

© А.А. Шмальц, Н.А. Нишонов, 2021

УДК 616.12-007-053.1:616.131-008.331.1]-089.819.5

Эндоваскулярная диагностика легочной гипертензии, ассоциированной с врожденными пороками сердца. Часть 2. Расчет гемодинамики методом Фика

А.А. Шмальц^{1, 2}, Н.А. Нишонов¹

¹ ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр сердечно-сосудистой хирургии им. А.Н. Бакулева» Минздрава России, Москва, Российская Федерация

²ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России, Москва, Российская Федерация

✉ Шмальц Антон Алексеевич, д-р мед. наук, доцент кафедры сердечно-сосудистой хирургии, вед. науч. сотр.; e-mail: shmaltzanton@inbox.ru

Нишонов Насибулло Абдулхамидович, врач – сердечно-сосудистый хирург

Резюме

Метод Фика позволяет отдельно рассчитать гемодинамику большого и малого кругов кровообращения и независимо при лечении больных с врожденными пороками сердца. В статье рассматриваются теоретические и практические аспекты расчета гемодинамики, включая случаи с артериовенозным, веноартериальным и двунаправленным шунтированием. Приводятся классическая таблица LaFarge и Miettinen расчетного потребления кислорода в зависимости от пола, возраста и частоты сердечных сокращений.

Несколько ограничивает метод Фика невозможность катетеризации левого предсердия при интактной межпредсердной перегородке. Неточности, возможные при оценке абсолютных показателей непрямым методом Фика, при расчете их относительных значений нивелируются, а значения по достоверности различий идентичны таковым при прямом методе. Метод Фика, ввиду заведомо высокой погрешности, нецелесообразно применять при наличии другого, помимо системы легочной артерии, источника легочного кровотока, а также при низкой артериовенозной разнице кругов кровообращения.

Ключевые слова: гемодинамика, метод Фика, врожденные пороки сердца

Для цитирования: Шмальц А.А., Нишонов Н.А. Эндоваскулярная диагностика легочной гипертензии, ассоциированной с врожденными пороками сердца. Часть 2. Расчет гемодинамики методом Фика. Эндоваскулярная хирургия. 2021; 8 (4): 339–46. DOI: 10.24183/2409-4080-2021-8-4-339-346

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила 22.10.2021

Принята к печати 12.11.2021

Endovascular diagnostics of pulmonary hypertension associated with congenital heart defects. Part 2. Calculation of hemodynamics by the Fick method

А.А. Shmaltz^{1, 2}, Н.А. Nishonov¹

¹Bakoulev National Medical Research Center for Cardiovascular Surgery, Moscow, Russian Federation

²Russian Medical Academy of Continuing Professional Education, Moscow, Russian Federation

✉ Anton A. Shmaltz, Dr. Med. Sci., Associate Professor at Chair of Cardiovascular Surgery, Leading Researcher; e-mail: shmaltzanton@inbox.ru

Nasirullo A. Nishonov, Cardiovascular Surgeon

Abstract

Fick method allows you to separately calculate the hemodynamics of the pulmonary and systemic circles of blood circulation and is indispensable for congenital heart defects. Theoretical and practical aspects of calculating hemodynamics are considered, including cases with arteriovenous, venoarterial and bidirectional shunting. A classic LaFarge and Miettinen table of estimated oxygen consumption based on gender, age, and heart rate is provided.

Fick method is somewhat limited by the impossibility of catheterization of the left atrium with an intact interatrial septum. Inaccuracies that are possible when assessing absolute indicators by the indirect Fick method are leveled out when calculating their relative values, and the values are identical in reliability to the direct method. Fick method, in view of the obviously high error, is not advisable to use in the presence of a source of pulmonary blood flow other than the pulmonary artery system, as well as in the presence of a low arteriovenous difference in the circulation.

Keywords: hemodynamics, Fick method, congenital heart disease

For citation: Shmaltz A.A., Nishonov N.A. Endovascular diagnostics of pulmonary hypertension associated with congenital heart defects. Part 2. Calculation of hemodynamics by the Fick method. *Russian Journal of Endovascular Surgery*. 2021; 8 (4): 339–46 (in Russ.). DOI: 10.24183/2409-4080-2021-8-4-339-346

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Received October 22, 2021

Accepted November 12, 2021

Принцип расчета гемодинамики методом Фика

Метод Фика позволяет отдельно рассчитать гемодинамику большого и малого кругов кровообращения и незаменим при лечении больных с врожденными пороками сердца (ВПС).

