

**Дзюрий І. В.**, лікар-кардіохірург відділення хірургічного лікування вроджених вад серця у новонароджених та дітей молодшого віку, <https://orcid.org/0000-0002-1073-7060>

**Труба Я. П.**, канд. мед. наук, завідувач відділу хірургічного лікування вроджених вад серця у новонароджених та дітей молодшого віку, <https://orcid.org/0000-0001-5214-408X>

**Прокопович Л. М.**, лікар-кардіохірург відділення хірургічного лікування вроджених вад серця у новонароджених та дітей молодшого віку, <https://orcid.org/0000-0003-0113-8944>

**Филипчук В. В.**, лікар-кардіохірург відділення хірургічного лікування вроджених вад серця у новонароджених та дітей молодшого віку, <https://orcid.org/0000-0001-6921-9746>

**Лазоришинець В. В.**, д-р мед. наук, академік НАМН України, професор, директор інституту, <https://orcid.org/0000-0002-1748-561X>

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

## Оцінювання оптимізації легеневого і системного кровотоку в дітей після двонаправленого кавапульмонального анастомозу

**Резюме.** У пацієнтів після двонаправленого кавапульмонального анастомозу потік крові по верхній порожнистій вені, забезпечуючи ефективний легеневий кровотік, є найбільш важливим фактором, що впливає на насичення крові киснем. Потік крові по нижній порожнистій вені рециркулює у системний кровотік. Дослідження співвідношення цих потоків дасть змогу краще зрозуміти фізіологію кровообігу після анастомозу та визначити системну насиченість крові киснем і оптимальний термін виконання оперативного втручання.

**Мета роботи.** Визначити об'ємний кровотік у верхній порожнистій вені, розрахувати коефіцієнт легеневого/системного кровотоку в дітей після двонаправленого кавапульмонального анастомозу та оцінити його вклад у серцевий викид і сатурацію кисню в системному кровотоку.

**Матеріали та методи.** За період із січня 2010 по червень 2021 року в ДУ «Національний інститут серцево-судинної хірургії імені М. М. Амосова НАМН України» проведено гемодинамічну корекцію у 51 пацієнта з вродженими вадами серця зі збідненим легеневим кровотоком. Пацієнтів чоловічої статі було 29 (57 %), жіночої – 22 (43 %). Середній вік пацієнтів на момент операції становив  $34 \pm 18,2$  міс. (від 2 до 120 міс.), середній вік пацієнтів на момент обстеження –  $43,5 \pm 28,4$  міс. (від 12 до 134 міс.). Основним методом діагностики у визначенні вади та оцінювання безпосередніх і віддалених результатів було ехокардіографічне дослідження та зондування порожнин серця. Для оцінювання оптимізації легеневого/системного кровотоку використовували рівняння, отримані відповідно до методу Фіка. Окремо розраховували коефіцієнт легеневого/системного потоку для 35 пацієнтів. Серед обстежених 35 пацієнтів 18 дітей були віком понад 2,5 року, тому умовно поділили всіх обстежених на 2 вікові групи: I група ( $n = 17$ ) – віком до 2,5 року, II група ( $n = 18$ ) – віком понад 2,5 року, щоб оцінити вклад верхньої порожнистої вени у системний кровотік залежно від віку.

