

## Коронарное шунтирование с помощью секвенциальных шунтов

Руденко А.В., Галич С.С., Гутовский В.В., Купчинский А.В.

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

Секвенциальное шунтирование остается актуальным и дискуссионным вопросом коронарной хирургии. Для оценки особенностей кровотока в секвенциальном шунте была создана его натуральная модель из свиных сосудов и миокарда с использованием раствора глицерина. Для оценки эффективности методики секвенциального шунтирования в хирургической практике был проведен анализ результатов хирургического лечения пациентов с сопутствующим сахарным диабетом (СД). Результаты исследования указывают, что использование данной методики позволяет увеличить полноту реваскуляризации миокарда и способствует снижению летальности пациентов с СД. При этом секвенциальное шунтирование увеличивает объемный кровоток по шунту, что увеличивает длительность функционирования коронарного шунта.

**Ключевые слова:** *ишемическая болезнь сердца, коронарное шунтирование, секвенциальные шунты, объемный кровоток.*

Результаты многих зарубежных исследований свидетельствуют о том, что длительность функционирования сосудистых трансплантатов может до некоторой степени зависеть от методики шунтирования и типов коронарных анастомозов (Rittgers S.E., 1978 [1]; Pietrabissa R., 1996 [2]). Было установлено, что интенсивность развития интимальной гиперплазии и последующего атеросклероза в коронарных шунтах зависит от состояния кровотока по ним (Faulkner S.L., 1975 [3]; Motwani J.G., 1998 [4]). Поэтому многие исследования последних лет сконцентрировались на оценке объемного кровотока в сосудистых трансплантатах [5–8]. Установлено, что кровоток по коронарным шунтам менее 40 мл/мин является значительным фактором, способствующим окклюзии шунта [9–11]. Другие исследования указывают на граничное значение объемного кровотока в 50 мл/мин, ниже которого создаются условия для тромбообразования коронарных шунтов [12]. В ряде исследований указывается, что при условии кровотока по шунту менее 20 мл/мин около 60% аутовенозных шунтов окклюдированы через 1 год после операции [13]. Многие ученые считают, что условия для высокого объемного кровотока в коронарных шунтах с хорошими отдаленными ангиографическими показателями их проходимости создаются при секвенциальном коронарном шунтировании (O'neil M.J., 1981 [19]; Nordgaard H., 2009 [14]; Kim H.J., 2011 [15]). Такой вариант реваскуляризации миокарда предполагает восстановление кровотока в двух и более коронарных артериях одним шунтом. Это достигается формированием промежуточных коронарных анастомозов по типу «бок-в-бок». Однако существует мнение, что данная процедура имеет сомнительные результаты, во многом из-за высокого риска коронарных событий в случае полной окклюзии шунтов этого типа (Sewell W.H., 1978 [16]; Kieser T.M., 1986 [17]; Christenson J.T., 1996 [18]).

Тип коронарного анастомоза «бок в бок» позволяет шунтировать несколько коронарных артерий, используя один сосудистый трансплантат. Данная методика помогает достичь полной реваскуляризации миокарда, что особенно необходимо при условии множественного поражения коронарных артерий или же при дефиците шунтов. O'Neil M J

(1981) в своем исследовании указывает, что в таких венозных шунтах наблюдается меньшая степень сосудистого сопротивления и, соответственно, большая скорость кровотока [19]. Существует и противоположное мнение. Основываясь на результатах исследования PREVENT IV (3014 пациентов), полученных в 2005 году, было высказано мнение, что использование методики множественного шунтирования связано с большей частотой окклюзий шунтов и худшими 5-летними результатами [20]. Однако Sabik F. (2011) при обсуждении этих результатов утверждает, что для сравнения результатов шунтирования использовался нерандомизированный метод отбора пациентов, а также не учитывался принцип последовательности шунтирования, при котором коронарные артерии с меньшим диаметром и худшим дистальным кровотоком шунтируются только проксимальными анастомозами. Также не учитывалась разница техники исполнения коронарных анастомозов [21].

Следует заметить, что случаи, когда одним шунтом выполняется шунтирование нескольких коронарных артерий, возможны не только при использовании методики «бок-в-бок». При наличии боковой веточки достаточного диаметра у венозного шунта ее также можно использовать для шунтирования нескольких расположенных рядом коронарных артерий (у-образное шунтирование). Hulus M. (2009) [22] дает сравнительные данные операций с применением разных методик, указывая, что данная методика может удачно использоваться с хорошими отдаленными результатами – функционирование 76,4% Y-образных шунтов спустя 7 лет после операции. Однако Li J. (2011) в своих исследованиях сравнения методик отдает предпочтение методике формирования анастомоз по типу «бок-в-бок» [23].