Принцип расчета гемодинамики по Фику образно представлен на рисунке 1 [1]. Поезд, олицетворяющий циркуляцию, доставляет кислород (шарики) от легких (колонка) к органам и тканям (город). Количество кислорода, которым кровь насыщается в легких за единицу времени, всегда равно количеству кислорода, который кровь отдает за то же время органам и тканям [1–5].

При подходе к колонке вагоны поезда на 2/3 уже наполнены шариками, поскольку сатурация (SatO_2) венозной крови кислородом составляет около 70%. Прирост числа шариков при прохождении поезда под колонкой отражает прирост сатурации венозной крови при превращении ее в артериальную, то есть артериовенозную разницу малого круга кровообращения. Зная количество потребляемого кислорода в единицу времени и артериовенозную разницу малого круга кровообращения, легко рассчитать скорость поезда при прохождении под колонкой – сердечный индекс малого круга кровообращения (СИМКК).

При внутрисердечных шунтах артериовенозная разница большого круга кровообращения (снижение сатурации артериальной крови при превращении ее в венозную) будет отличаться от артериовенозной разницы малого круга кровообращения. Поэтому и скорость поезда при

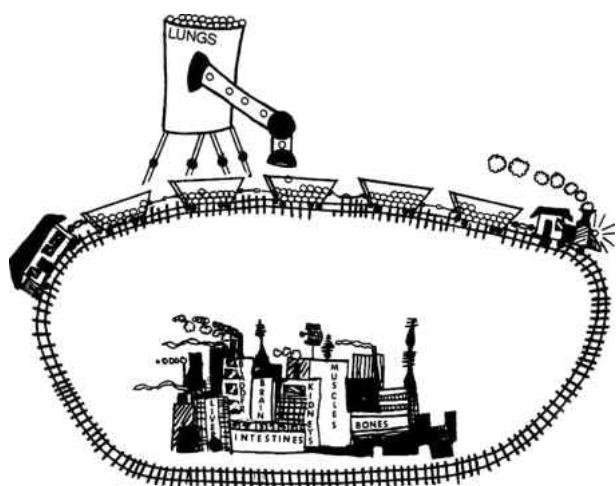


Рис. 1. Иллюстрация принципа Фика [1]. Пояснение в тексте

прохождении через город (сердечный индекс большого круга кровообращения, СИБКК) будет отличаться от его скорости под колонкой.

Расчет сердечного индекса каждого из кругов кровообращения выполняется на основании известных показателей:

- потребления организмом кислорода;
- кислородной емкости крови при полном (100%) ее насыщении;
- кислородной артериовенозной разницы конкретного круга кровообращения по формуле [1–5]:

$$\text{СИ} \quad \frac{\text{потребление организмом } \text{O}_2 \text{ (мл/мин/м}^2\text{)}}{(\text{л/мин/м}^2)} = \frac{\text{потребление организмом } \text{O}_2 \text{ (мл/мин/м}^2\text{)}}{\text{артериовенозная разница}} \\ \times \frac{\text{кислородная емкость крови}}{\text{по } \text{SatO}_2 \text{ на «входе»}} \times \frac{\text{и } \text{«выходе» из круга}}{\text{кровообращения}} \\ (\text{относительная величина})$$

В идеале при расчете гемодинамики *прямым методом Фика* используется истинное потребление кислорода [1–5], измеряемое различными способами в момент забора проб крови из камер сердца (рис. 2). Точность такого расчета максимальна, а метод считается «золотым стандартом». Ввиду сложности и трудоемкости определения истинного потребления кислорода допускается применение [1–6] расчетных табличных значений (см. таблицу [6]), в этом случае *метод Фика называется не-прямым*.

Кровь способна переносить кислород, связанный с гемоглобином и растворенный в плазме. Однако при нормальном атмосферном давлении и дыхании воздухом доля растворенного в плазме кислорода в обеспечении органов и тканей мала (около 1,5%) и ею можно пренебречь [2, 4].

Один грамм гемоглобина крови человека при полном (100%) насыщении связывает, по различным данным, 1,34–1,39 мл кислорода [1–5]; большинство авторов используют значение 1,36 мл. Расчет кислородной емкости крови ($\text{млO}_2/\text{л}$) осуществляется путем умножения уровня гемоглобина пациента (г/л) на коэффициент 1,36.

Артериовенозная разница круга кровообращения – это часть (измеряется в % или как относительный показатель от 1,0) от всего связанного с гемоглобином кислорода, которая отдается в большом круге или приобретается в малом. Артериовенозная разница вычисляется путем вычитания значений SatO_2 «на входе» и «выходе» из круга кровообращения [1–5].