**Результати.** Коефіцієнт легеневого/системного потоку розрахований для 35 пацієнтів  $Q_p/Q_s = (82 \% - 66 \%) / (97 \% - 66 \%) = 0,52$ . Розрахований серцевий індекс за даними ЕхоКГ становив  $4,0 \pm 0,85$  л/хв/м<sup>2</sup>, що співвідноситься з насиченістю верхньої порожнистої вени ( $r = 0,60$ ,  $p < 0,001$ ). Потік верхньої порожнистої вени =  $2,08$  л/хв/м<sup>2</sup>. Відзначалась дуже цікава тенденція зниження середнього показника системної сатурації у пацієнтів після двонаправленого кавапульмонального анастомозу залежно від віку і терміну оперативного втручання. Так, у 17 пацієнтів I групи розрахований  $Q_p/Q_s$  становив  $(84 \% - 67 \%) / (97 \% - 67 \%) = 0,57$ . У пацієнтів II групи середня системна сатурація кисню досягала  $78 \pm 2 \%$  (від 65 до 81 %). Розрахований  $Q_p/Q_s$  для 18 пацієнтів II групи =  $(78 \% - 66 \%) / (97 \% - 66 \%) = 0,39$  що свідчить про зниження легеневого/системного коефіцієнта з ростом дитини. Зменшення системного насичення після двонаправленого кавапульмонального анастомозу у пацієнтів зі збільшенням віку та площі поверхні тіла пов'язане зі зменшенням пропорційного потоку з верхньої порожнистої вени. Тому на нашому клінічному матеріалі ми підтвердили феномен зміни легеневого/системного коефіцієнта залежно від віку, що був описаний Salim et al. за результатами дослідження, яке було проведено на здорових малюках.

**Висновки.** Внесок потоку верхньої порожнистої вени у загальний серцевий викид після двонаправленого кавапульмонального анастомозу безпосередньо має зв'язок із віком пацієнта і поступово знижується у пацієнтів старшої вікової групи, на що вказує зниження системної сатурації, тому клінічний ефект двонаправленого кавапульмонального анастомозу може бути значно кращий при виконанні операції в період раннього дитинства.

**Ключові слова:** вроджені вади серця, двонаправлений кавапульмональний анастомоз, легеневий/системний кровотік, гемодинамічна корекція, збіднений легеневий кровотік, сатурація кисню, гіпоплазія правого шлуночка, півторашлуночкова корекція.

**Вступ.** Двонаправлений кавапульмональний анастомоз (ДКПА) є частиною гемодинамічної корекції складних вроджених вад серця (ВВС), наведених у таблиці 1. При його формуванні здійснюється відведення крові в легеневу артерію тільки з басейну верхньої порожнистої вени (ВПВ). У зв'язку з цим анастомоз відіграє важливу роль у хірургічному лікуванні вроджених вад серця зі збідненим легеневим кровотоком. Анастомоз між ВПВ і правою гілкою легеневої артерії є частковою корекцією гемодинаміки в обхід правого шлуночка. На цьому етапі розвитку кардіохірургії дуже рідко використовується класичний варіант цього втручання. Перевага віддається більш сучасній модифікації у вигляді ДКПА, який у більшості пацієнтів з ціанотичною вродженою вагою серця використовується як стабільна паліативна процедура на шляху до створення тотального кавапульмонального сполучення «операції Фонтена» [1]. Як такий, ДКПА зменшує об'ємне навантаження на системний шлуночок і забезпечує адаптивний підхід на етапах лікування до та після процедури Фонтена [2, 7]. З моменту свого заснування [3, 6] техніка ДКПА змінилася, але не основна фізіологічна концепція. Потік із ВПВ завдяки своїй ефективності забезпечує легеневий кровотік та визначає сатурацію кисню в системному кровотоку. Вплив кровотоку по ВПВ на загальний стан серця у здорових дітей був описаний Salim et al. і безпосередньо залежав від віку дитини. Ступінь підвищення оксигенації системного кровотоку після виконання ДКПА залежить від віку пацієнта, додаткових джерел кровопостачання легень і наявності непарного або напівнепарного продовження нижньої порожнистої вени (НПВ) у ВПВ. У процесі росту дитини кількість крові, що притікає із системи ВПВ, змінюється. Так, у новонароджених вона становить 49 % об'єму циркулюючої крові, у дітей віком 2,5 року досягає 55 %, а пізніше з розвитком дитини поступово зменшується і після 6 років становить 35 % [4]. Ці дані можуть впливати на терміни виконання оперативного втручання у пацієнтів зі збідненим легеневим кровотоком.

**Мета роботи.** Визначити об'ємний кровотік у верхній порожнистій вени, розрахувати коефіцієнт легеневого/системного кровотоку в дітей після двонаправ-

леного кавапульмонального анастомозу та оцінити його вклад у серцевий викид і сатурацію кисню в системному кровотоку.