**Цель работы** – определить гидродинамические особенности функционирования одиночных и секвенциальных шунтов и оценить эффективность их клинического применения.

**Методы и материалы исследования.** Была создана модель одиночного и секвенциального шунтирования на сосудах свиньи с участками свиного миокарда, в которых располагались коронарные артерии. По одиночным и секвенциальным шунтам при постоянном давлении пропускался специальный раствор, представляющий собой смесь дистиллированной воды и глицерина в пропорциях 7,5:7 для достижения относительной вязкости раствора, идентичной вязкости крови – 4,5 с определением объемной скорости кровотока. После построения конструкции для определения объемного тока жидкости емкость с раствором через гибкий катетер была соединена с участком вены. Пропуская жидкость из емкости через вену, определяли пропускную способность вены. Потом вену анастомозировали с коронарной артерией, что служило моделью одиночного коронарного шунта, и также пропускали раствор для определения пропускной способности артерии (схема 1, рис. 1).

Те же манипуляции проводились после создания секвенциального шунта той же вены с той же коронарной артерией, но через промежуточный анастомоз с другой коронарной артерией (схема 2, рис. 3, 4).

Исходя из созданной модели секвенциального шунтирования, рассмотрим распределение давлений ( $P$ ) и объемных кровотоков ( $Q$ ). Достижение максимального потока жидкости по шунту возможно, если сумма диаметров коронарных артерий, с которыми шунтирован венозный шунт, приближается к значению диаметра самой вены. При этом разность давлений, которая заставляет жидкость проходить через шунт, также должна быть максимальной.

Таким образом, можно заключить, что максимальный кровоток по коронарному шунту ( $Q_{max}$ ) возможен при минимальных значениях давлений в коронарных артериях

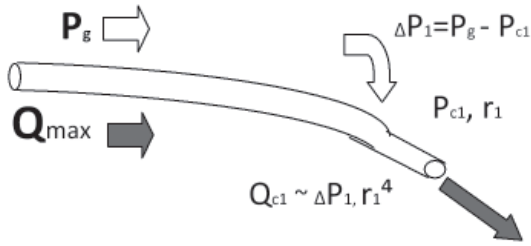


Схема 1. Распределения давления (P) и объёмного кровотока(Q) в модели одиночного шунта с коронарной артерией с давлением (P<sub>c1</sub>) и радиусом (r<sub>1</sub>)

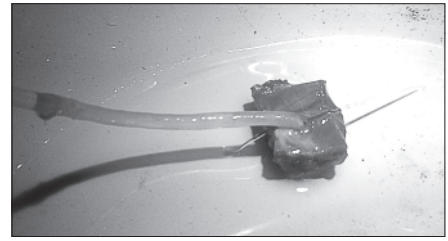


Рис. 1. Натуральная модель одиночного коронарного шунта

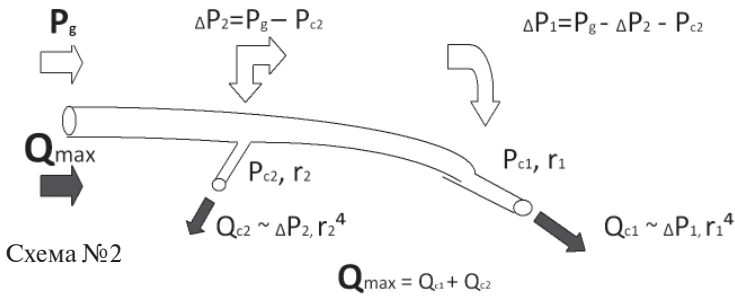


Схема №2

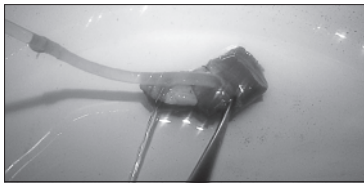


Рис. 2. Секвенциальный шунт. Проксимальный анастомоз с коронарной артерией

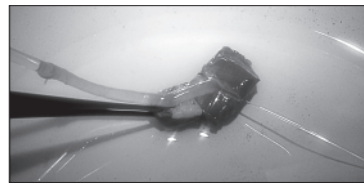


Рис. 3. Секвенциальный шунт. Дистальный анастомоз с коронарной артерией

(P<sub>c1</sub>, P<sub>c2</sub>) – суб-окклюзия и окклюзия просвета коронарной артерии атеросклеротической бляшкой и с увеличением общей суммы радиусов (r<sub>1</sub>, r<sub>2</sub>) коронарных артерий путем множественного коронарного шунтирования.