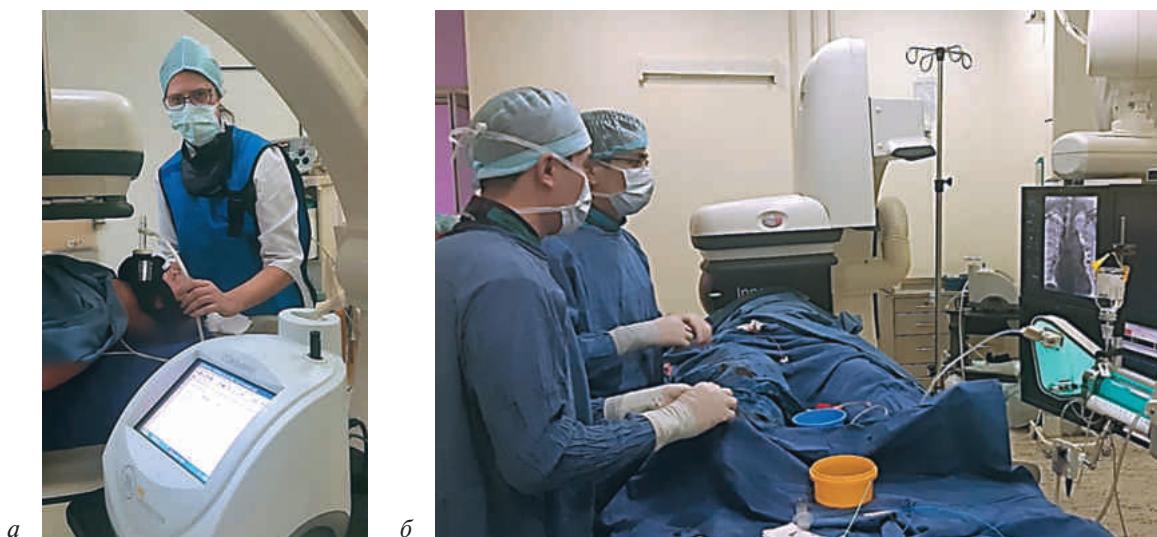


Рис. 2. Определение потребления кислорода методом непрямой калориметрии с помощью системы MedGraphics CCM Express (а) в момент забора проб из полостей сердца (б)

Классическая таблица LaFarge и Miettinen расчетного потребления кислорода ($\text{мл}/\text{мин}/\text{м}^2$) в зависимости от пола, возраста и частоты сердечных сокращений (ЧСС) [6]*

Возраст, лет	Частота сердечных сокращений, уд/мин												
	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170
<i>Пациенты мужского пола</i>													
3				155	159	163	167	171	175	178	182	186	190
4			149	152	156	160	163	168	171	175	179	182	186
6		141	144	148	151	155	159	162	167	171	174	178	181
8		136	141	145	148	152	156	159	163	167	171	175	178
10	130	134	139	142	146	149	153	157	160	165	169	172	176
12	128	132	136	140	144	147	151	155	158	162	167	170	174
14	127	130	134	137	142	146	149	153	157	160	165	169	172
16	125	129	132	136	141	144	148	152	155	159	162	167	
18	124	127	131	135	139	143	147	150	154	157	161	166	
20	123	126	130	134	137	142	145	149	153	156	160	165	
25	120	124	127	131	135	139	143	147	150	154	157		
30	118	122	125	129	133	136	141	145	148	152	155		
35	116	120	124	127	131	135	139	143	147	150			
40	115	119	122	126	130	133	137	141	145	149			
<i>Пациенты женского пола</i>													
3				150	153	157	161	165	169	172	176	180	183
4			141	145	149	152	156	159	163	168	171	175	179
6		130	134	137	142	146	149	153	156	160	165	168	172
8		125	129	133	136	141	144	148	152	155	159	163	167
10	118	122	125	129	133	136	141	144	148	152	155	159	163
12	115	119	122	126	130	133	137	141	145	149	152	156	160
14	112	116	120	123	127	131	134	138	143	146	150	153	157
16	109	114	118	121	125	128	132	136	140	144	148	151	
18	107	111	116	119	123	127	130	134	137	142	146	149	
20	106	109	114	118	121	125	128	132	136	140	144	148	
25	102	106	109	114	118	121	125	128	132	136	140		
30	99	103	106	110	115	118	122	125	129	133	136		
35	97	100	104	107	111	116	119	123	127	130			
50	94	98	102	105	109	112	117	121	124	128			

*Отсутствующие в таблице значения вычисляются по формулам:

– для пациентов мужского пола ($\text{мл}/\text{мин}/\text{м}^2$): $138,1 - 11,49 \times \ln(\text{возраст, лет}) + 0,378 \times (\text{ЧСС, уд/мин})$;

– для пациентов женского пола ($\text{мл}/\text{мин}/\text{м}^2$): $138,1 - 17,04 \times \ln(\text{возраст, лет}) + 0,378 \times (\text{ЧСС, уд/мин})$, где \ln – натуральный логарифм (вычисляется всеми современными калькуляторами).