**Матеріали та методи.** За період із січня 2010 по червень 2021 року в ДУ «Національний інститут серцево-судинної хірургії імені М. М. Амосова НАМН України» проведено гемодинамічну корекцію у 51 пацієнта з такими ВВС: атрезія легеневої артерії з інтактною міжшлуночковою перегородкою (МШП) та гіпоплазією правого шлуночка (ГПШ) (n = 2), аномалія Ебштейна з ГПШ (n = 3), атріовентрикулярний септальний дефект (АВСД) із стенозом легеневої артерії (СЛА) (n = 10), подвійне відходження магістральних судин від правого шлуночка (ПШ) із СЛА (n = 11), Д-транспозиція магістральних судин з ГПШ (n = 3), синдром гіпоплазії правих відділів серця (n = 15), синдром гіпоплазії лівих

**Таблиця 1**

Діагноз та супутні ВВС

№ з/п	Діагноз	Кількість пацієнтів
1	ГПВС (атрезія ТК, стеноз ЛА)	10 (19 %)
2	ГПВС (гіпоплазія ТК, стеноз ЛА)	5 (10 %)
3	ПВМС від ПШ транспозиційний тип, стеноз ЛА	8 (15 %)
4	Аномалія Ебштейна з гіпоплазією ПШ	3 (6 %)
5	Загальний шлуночок з ТМС, стеноз ЛА	3 (6 %)
6	Загальний шлуночок з легеневою гіпертензією	4 (8 %)
7	Загальний шлуночок, стеноз ЛА	2 (4 %)
8	АВСД. Загальний шлуночок. ТМС. Стеноз ЛА	2 (4 %)
9	АВСД. Загальний шлуночок, стеноз ЛА	3 (6 %)
10	АВСД. Загальний шлуночок. Атрезія ЛА II типу	2 (4 %)
11	Коригована ТМС, ДМШП, атрезія ЛА II типу	2 (4 %)
12	Синдром гіпоплазії лівих відділів серця	2 (4 %)
13	АВСД, ПВМС від ПШ, стеноз ЛА	3 (6 %)
14	Загальний шлуночок по лівому типу із стенозом ЛА	2 (4 %)

*Примітка.* ГПВС – гіпоплазія правих відділів серця, ПВМС – подвійне відходження магістральних судин, ТК – тристулковий клапан, ЛА – легенева артерія, ТМС – транспозиція магістральних судин, ДМШП – дефект міжшлуночкової перегородки.

відділів серця (n = 2), загальний шлуночок (n = 5). Діагноз та супутні ВВС показані в таблиці 1.

Пацієнтів чоловічої статі було 29 (57 %), жіночої – 22 (43 %). Середній вік пацієнтів на момент операції становив  $34 \pm 18,2$  міс. (від 2 до 120 міс.), середній вік пацієнтів на момент обстеження –  $43,5 \pm 28,4$  міс. (від 12 до 134 місяців). Усім пацієнтам перед операцією, інтраопераційно та у післяопераційному періоді виконували загальноклінічні, біохімічні, бактеріологічні дослідження, записували електрокардіографію, виконували рентгенографію органів грудної клітки в прямій проекції. Основним методом діагностики у визначенні вади та оцінювання безпосередніх і віддалених результатів було ехокардіографічне (ЕхоКГ) дослідження та зондування порожнин серця. Для оцінювання оптимізації легеневого/системного кровотоку використовували рівняння, виведені відповідно до методу Фіка. Характеристика пацієнтів та їх гемодинамічні показники до операції наведені в таблиці 2.