Следует обратить внимание на последовательность шунтирования коронарных артерий разного диаметра при множественном шунтировании. При шунтировании коронарной артерии меньшего диаметра (r<sub>2</sub> < r<sub>1</sub>) и бедном дистальном русле проксимальным анастомозом уменьшается значение разности давлений в области проксимального анастомоза (↓ΔP<sub>2</sub> ~ ↑R<sub>c2</sub>) за счет высокого гидродинамического сопротивления артерии (R<sub>c1</sub>); тем самым увеличивается разность давлений в области дистального анастомоза (ΔP<sub>1</sub>), который стоит выполнять с коронарной артерией большего диаметра и лучшим дистальным руслом. Таким образом, объемный кровоток в проксимальной коронарной артерии (Q<sub>c2</sub>) будет максимальным и ограниченным только пропускной способностью площади поперечного сечения артерии (πr<sub>2</sub><sup>2</sup>), а объемный кровоток дистальной коронарной артерии

будет увеличен за счет увеличения разности давлений в области дистального анастомоза ( $\uparrow Q_{c1} \sim \uparrow \Delta P_1$ ). Это предположение также поддерживается некоторыми зарубежными исследователями (Joseph F. Sabik III [24], Kerem M. Vural [25]).

В конце исследований проводили сравнение значений объемных токов через каждую модель коронарных шунтов.

Оценка эффективности методики секвенциального шунтирования в клинической практике проводилась путем сравнения летальности в группе пациентов с сопутствующим сахарным диабетом, которым выполнялась операция КШ с широким использованием методики секвенциального шунтирования и по обычной методике. Выбор категории пациентов обусловлен диффузным поражением коронарных артерий у таких пациентов, что требует их множественного шунтирования с использованием методики секвенциального шунтирования, особенно в условиях частого дефицита качественного материала для коронарного шунта у таких пациентов. Нами был проведен анализ результатов операций КШ у пациентов с сахарным диабетом в период с 2005 по 2010 гг. в Национальном институте сердечно-сосудистой хирургии им. Н.М. Амосова.

**Результаты исследования.** Результаты исследования изменений объемной скорости течения через шунт в зависимости от его типа представлены в табл. 1.

Таблица 1

Диаметр вены (v. saphena magna)	Q (вены), мл/мин	Диаметр артерии (A. coronaria)	Q (артерии), мл/мин	Q (шунта), мл/мин
3,5 мм	180±5	2,0 мм	140±10	160±10
		1,5 мм	100±10	

Q – объемная скорость течения

Объемная скорость одиночного шунта, сформированного между веной с диаметром 3,5 мм и коронарной артерией с диаметром 1,5 мм, составляет 100±10 мл/мин. При анастомозировании этой же вены с коронарной артерией 2,0 мм в диаметре объемная скорость составила 140±10 мл/мин. Формирование секвенциального шунта между этой же веной и обеими коронарными артериями привело к увеличению объемной скорости течения в шунте до 160±10 мл/мин., что на 60% больше, чем в одиночном шунте к коронарной артерии в 1,5 мм в диаметре, и на 15% больше, чем в одиночном шунте в 2,0 мм в диаметре.

Анализ особенностей хирургической тактики лечения пациентов с сопутствующим сахарным диабетом, проведенный за шесть лет (с 2005 по 2010 г.), указывает, что количество случаев использования секвенциальных шунтов увеличилось в 2 раза – с 16,7% до 35,6% (табл. 2).

Динамика летальности пациентов представлена в табл. 3.

Анализ динамики летальности пациентов с сахарным диабетом, которым проводилось хирургическое лечение с увеличивающимся процентом секвенциальных шунтов, указывает на уменьшение летальности с 2,8% в 2005 году до 0% в 2010 году.