Для расчета сердечных индексов МКК и БКК используются следующие формулы [1–5]:

$$\text{СИМКК} = \frac{\text{потребление организмом } O_2 \text{ (мл/мин/м}^2\text{)}}{\text{кислородная емкость крови (мл } O_2/\text{л}) \times \frac{\text{артериовенозная разница по } SatO_2 \text{ между легочными венами и легочной артерией (относительная величина)}}{}}$$

$$\text{СИБКК} = \frac{\text{потребление организмом } O_2 \text{ (мл/мин/м}^2\text{)}}{\text{кислородная емкость крови (мл } O_2/\text{л}) \times \frac{\text{артериовенозная разница по } SatO_2 \text{ между аортой и смешанной венозной кровью (относительная величина)}}{}}$$

При ВПС с патологическим сбросом крови СИМКК и СИБКК различаются: при артериовенозном сбросе сердечный индекс малого круга превышает сердечный индекс большого круга, при веноартериальном сбросе, наоборот, сердечный индекс большого круга превышает сердечный индекс малого круга. При ряде ВПС (например, функционально единственном желудочке сердца) возможен двунаправленный

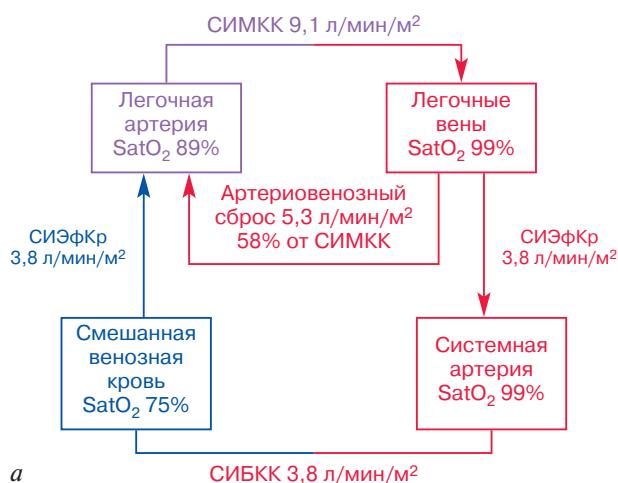
патологический сброс как артериальной, так и венозной крови [1–5].

При артериовенозном сбросе кровоток малого круга кровообращения складывается из полезной венозной части, которая насыщается в легких кислородом, и патологического артериального балласта, не участвующего в газообмене (рис. 3, а).

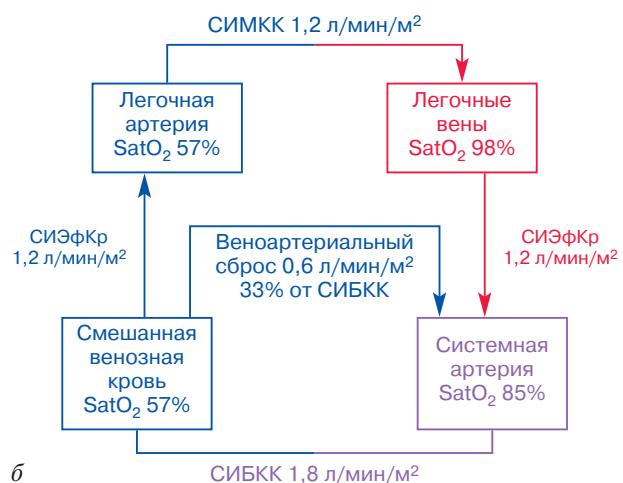
При веноартериальном сбросе кровоток большого круга складывается из полезной артериальной части, отдающей кислород органам и тканям, и не участвующего в газообмене патологического венозного балласта (рис. 3, б).

Двунаправленный сброс характеризуется одновременно патологическим венозным балластом в большом круге и артериальным балластом в малом круге (рис. 3, в).