Усі операції формування ДКПА виконували через серединну стернотомію в умовах штучного кровообігу. Використали дві модифікації ДКПА: у праву гілку ЛА «Bi-Di Glenn» – у 45 (88 %) хворих, двобічний у праву і ліву гілки ЛА «Bilateral Bi-Di-Glenn» – у 6 (12 %) хворих, в яких була додаткова лівостороння ВПВ. У 47 (92 %) пацієнтів ДКПА використовували як етапну часткову гемодинамічну корекцію, серед яких у 2 (4 %) пацієнтів як II етап операції Norwood. Метод півторашлуночкової корекції застосували у 4 пацієнтів: у 3 (6 %) – при аномалії Ебштейна III та IV типу з ГПШ, де виконали пластику ТК і доповнили ДКПА, і ще в 1 (2 %) пацієнта з ДМШП, поєднаної з ГПШ, виконали пластику дефекта латкою з ДКПА.

Загалом у поєднанні з ДКПА додатково виконали ще 37 процедур: у 19 (37 %) хворих з одношлуночко-

вим серцем, поєднаним з іншими внутрішньосерцевими аномаліями, найчастіше здійснювали часткову резекцію міжпередсердної перегородки – атріосепт-ектомію. Вважали таку процедуру обов'язковою у пацієнтів з атрезією одного з передсердно-шлуночкових клапанів і рестриктивним дефектом міжпередсердної перегородки, тому що останній є єдиним отвором для відведення крові з передсердя із зарощеним клапаном. Також 18 (35 %) пацієнтам, яким попередньо було виконано анастомоз Блелока – Тауссіг, провели його закриття або відсічення.

Катетеризацію порожнин серця виконали 35 (68 %) пацієнтам через 6 місяців після операції. Вимірювали насичення крові та тиск у ВПВ, НПВ, легеневій артерії і венах, правому і лівому передсердях та аорті. Характеристика пацієнтів та їх гемодинамічні показники у віддаленому періоді наведено в таблиці 3.

Серцевий індекс було розраховано згідно з рівнянням 1.

$$CI = \frac{XOK}{S} = \frac{YO \times ЧСС}{S}, \quad (1)$$

де CI – серцевий індекс, XOK – хвилиний об'єм кровообігу, S – площа поверхні тіла, YO – ударний об'єм, ЧСС – частота серцевих скорочень.

Припускаючи відсутність системного або легеневого шунтування і незначний коронарний кровотік, потік ВПВ = легенево-венозному потоку ( $Q_p$ ) = легенево-венозному потоку крові. Однак за наявності додаткового легеневого шунтування легенево-венозний потік був би більшим, ніж у ВПВ.

Відповідно до принципу Фіка: системний серцевий викид ( $Q_s$  л/хв) = легеневий венозний потік крові ( $Q_p$ ) + потік крові в НПВ ( $Q_{ivs}$ ); рівняння 2.

$$Q_s = Q_p + Q_{ivs}; \quad Q_{ivs} = Q_s - Q_p \quad (2)$$

**Таблиця 2**

Доопераційна характеристика (n = 51)

Показник	Середнє значення $\pm$ SD	Діапазон
Вік (міс.)	$34 \pm 18,2$	2–120
Вага (кг)	$12,5 \pm 5,4$	4,2–35
Зріст (см)	$88,5 \pm 21,4$	50–140
Площа поверхні тіла (м <sup>2</sup> )	$0,57 \pm 0,1$	0,32–1
Тиск у ВПВ (мм рт. ст.)	$9,8 \pm 4,9$	3–16
Тиск ПП (мм рт. ст.)	$4,8 \pm 3,9$	2–15
Тиск СЛА (мм рт. ст.)	$10,1 \pm 4,5$	4–16
Тиск у ЛП (мм рт. ст.)	$7,7 \pm 5$	2–18
Тиск в аорті (мм рт. ст.)	$94/58 \pm 11$	80/50–125/90
Сатурація кисню (%)	$73 \pm 9$	60–93

Примітка. ПП – праве передсердя, ЛП – ліве передсердя.