**Выводы и обсуждение.** Созданная модель коронарных шунтов позволяет оценить объемные скорости течения жидкости через них, а также оценить их изменения в соответствии с изменениями условий протекания жидкости по шунтам и типов коронарных шунтов, в частности, в секвенциальных шунтах. Сравнение результатов исследования

Динамика использования секвенциальных шунтов по годам

Годы	2005	2006	2007	2008	2009	2010	Всего
N-n	72-12	89-26	111-39	104-41	108-41	149-53	633-212
%	16,7	29,2	35,1	39,4	37,9	35,6	33,5

N – количество прооперированных больных;

n – количество прооперированных больных с использованием секвенциальных шунтов

Динамика летальности в группах по годам

Годы	2005	2006	2007	2008	2009	2010	Всего
N-n	72-2	89-1	111-0	104-0	108-0	149-0	633-3
%-let	2,8	1,1	0	0	0	0	0,5

N – количество прооперированных больных;

n – количество умерших

объемных скоростей течения через одиночные и секвенциальные шунты указывает на увеличение значений объемного кровотока в коронарных шунтах при использовании методики секвенциального шунтирования.

В клинической практике секвенциальное шунтирование часто встречается в тех случаях, когда присутствует определенный дефицит качественного материала для создания коронарных шунтов при множественном поражении коронарных артерий. К такой категории относятся пациенты с сопутствующим сахарным диабетом. Пациентам с нарушенным углеводным обменом и вызванным ним специфическим поражением коронарного русла для достижения полной реваскуляризации миокарда чаще проводят шунтирование коронарных артерий второго порядка с использованием методики секвенциального шунтирования.

Снижение летальности пациентов с сопутствующим сахарным диабетом указывает на то, что разработанные и усовершенствованные методики коронарного шунтирования, включающие методику секвенциального шунтирования, позволили предупредить негативное влияние сахарного диабета на непосредственные результаты хирургического лечения ишемической болезни сердца.

Таким образом, использование методики секвенциального шунтирования позволяет не только увеличить полноту реваскуляризации миокарда, что особенно важно для пациентов с сахарным диабетом, но и увеличить объемный кровоток по шунту, что является положительным фактором, увеличивающим длительность функционирования коронарного шунта.

### 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. Effect of blood flow rate on subendothelial proliferation in venous autografts used as arterial substitutes. S.L. Faulkner [et al.] // *Circulation*. – 1975. – Vol. 52. – P. 163–172.
4. Motwani J.G. Aortocoronary saphenous vein graft disease: Patholensis, predisposition, and prevention // *Circulation*. – 1998. – Vol. 97. – P. 916–931.
5. Intraoperative Imaging Techniques to Assess coronary artery bypass graft patency / L. Balacumaraswami, D.Taggart // *Ann Thorac Surg*. – 2007. – Vol. 83. – P. 2251–7.
6. Intraoperative graft assessment during coronary artery bypass surgery// Toshihiro Fukui // *General Thoracic and cardiovascular Surgery*. – 06 January 2015.
7. Coronary artery bypass grafting hemodynamics and anastomosis design: a biomedical engineering review / Dhanjoo N. Ghista, Foad Kabinejadian // *BioMedical Engineerin OnLine*. – 2013. – Vol. 12. – P. 129.
8. Intraoperative flow measurement in coronary artery Surgery: Present applications and future perspectives. – 2009, Giuseppe D’Acona , Rotterdam, The Netherlands.
9. McLean R.C. Relative importance of patient, procedural and anatomic risk factors for early vein graft thrombosis after coronary bypass graft surgery // *The journal of Cardiovascular Surgery*. – 2011 December. – Vol. 52 (6). – P. 877–885.
10. Князев М.Д., Шабалкин Б.В., Сандриков Р.А. Величина кровотока по трансплантату при аортокоронарном шунтировании // *Кардиология*. – 1976. – № 6. – С. 51–55.
11. Moran J., Chen P. Coronary haemodynamics following aortacoronary bypass graft // *Arch. Surg. Chicago*. – 1971. – Vol. 103, N 6. – P. 539.
12. Claude M. Grondin. Blood Flow Through Artery Bypass Grafts Postoperative Patency // *Ann Thorac Surg*. – 1971. – Vol. 12. – P. 574–581.
13. Barner H. Coronary Flow Reserve: Physiologically Important, Operatively Altered and Clinically Emerging // *Ann. Thorac. Surg*. – 1988. – Vol. 45. – N 5.– P. 469.
14. Nordgaard H. Transit-time blood flow measurement in sequential saphenous coronary artery bypass grafts // *Ann. Thorac. Surg*. – 2009. – Vol. 87. – P. 1409–1415.
15. Kim H.J. The impact of sequential versus single anastomoses on flow characteristics and mid-term patency of saphenous vein grafts in coronary bypass grafting // *J.Thorac. Cardiovasc. Surg*. – 2011. – Vol. 141. – P. 750–754.
16. Sewell W.H. Should we do Y-and sequential grafts for coronary bypass? // *Ann. Thorac. Surg*. – 1978. – Vol. 27. – P. 397–398.
17. Kieser T.M. Sequential coronary bypass grafts // *J. Thorac. Cardiovasc. Surg*. – 1986. – Vol. 91. – P. 767–772.
18. Christenson J.T. How serious is a proximal occlusion of a posterolateral sequential bypass? // *Tex. Heart Inst. J*. – 1996. – Vol. 23. – P. 201–206.
19. O’neill M.J., Wolf P.D. A rationale for the use of sequential coronary artery bypass grafts // *J Thorac Cardiovasc Surg*. – 1981, May. – Vol. 81(5). – P. 686–690.
20. J. Alexander. Efficacy and savity of Edifoligide, an E2F Transcription Factor Decoy, for Prevention of Vein Graft Failure Following Coronary Artery Bypass Graft Surgery PREVENT IV: A randomized Controlled Trial // *AMA*. – 2005. – Vol. 294 (19). – P. 2446–2454.
21. Rajendra H. Mehta, John H. Alexander. Saphenous Vein Grafts With Multiple Versus Single Distal Targets in patients undergoing coronary artery bypass graft surgery. One –year graft failure and 5-year outcomes from the project of ex-vivo vein graft engineering via transfection (PREVENT IV) Trial // *Circulation*. – 2011. – Vol. 124. – P. 280–288.
22. Hulusi M., Basaran M. Coronary artery bypass grafting with Y-saphenous vein grafts // *Angiology*. – 2009 Dec. – 2010 Jan. – Vol. 60 (6). – P. 668–75.