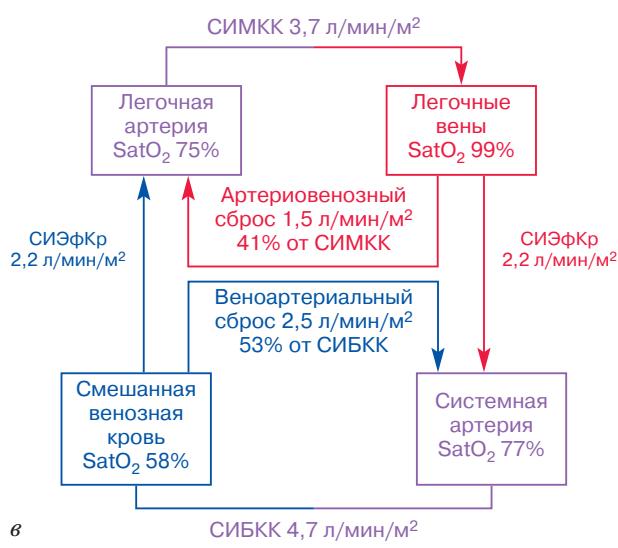
Для расчета величины патологического шунта методом Фика используется понятие так называемого эффективного кровотока – чисто артериальной части кровотока большого круга и чисто венозной части кровотока малого круга,



а



б



в

Рис. 3. Схемы гемодинамики при артериовенозном (а), веноартериальном (б) и двунаправленном (в) шунтировании крови (см. примеры 1–3, модифицировано по [2]).

СИЭФКр – сердечный индекс эффективного кровотока

то есть гипотетического кровотока каждого из кругов без какой-либо патологической примеси [1–5].

Поскольку количество получаемого в легких кислорода равно количеству расходуемого кислорода в органах и тканях, эффективный кровоток большого и малого кругов равны [1–5]. У людей без патологического сброса эффективный кровоток равен также кровотоку большого и малого кругов.

Сердечный индекс эффективного кровотока определяется исходя из артериовенозной разницы между кровью легочных вен и смешанной венозной кровью по формуле [1–5]:

$$\text{СИЭфКр} = \frac{\text{потребление организмом } O_2 (\text{мл}/\text{мин}/m^2)}{\text{артериовенозная разница по } SatO_2 \text{ между легочными венами и смешанной венозной кровью (относительная величина)}}.$$

кислородная
емкость крови
(мл O₂/л) ×

Отношение СИЭфКр/СИМКК (выраженное в % или как часть от 1,0) дает представление о доле венозной крови в легочном кровотоке. Оставшаяся же доля (1,0 – СИЭфКр/СИМКК) определяет величину патологической артериальной примеси (см. ниже примеры 1, 3).

Аналогично отношение СИЭфКр/СИБКК дает представление о доле артериальной крови в системном кровотоке. Оставшаяся доля (1,0 – СИЭфКр/СИБКК) определяет величину патологической венозной примеси (см. ниже примеры 2, 3).

Кровь движется в организме по градиенту давления. Легочное сосудистое сопротивление (ЛСС) – мера постнагрузки венозного желудочка сердца. Для расчета ЛСС (в единицах Вуда/m²) градиент давления крови на «входе» и «выходе» из малого круга необходимо разделить на СИМКК [1–5]. Расчет выполняется по формуле:

$$\text{ЛСС} = \frac{\text{среднее давление в легочной артерии (мм рт. ст.)}}{\text{СИМКК (л/мин}/m^2)} - \frac{\text{среднее давление в левом предсердии (мм рт. ст.)}}{\text{СИМКК (л/мин}/m^2)}.$$

(ед. Вуда/m²)

Следует обратить внимание, что ранее использовавшееся понятие «общелегочное сопротивление» (ОЛС) вычислялось по формуле [1, 2]:

$$\text{ОЛС} = \frac{\text{среднее давление в легочной артерии (мм рт. ст.)}}{\text{СИМКК (л/мин}/m^2)}.$$

(ед. Вуда/m²)

Поэтому у одного и того же пациента значение ЛСС априори ниже, чем ОЛС.

Для расчета периферического сосудистого сопротивления (ПСС) – меры постнагрузки системного желудочка сердца – градиент давления на «входе» и «выходе» из большого круга кровообращения необходимо разделить на СИБКК [1–5]:

$$\text{ПСС} = \frac{\text{среднее давление в аорте (мм рт. ст.)} - \text{среднее давление в правом предсердии (мм рт. ст.)}}{\text{СИБКК (л/мин}/m^2)}.$$

(ед. Вуда/m²)

Значения ЛСС и ПСС в ед. Вуда/m² могут быть переведены в значения дин × с × см⁻⁵ путем умножения на коэффициент 80 [1–5].