**Таблиця 3**

Післяопераційна характеристика (n = 35)

Показник	Середнє значення $\pm$ SD	Діапазон
Вік (міс.)	$43,5 \pm 28,4$	12–134
Вага (кг)	$14,6 \pm 7,2$	6,2–45
Зріст (см)	$95,2 \pm 21,3$	65–138
Площа поверхні тіла (м <sup>2</sup> )	$0,63 \pm 0,2$	0,35–1,4
Тиск у ВПВ (мм рт. ст.)	$12 \pm 1,9$	6–20
Тиск у ЛП (мм рт. ст.)	$6 \pm 2$	2–18
Системна сатурація кисню (%)	$82 \pm 4$	76–91
Сатурація кисню у ВПВ (%)	$60 \pm 5$	37–78
Сатурація кисню в НПВ (%)	$66 \pm 4$	40–81
Сатурація кисню в ЛП (%)	$97 \pm 1$	94–99
Системний опір (од./м <sup>2</sup> Woods)	$16 \pm 3,9$	7,7–24
Легеневий опір (од./м <sup>2</sup> Woods)	$2,2 \pm 0,9$	0,5–4,8

Системний транспорт кисню крові (мл/хв) = транспорт оксигенованої крові по легеневиx венах + транспорт кисню крові по НПВ, отже,  $Q_s \times$  (здатність переносити кисень)  $\times SA_{sat} = Q_p \times$  (здатність переносити кисень)  $\times PV_{sat} + (Q_s - Q_p) \times$  (здатність переносити кисень)  $\times IVC_{sat}$ .

Здатність переносити кисень є незмінною для того самого гемоглобіну в того самого пацієнта під час катетеризації та спростовує рівняння таким чином:

$$\begin{aligned} Q_s \times SA_{sat} &= Q_p \times PV_{sat} + Q_s \times IVC_{sat} - Q_p \times IVC_{sat} \\ Q_s \times SA_{sat} - Q_s \times IVC_{sat} &= Q_p \times PV_{sat} - Q_p \times IVC_{sat} \\ Q_s \times (SA_{sat} - IVC_{sat}) &= Q_p \times (PV_{sat} - IVC_{sat}) \end{aligned} \quad (3)$$

$Q_p/Q_s$  = співвідношення легеневого/системного потоку крові;  $SA_{sat}$  = системна сатурація;  $IVC_{sat}$  = сатурація НПВ;  $PV_{sat}$  = насичення легеневиx вен.

Розрахунок співвідношення легеневого/системного потоку є правильним, навіть за наявності колатеральних судин, оскільки для цього розрахунку був використаний легеневиx венозний потік, а не потік по ВПВ. За відсутності колатеральних судин насичення ВПВ дорівнюватиме насиченню легеневої артерії і легеневиx потік також може бути розрахований за рівнянням 4.

$$Q_p = \frac{\text{споживання кисню}}{PV_{sat} - PA_{sat}} \quad (4)$$

В іншому випадку слід використовувати найбільш дистальне насичення легеневої артерії у рівнянні 4. Системний серцевий викид можна обчислити за відомим відношенням легеневого/системного потоку у рівнянні 5.

$$Q_s = \frac{\text{споживання кисню} \times (PV_{sat} - IVC_{sat})}{(PV_{sat} - PA_{sat}) \times (SA_{sat} - IVC_{sat})} \quad (5)$$

**Результати.** Летальних випадків після операції та у віддаленому періоді спостереження не відзначалось. У більшості хворих (47 (92 %) хворих) сама операція формування ДКПА анастомозу проходила без ускладнень, тоді як у 4 (8 %) хворих під час операції виникли гостра серцева недостатність (n = 3) та кровотеча (n = 1), які було вирішено за допомогою консервативної терапії та тривалого гемостазу. Неускладнений перебіг раннього післяопераційного періоду спостерігали у 41 (80 %) хворого. Інші 10 (20 %) пацієнтів мали різні ускладнення, які пояснювались дією несприятливих чинників доопераційного стану та специфічними змінами кровообігу, що характерні для ДКПА. Зазвичай як ускладнення раннього післяопераційного періоду відзначали дихальну недостатність, але в жодному випадку вона не стала причиною смерті. У генезі дихальної недостатності лежали зміни в легенях, що пов'язані з підвищеним тиском у ВПВ. У період спостереження від 6 до 36 місяців було обстежено 35