23. Jianrong Li, Yongmin Liu. The patency of sequential and individual vein coronary bypass grafts: A Systematic Review // *Ann Thorac. Surg.* – 2011. – Vol. 92. – P. 1292–1298.
24. Understanding Saphenous Vein Graft Patency / Joseph F. Sabik III, MD // *Circulation.* – 2011. – Vol. 124. – P. 273–275.
25. Long-term patency of sequential and individual saphenous vein coronary bypass grafts / Kerem M. Vural // *Eur J Cardiothorac Surg.* – 2001. – Vol. 19 (2). – P. 140–144.

### **Коронарне шунтування за допомогою секвенційних шунтів**

**Руденко А.В., Галич С.С., Гутовський В.В., Купчинський А.В.**

Секвенційне шунтування залишається актуальним і дискусійним питанням коронарної хірургії. Для оцінки особливостей кровотоку в секвенційних шунтах була створена його натуральна модель із судин та міокарда свині з використанням розчину гліцерину. Для оцінки ефективності методики секвенційного шунтування в хірургічній практиці був проведений аналіз результатів хірургічного лікування пацієнтів із супутнім цукровим діабетом (ЦД). Результати дослідження вказують, що використання даної методики дозволяє збільшити повноту реваскуляризації міокарда та сприяє зниженню летальності пацієнтів із ЦД. При цьому секвенційне шунтування збільшує об'ємний кровотік по шунту, що збільшує тривалість функціонування коронарного шунта.

**Ключові слова:** *ішемічна хвороба серця, коронарне шунтування, секвенційні шунти, об'ємний кровотік.*

### **Coronary artery bypass grafting using sequential grafts**

**Rudenko A., Galych S., Gutovskiy V., Kupchynskiy A.**

Sequential grafting is still an actual and debated problem of coronary surgery. In order to assess blood flow natural model of sequential graft was created with porcine vessels and myocardium using glycerol solution. In order to assess effectiveness of method of sequential grafting for surgical treatment of coronary artery disease analysis of outcomes of surgical treatment of ischemic disease heart of patients with diabetes mellitus was performed. Results of investigation revealed that use of this method allow increase of completeness of myocardial revascularization and provide superior survival of patients with concomitant diabetes mellitus. Furthermore, sequential grafting increase volume blood flow velocity of graft that associated with superior graft patency.

**Key words:** *ischemic heart disease, coronary artery bypass surgery, sequential graft, volume blood flow velocity.*