Расчет гемодинамики по Фику обычно завершается соотношениями ЛСС/ПСС и СИМКК/СИБКК (Qp/Qs в англоязычной литературе).

Клинические примеры расчета гемодинамики

Пример 1 (см. рис. 3, a). Девочка 3 лет, с большим перимембранным межжелудочковым дефектом, частично прикрытым передней створкой трикуспидального клапана, с артериовенозным сбросом и небольшим межпредсердным дефектом с артериовенозным сбросом. SatO₂ по пульсоксиметру в покое 99–100%. Гемоглобин 130 г/л, кислородная емкость крови 130 × 1,36 = 176,8 мл O₂/л, ЧСС во время катетеризации сердца 110 уд/мин, расчетное потребление кислорода (см. таблицу) 161 мл/мин/m².

SatO₂, %: легочная артерия – 89, легочные вены – 99, восходящая аорта – 99, верхняя полая вена – 75.

Давление, мм рт. ст.: легочная артерия – 90/60 (среднее 70), левое предсердие – 8, восходящая аорта – 92/61 (среднее 72), правое предсердие – 6.

$$\text{СИМКК} = \frac{161}{176,8 \times (0,99 - 0,89)} = 9,1 \text{ л}/\text{мин}/m^2.$$

$$\text{СИБКК} = \frac{161}{176,8 \times (0,99 - 0,75)} = 3,8 \text{ л}/\text{мин}/m^2.$$

$$\text{СИЭфКр} = \frac{161}{176,8 \times (0,99 - 0,75)} = 3,8 \text{ л}/\text{мин}/m^2.$$

$$\text{СИЭфКр}/\text{СИМКК} = 3,8/9,1 = 0,42.$$

$$\text{СИЭфКр}/\text{СИБКК} = 3,8/3,8 = 1,0.$$

Артериовенозный сброс = $1,0 - 0,42 = 0,58$ (58%),
или $9,1 - 3,8 = 5,3$ л/мин/м².

Веноартериальный сброс = $1,0 - 1,0 = 0$ (нет),
или $3,8 - 3,8 = 0$ л/мин/м².

$$\text{ЛСС} = \frac{70 - 8}{9,1} = 6,8 \text{ ед. Вуда/м}^2.$$

$$\text{ПСС} = \frac{72 - 6}{3,8} = 17,4 \text{ ед. Вуда/м}^2.$$

$$\text{ЛСС/ПСС} = 6,8/17,4 = 0,39.$$

$$\text{СИМКК/СИБКК (Qp/Qs)} = 9,1/3,8 = 2,4.$$

Пример 2 (см. рис. 3, б). Мужчина 44 лет, с нерестриктивным подаортальным межжелудочковым дефектом с веноартериальным сбросом (синдром Эйзенменгера). SatO₂ по пульсоксиметру в покое 83–85%. Гемоглобин 187 г/л, кислородная емкость крови $187 \times 1,36 = 254,3$ мл О₂/л, ЧСС во время катетеризации сердца 83 уд/мин, расчетное потребление кислорода $138,1 - 11,49 \times \ln(44) + 0,378 \times 83 = 126$ мл/мин/м². Катетеризовать левое предсердие не представлялось возможным.

SatO₂, %: легочная артерия – 57, левое предсердие – 98 (эмпирически принятное значение), восходящая аорта – 85, правое предсердие – 57.

Давление, мм рт. ст.: легочная артерия – 97/62 (среднее 74), левое предсердие (конечное диастолическое давление левого желудочка, измерено при проведении коронарографии) – 11, восходящая аорта – 95/59 (среднее 71), правое предсердие – 12.

$$\text{СИМКК} = \frac{126}{254,3 \times (0,98 - 0,57)} = 1,2 \text{ л/мин/м}^2.$$

$$\text{СИБКК} = \frac{126}{254,3 \times (0,85 - 0,57)} = 1,8 \text{ л/мин/м}^2.$$

$$\text{СИЭФКр} = \frac{126}{254,3 \times (0,98 - 0,57)} = 1,2 \text{ л/мин/м}^2.$$

$$\text{СИЭФКр/СИМКК} = 1,2/1,2 = 1,0.$$

$$\text{СИЭФКр/СИБКК} = 1,2/1,8 = 0,67.$$

Артериовенозный сброс = $1,0 - 1,0 = 0$ (нет),
или $1,2 - 1,2 = 0$ л/мин/м².