(68 %) пацієнтів. При проведенні обчислень враховували дані системної сатурації, віку під час катетеризації та площу поверхні тіла. Середній показник системної сатурації в 35 пацієнтів становив  $82 \pm 4$  % (від 65 до 91 %). Вміст кисню в крові ВПВ сягав  $60 \pm 5$  % (від 37 до 78 %) та НПВ –  $66 \pm 4$  % (від 40 до 81 %). Середнє значення сатурації кисню в лівому передсерді та/або в легеневиx венах становило  $97 \pm 1$  % (від 94 до 100 %). Отже, коефіцієнт легеневого/системного потоку, згідно з рівнянням 3, розрахований спочатку для всіх досліджених 35 пацієнтів у віддаленому періоді  $Q_p/Q_s = (82 \% - 66 \%) / (97 \% - 66 \%) = 0,52$ . Таким чином, наведене тут відношення легеневого/системного потоку підтверджує результати ехокардіографічно-доплерівської оцінки потоку крові у ВПВ, про яку повідомляли Salim et al. [4]. Розрахований серцевий індекс згідно з даними ЕхоКГ за формулою для 35 пацієнтів:  $CI = \frac{2600}{0,64} = \frac{20 \times 130}{0,64} = 4,0$  л/хв/м<sup>2</sup>, що співвідноситься з насиченістю ВПВ ( $r = 0,60$ ,  $p < 0,001$ ).

Потік ВПВ, виходячи з пропорції, становить  $4,0 \times \frac{52}{100} = 2,08$  л/хв/м<sup>2</sup>. Серед обстежених 35 пацієнтів 18 дітей

були віком понад 2,5 року, тому умовно поділили всіх обстежених на 2 вікові групи: I група (n = 17) – віком до 2,5 року, II група (n = 18) – віком понад 2,5 року, щоб оцінити вклад ВПВ у системний кровотік залежно від віку. Відзначалась дуже цікава тенденція зниження середнього показника системної сатурації у пацієнтів після ДКПА залежно від віку і терміну оперативного втручання. Так, розрахований  $Q_p/Q_s$  у 17 пацієнтів I групи становив  $(84 \% - 67 \%) / (97 \% - 67 \%) = 0,57$ . У пацієнтів II групи середня системна сатурація кисню досягала  $78 \pm 2$  % (від 65 до 81 %). Розрахований  $Q_p/Q_s$  для 18 пацієнтів II групи  $(78 \% - 66 \%) / (97 \% - 66 \%) = 0,39$  що свідчить про зниження легеневого/системного коефіцієнта з ростом дитини.

**Обговорення.** У здорової дитини в стані спокою різниця вмісту кисню між артеріальною та змішаною венозною кров'ю становить близько 25 %, а венозна кров із ВПВ і НПВ проходить через легені і стає повністю насичена киснем [5, 8, 9]. У дітей з двонаправленою кавапульмональною шунтовою циркуляцією лише венозна кров, що повертається через ВПВ (за умови відсутності додаткового легеневого кровотоку) проходить через легені і насичується киснем до того, як вона потрапить до системного кровообігу. З іншого боку, кров НПВ повертається в системний кровообіг без проходження через легені і змішується з повністю насиченою кров'ю, що повертається легеневиx венами. Утворена суміш у результаті фізіологічного шунта справа наліво є відповідальною за системну десатурацію у хворих після ДКПА. Спроба провести оцінювання оптимізації легеневого/системного потоку завдяки методу Фіка вказує

на те, що спостерігається дозріваюча зміна внеску потоку ВПВ у загальний серцевий викид. Ця зміна пояснює системне насичення у немовлят 84 % (при цьому понад 50 % серцевого викиду забезпечує ВПВ) після ДКПА. Зменшення системного насичення у цих пацієнтів до 78 % віком понад 2,5 року пов'язане зі зменшенням пропорційного потоку з ВПВ. Така інформація має вирішальне значення для нашого розуміння фізіології ДКПА й термінів оперативних втручань.

