунту. Для цього по шунту при постійному тиску пропускався спеціальний розчин, який представляє собою суміш дистильованої води і гліцерину в пропорціях 7,5 : 7 для досягнення відносної в'язкості розчину, ідентичної в'язкості крові – 4,5. Усі порівнювані між собою анастомози створювали на одних і тих же судинах для чистоти експерименту. Так само анастомози досліджували за допомогою рентгеноконтрастного дослідження в бічних і передньозадніх проекціях. За допомогою ангіографії вимірювали внутрішні розміри досліджуваних анастомозів.

Результати. Анастомози з кутом 30° та 45° мали більші показники об'ємного кровотоку через них порівняно з кутом 90°. Результати рентгеноконтрастного дослідження вказали на збільшення обох (поздовжнього та поперечного) розмірів анастомозів з кутом 45°.

Висновок. Найбільш оптимальним вважаємо кут анастомозу 45° з точки зору легкості виконання та кращих показників пропускної здатності таких анастомозів, що може бути обумовлено збільшенням розмірів анастомозу, яке нівелює можливі нерівності шовної лінії.

Ключові слова: коронарний анастомоз, об'ємний кровоплин, кут анастомозу.

S.S. Galych, A.V. Rudenko, E.A. Nastenka, Yu.S. Starodub

M.M. Amosov National Institute of Cardiovascular Surgery of NAMS of Ukraine, Kyiv, Ukraine

The effect of angle between the graft and coronary artery on volumetric flow rate through the anastomosis

The aim – to determine the optimal value of the angle between the graft and the coronary artery, which can ensure maximum volumetric blood flow through the created coronary anastomosis.

Materials and methods. The study was carried out with porcine vessels. Coronary anastomoses were created between grafts and coronary arteries located in porcine myocardium with angles of 30°, 45° and 90°. A total of 81 coronary anastomoses were created – 27 comparison triples. To assess the volumetric blood flow through the coronary anastomosis, the transit-time volume flowmeter was used. A special solution was passed through the graft at constant pressure. This solution was a 7.5 : 7 mixture of distilled water and glycerin to achieve a relative viscosity equal to that of blood – 4.5. All anastomoses compared with each other were created with the same vessels for the purity of the experiment. Anastomoses were also investigated using X-ray contrast imaging in lateral and antero-posterior projections. Using angiography, the internal diameters of the anastomoses were measured.

Results. Anastomoses with an angle of 30° and 45° revealed greater values of volumetric blood flow compared with a 90° angle. The results of the X-ray contrast study confirmed an increase in both (longitudinal and transverse) diameters of the anastomoses with an angle of 45°.

Conclusions. The angle of 45° is considered to be the most optimal for anastomosis regarding the feasibility and the capacity of those anastomoses to provide higher velocity of blood flow, as well as by increasing the size of the anastomosis, which corrects possible unevenness of the suture line.

Key words: coronary anastomosis, volumetric flow rate, angle of anastomosis.