Веноартериальный сброс = $1,0 - 0,67 = 0,33$ (33%),
или $1,8 - 1,2 = 0,6$ л/мин/м².

$$\text{ЛСС} = \frac{74 - 11}{1,2} = 52,5 \text{ ед. Вуда/м}^2.$$

$$\text{ПСС} = \frac{71 - 12}{1,8} = 32,8 \text{ ед. Вуда/м}^2.$$

$$\text{ЛСС/ПСС} = 52,5/32,8 = 1,6.$$

$$\text{СИМКК/СИБКК (Qp/Qs)} = 1,2/1,8 = 0,67.$$

Пример 3 (см. рис. 3, в). Мальчик 9 мес, с двуpritочным левым желудочком, транспозиционным расположением магистральных сосудов, дефектом межпредсердной перегородки и стенозом легочной артерии; значимой недостаточности атриовентрикулярных клапанов нет. SatO₂ по пульсоксиметру в покое 75–76%. Гемоглобин 152 г/л, кислородная емкость крови $152 \times 1,36 = 206,7$ мл О₂/л, ЧСС во время катетеризации сердца 118 уд/мин, расчетное потребление кислорода $138,1 - 11,49 \times \ln(0,75) + 0,378 \times 118 = 186$ мл/мин/м².

SatO₂, %: легочная артерия – 75, легочные вены – 99, восходящая аорта – 77, верхняя полая вена – 58.

Давление, мм рт. ст.: легочная артерия – 15/3 (среднее 7), левое предсердие – 3, восходящая аорта – 82/57 (среднее 65), правое предсердие – 3.

$$\text{СИМКК} = \frac{186}{206,7 \times (0,99 - 0,75)} = 3,7 \text{ л/мин/м}^2.$$

$$\text{СИБКК} = \frac{186}{206,7 \times (0,77 - 0,58)} = 4,7 \text{ л/мин/м}^2.$$

$$\text{СИЭФКр} = \frac{186}{206,7 \times (0,99 - 0,58)} = 2,2 \text{ л/мин/м}^2.$$

$$\text{СИЭФКр/СИМКК} = 2,2/3,7 = 0,59.$$

$$\text{СИЭФКр/СИБКК} = 2,2/4,7 = 0,47.$$

Артериовенозный сброс = $1,0 - 0,59 = 0,41$ (41%),
или $3,7 - 2,2 = 1,5$ л/мин/м².

Веноартериальный сброс = $1,0 - 0,47 = 0,53$ (53%),
или $4,7 - 2,2 = 2,5$ л/мин/м².

$$\text{ЛСС} = \frac{7 - 3}{3,7} = 1,1 \text{ ед. Вуда/м}^2.$$

$$\text{ПСС} = \frac{65 - 3}{4,7} = 13,2 \text{ ед. Вуда/м}^2.$$

$$\text{ЛСС/ПСС} = 1,1/13,2 = 0,08.$$

$$\text{СИМКК/СИБКК (Qp/Qs)} = 3,7/4,7 = 0,79.$$

Особенности забора проб крови из полостей сердца

При катетеризации сердца у больных с ВПС образцы крови на «входе» в большой круг кровообращения могут быть взяты в восходящей аорте или крупной системной артерии (за исключением случаев открытого артериального протока с обратным сбросом), образцы крови

на «выходе» из большого круга — по крайней мере на одну камеру сердца «выше» камеры, где имеется шунт (при открытом артериальном протоке и дефекте аортолегочной перегородки — в правом желудочке, при межжелудочковом дефекте — в правом предсердии, при межпредсердном дефекте — в полых венах, при аномальном дренаже легочных вен — в полых венах «выше» места дренажа). У пациентов без внутрисердечных шунтов идеально смешанной венозной кровью считается кровь легочной артерии [1–5].

Обычно SatO_2 в нижней полой вене несколько выше (за счет крови почечных вен), в верхней полой вене — ниже, а в коронарном синусе — значительно ниже. У индивидуумов без внутрисердечных шунтов SatO_2 в верхней полой вене и смешанной венозной крови близки. Поэтому при наличии межпредсердного дефекта или аномального дренажа легочных вен за смешанную венозную кровь принимают кровь верхней полой вены [1, 2, 4].

Образцы крови на «входе» в малый круг кровообращения могут быть взяты из ствола или ветвей легочной артерии (в случае открытого артериального протока или дефекта аортолегочной перегородки — дистальнее места шунтирования).