Завдяки комплексному підходу оцінювання оптимізації легеневого/системного кровотоку у пацієнтів після ДКПА можлива, але є надзвичайно складною і залежить від багатьох факторів та анатомічних особливостей. У пацієнтів з ДКПА колатеральні судини та додатковий кровотік по ЛА можуть становити значно більше повернення в систему легеневої артерії і, відповідно, більший легенево-системний коефіцієнт. Наявність колатеральних судин збільшує легеневий кровотік і, відповідно, сатурацію кисню в системному кровотоку. Ці дані є критично важливими для розуміння потоків після ДКПА. В подальшому для оцінювання оптимізації легеневого/системного кровотоку необхідне застосування додаткових, більш сучасних методів діагностики.

#### Висновки

1. Оцінювання оптимізації легеневого/системного кровотоку після ДКПА є надзвичайно складною проблемою, яка потребує використання комбінованих методів діагностики, «поєднання як інструментальних, так і математичних підходів».
2. Внесок потоку верхньої порожнистої вени у загальний серцевий викид після ДКПА безпосередньо має зв'язок з віком пацієнта і поступово знижується у пацієнтів старшої вікової групи, на що вказує зниження системної сатурації, тому клінічний ефект ДКПА може бути значно кращий при виконанні операції в період раннього дитинства.

Автори заявляють про відсутність потенційних конфліктів інтересів.

#### Список використаних джерел

#### References

1. Hopkins RA, Armstrong BE, Serwer GA, Peterson RJ, Oldham HN Jr. Physiological rationale for a bidirectional cavopulmonary shunt. A versatile complement to the Fontan principle. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 1985;90:391-398.
2. Sharma R. The bidirectional Glenn shunt for univentricular hearts. *Indian J Thorac Cardiovasc Surg.* 2018;34(4):453-456. <https://doi.org/10.1007/s12055-018-0653-z>.
3. Edelson JB, Ravishankar C, Griffis H, Zhang X, Faerber J, Gardner MM, Naim MY, Maccio CE, Glatz AC, Goldberg DJ. A Comparison of Bidirectional Glenn vs. Hemi-Fontan Procedure: An Analysis of the Single Ventricle Reconstruction Trial Public Use Dataset. *Pediatr Cardiol.* 2020;41(6):1166-1172. <https://doi.org/10.1007/s00246-020-02371-6>.
4. Salim MA, DiSessa TG, Arheart KL, Alpert BS. Contribution of superior vena caval flow to total cardiac output in children. A Doppler echocardiographic study. *Circulation.* 1995;92(7):1860-1865. <https://doi.org/10.1161/01.cir.92.7.1860>.
5. Zinkovsky MF. [Congenital heart disease]. Vozianov AF, editor. Kyiv; 2009. Russian. Зиньковский МФ. Врожденные пороки сердца. Под ред. акад. Возианова АФ. Киев: Книга Плюс; 2009.
6. Talwar S, Siddharth B, Choudhary SK, Airan B. One and half ventricle repair: rationale, indications, and results. *Indian J Thorac Cardiovasc Surg.* 2018;34(3):370-380. <https://doi.org/10.1007/s12055-017-0628-5>.
7. Sainathan S, da Fonseca da Silva L, da Silva JP. Ebstein's anomaly: contemporary management strategies. *J Thorac Dis.* 2020;12(3):1161-1173. <https://doi.org/10.21037/jtd.2020.01.18>.
8. Ma K, Qi L, Hua Z, Yang K, Zhang H, Li S, Zhang S, He F, Wang G. Effectiveness of Bidirectional Glenn Shunt Placement for Palliation in Complex Congenitally Corrected Transposed Great Arteries. *Tex Heart Inst J.* 2020;47(1):15-22. <https://doi.org/10.14503/THIJ-17-6555>.
9. Saleem K, Ahmed I, Sultan M, Haq IU, Younus U, Novick WM. Bidirectional Glenn for residual outflow obstruction in Tetralogy of Fallot. *Cardiol Young.* 2019;29(5):684-688. <https://doi.org/10.1017/S1047951119000866>.

## Evaluation of Optimization of Pulmonary and Systemic Blood Flow in Children after Bidirectional Cavopulmonary Anastomosis

Ivan V. Dziuryi, Iaroslav P. Truba, Liliya M. Prokopovych, Vasyl V. Fylypchuk, Vasyl V. Lazoryshynets

National Amosov Institute of Cardiovascular Surgery of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

**Abstract.** In patients after bidirectional cavopulmonary anastomosis, blood flow through the superior vena cava (SVC), providing effective pulmonary blood flow, is the most important factor influencing blood oxygen saturation. Blood flow through the inferior vena cava recirculates into the systemic bloodstream. The study of the ratio of these flows will provide better understanding of the physiology of blood circulation after anastomosis and determine systemic oxygen saturation of blood and optimal time to perform surgery.

**The aim.** To determine volumetric blood flow in the SVC, calculate pulmonary to systemic blood flow ratio in children after bidirectional cavopulmonary anastomosis, and evaluate its contribution to cardiac output and oxygen saturation in systemic blood flow.

**Materials and methods.** In the period from January 2010 to June 2021, 51 patients with congenital heart defects with depleted pulmonary blood flow underwent hemodynamic correction at the National Amosov Institute of Cardiovascular Surgery of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine. There were 29 male patients (57%) and 22 female patients (43%). The mean age of the patients at the time of the surgery was  $34 \pm 18.2$  months (2 to 120 months), the mean age of patients at the time of examination was  $43.5 \pm 28.4$  months (12 to 134 months). The main method of diagnosis in determining the defect and assessing the immediate and long-term results was echocardiographic examination and probing of the heart cavities. To evaluate the optimization of pulmonary/systemic blood flow we used equations obtained using the Fick method. Pulmonary to systemic blood flow ratio was calculated separately for 35 patients. Among the examined 35 patients, 18 children were older than 2.5 years, so all the examined patients were conveniently divided into 2 age groups: I group (n = 17) up to 2.5 years, II group (n = 18) older than 2.5 years to assess the contribution of SVC to the systemic circulation depending on age.

**Results.** Pulmonary to systemic blood flow ratio was calculated for 35 patients  $Q_p/Q_s = (82\% - 66\%) / (97\% - 66\%) = 0.52$ . The calculated cardiac index according to echocardiography was  $4.0 \pm 0.85$  L/min/m<sup>2</sup> which corresponds to the SVC saturation (r = 0.60, p = <0.001). The flow in the superior vena cava = 2.08 L/min/m<sup>2</sup>. There was a very interesting trend towards decrease in the average rate of systemic saturation in patients after bidirectional cavapulmonary anastomosis depending on age and duration of surgery. Thus, in 17 patients of group I, the calculated  $Q_p/Q_s$  was  $(84\% - 67\%) / (97\% - 67\%) = 0.57$ . In patients of group II, the average systemic oxygen saturation was  $78 \pm 2\%$  (from 65% to 81%). Calculated  $Q_p/Q_s$  for 18 patients of group II =  $(78\% - 66\%) / (97\% - 66\%) = 0.39$ , which indicates a decrease in pulmonary to systemic ratio with the growth of the child.

Decreased systemic saturation after bidirectional cavapulmonary anastomosis in patients with increasing age and body surface area is associated with a decrease in the proportional flow from the superior vena cava. Therefore, in our clinical material, we confirmed the phenomenon of change in pulmonary to systemic ratio depending on age, which was described by Salim et al. according to a study conducted on healthy babies.

**Conclusions.** The contribution of SVC flow to total cardiac output after bidirectional cavapulmonary anastomosis is directly associated with the patient's age and gradually decreases in older patients, as indicated by a decrease in systemic saturation, so the clinical effect of bidirectional cavapulmonary anastomosis may be significantly better when performing surgery in early childhood.

**Keywords:** congenital heart defects, bidirectional cavapulmonary anastomosis, pulmonary/systemic blood flow, hemodynamic correction, depleted pulmonary blood flow, oxygen saturation, right ventricular hypoplasia, one and a half ventricle repair.

Стаття надійшла в редакцію 30.07.2021 р.