Для забора образцов крови на «выходе» из малого круга кровообращения (в левом предсердии или легочных венах) необходим межпредсердный дефект или открытое овальное окно. Если межпредсердная перегородка интактна, катетеризовать левое предсердие не представляется возможным, а SatO_2 в аорте или системной артерии 95% и выше, это значение принимается и за SatO_2 в левом предсердии [1–5]. Причиной незначительного (в пределах 95–99%) снижения SatO_2 артериальной крови могут быть тубезиевые вены сердца или небольшой внутрилегочный шунт.

Если SatO_2 системной артериальной крови меньше 95%, причина гипоксемии (внутрисердечное, внутрилегочное шунтирование, заболевания легких, депрессия дыхания вследствие глубокой седации и др.) должна быть верифицирована. При отсутствии межпредсердного дефекта, но наличии другого внутрисердечного сброса (и отсутствии патологии легких) SatO_2 в левом предсердии эмпирически принимают за 98%.

Для получения адекватных значений SatO_2 в полостях сердца важны правильный забор и анализ проб крови [1–5]:

- использование катетера с одним дистальным отверстием;
- точное позиционирование и адекватное промывание катетера;
- забор проб за максимально короткий период времени (для исключения возможных изменений гемодинамики) и в момент определения потребления кислорода;
- забор проб при самостоятельном дыхании воздухом (исключить из дыхательной смеси кислород) в состоянии покоя и/или умеренной седации (глубокая седация может сопровождаться неадекватной вентиляцией легких);
- забор проб в гепаринизированные шприцы без остаточных пузырьков воздуха;
- забор двух идентичных проб для верификации данных;
- минимизация времени с момента забора до анализа проб.

Расчет гемодинамики по Фику следует начинать после знакомства с анатомией и клиникой ВПС: диагнозом, типичными для него нарушениями гемодинамики, числом и возможным направлением шунтов, SatO_2 по пульсоксиметру на руках и ногах и др.); чисто механистический, не учитывающий клиническую картину подход может снизить информативность и достоверность метода [1–5].

Ограничения метода

Несколько ограничивает метод Фика невозможность катетеризации левого предсердия при интактной межпредсердной перегородке. Неточности, возможные при оценке абсолютных показателей (СИМКК, СИБКК, СИЭФКр, ЛСС и ПСС) непрямым методом Фика, при расчете их относительных значений (СИЭФКр/СИМКК, СИЭФКр/СИБКК, артериовенозный и веноартериальный сброс, ЛСС/ПСС) нивелируются, а значения по достоверности идентичны таковым при прямом методе [1–5].

Метод Фика, ввиду заведомо высокой погрешности, нецелесообразно применять при наличии другого, помимо системы легочной артерии, источника легочного кровотока (коллатеральные артерии большого круга кровообращения при атрезии легочной артерии, гемитрункус и др.), а также при низкой артериовенозной разнице кругов кровообращения (транспозиция магистральных сосудов, дыхание 100% кислородом и др.) [1–5, 7]. Дыхание 100% кислородом ограничивает метод Фика и за счет повышения (до 8–14%) доли растворенно-

го в плазме кислорода в обеспечении органов и тканей [2, 4, 7].

Литература/References

1. Grossman & Baim's. Cardiac catheterization, Angiography, and intervention. 8th ed. Lippincott Williams & Williams; 2014.
2. Pepine C.J., Hill J.A., Lambert C.R. (Eds). Diagnostic and therapeutic cardiac catheterization. 2nd ed. Williams & Wilkins; 1994.
3. Chessa M. Cardiac catheterization. In: Dimopoulos K., Dilker G.P. (Eds). Pulmonary hypertension in adult congenital heart disease. Springer; 2017. DOI: 10.1007/978-3-319-46028-4
4. Grifka R.G. Cardiac catheterization and angiography. In: Allen H.D., Driscoll D.J., Shaddy R.E., Feltes T.F. (Eds). Moss and Adams' heart disease in infants, children, and adolescents. 7th ed. Lippincott Williams & Wilkins; 2008.
5. Mullins C.E. Cardiac catheterization in congenital heart disease: pediatric and adult. Blackwell; 2007.
6. LaFarge C.G., Miettinen O.S. The estimation of oxygen consumption. *Cardiovasc. Res.* 1970; 4 (1): 23–30. DOI: 10.1093/cvr/4.1.23
7. Del Cerro M.J. Cardiac catheterization in children with pulmonary hypertensive vascular disease: consensus statement from the Pulmonary Vascular Research Institute, Pediatric and Congenital Heart Disease Task Forces. *Pulm. Circ.* 2016; 6 (1): 118–25. DOI: 10.1086/685102