



ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО УРАВНЕНИЯ ФИКА В ЛЕЧЕНИИ ПАЦИЕНТОВ С ФИЗИОЛОГИЕЙ ЕДИНСТВЕННОГО ЖЕЛУДОЧКА СЕРДЦА

¹ Научно-исследовательский институт – Краевая клиническая больница № 1 им. проф. С.В. Очаповского, Краснодар, Россия

² Кубанский государственный медицинский университет, Краснодар, Россия

✉ Н.Б. Карахалис, НИИ – ККБ № 1 им. проф. С.В. Очаповского, 350086, Краснодар, ул. 1 Мая, 167, karakhalis@mail.ru

Поступила в редакцию 9 июля 2020 г. Исправлена 10 августа 2020 г. Принята к печати 11 августа 2020 г.

Структурно-функциональные аномалии сердечно-сосудистой системы, сопровождающиеся физиологией единственного желудочка сердца, с точки зрения периоперационного ведения являются наиболее сложными. Одним из эффективных инструментов оценки клинического статуса пациента и параметров респираторной и гемодинамической поддержки представляется использование модифицированной формулы Фика для параллельной циркуляции.

Ключевые слова:
Цитировать:

единственный желудочек сердца, респираторное управление, модифицированное уравнение Фика. Карахалис Н.Б. Использование модифицированного уравнения Фика в лечении пациентов с физиологией единственного желудочка сердца. *Инновационная медицина Кубани*. 2020;(4):48–50. <https://doi.org/10.35401/2500-0268-2020-20-4-48-50>

Nikolay B. Karakhalis^{1,2}

THE MODIFIED FICK PRINCIPLE IN THE MANAGEMENT OF PATIENTS WITH A SINGLE VENTRICLE

¹ Scientific Research Institute – Ochapovsky Regional Clinical Hospital no. 1, Krasnodar, Russian Federation

² Kuban State Medical University, Krasnodar, Russian Federation

✉ Nikolay B. Karakhalis, Scientific Research Institute – Ochapovsky Regional Clinical Hospital no. 1, ul. 1 Maya, 167, Krasnodar, 350086, karakhalis@mail.ru

Received: 9 July 2020. Received in revised form: 10 August 2020. Accepted: 11 August 2020.

Structural and functional cardiovascular abnormalities associated with single ventricle physiology are particularly challenging in terms of perioperative management. The modified Fick principle is considered to be one of the most effective tools for evaluating a patient's clinical status as well as the parameters of respiratory and hemodynamic support.

Keywords:

Cite this article as:

single ventricle, respiratory management, the modified Fick principle.

Karakhalis N.B. The modified Fick principle in the management of patients with a single ventricle. *Innovative Medicine of Kuban*. 2020;(4):48–50. <https://doi.org/10.35401/2500-0268-2020-20-4-48-50>

Болезни сердечно-сосудистой системы являются одной из ведущих причин заболеваемости и смертности как у взрослых, так и у пациентов в детском и неонатальном периоде. Среди всех врожденных пороков сердца наибольшую проблему представляют структурно-функциональные аномалии, сопровождающиеся физиологией единственного желудочка сердца [1, 2]. Для этой группы врожденных пороков сердца, хирургическое лечение которых реализуется на первом году жизни, оправдано использование стратегии респираторного и гемодинамического управления, направленного на поддержание тонкого баланса между системным и легочным кругами кровообращения. Знание и понимание механизмов респираторного

управления, а также динамическая оценка ключевых физиологических параметров является залогом успеха в лечении пациентов с физиологией единственного желудочка сердца [3].

Ближайший послеоперационный период для пациентов с унiventрикулярной физиологией – время стремительных изменений в условиях воссозданной физиологии параллельной циркуляции. Миокард младенцев характеризуется фиксированным ударным объемом, сократительная активность скомпрометирована перенесенной ишемией миокарда и/или реперфузией, ассоциированной с кардиохирургическим вмешательством. Эти изменения, в свою очередь, проявляются как систолической, так и диастолической дисфункцией



Статья доступна по лицензии Creative Commons Attribution 4.0.

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 License.

миокарда, приводя к нарушениям сердечного выброса [4]. Эндотелиальная дисфункция системного и легочно-артериального кругов кровообращения приводит к нарушениям сосудистого ответа. Это происходит, когда потребность в транспорте кислорода достаточно высока [5]. Метаболические потребности также высоки в силу хирургической травмы тканей, высвобождения катехоламинов, системного воспалительного ответа, происходящих после искусственного кровообращения, изменения температуры, а также истощения запасов высокоэнергетических фосфатов. Данные патофизиологические изменения происходят в послеоперационном периоде, когда доставка и потребление кислорода нарушены. Нераспознанные нарушения доставки кислорода могут послужить пусковым механизмом развития полиорганной недостаточности и в значительной степени повысить риски летального исхода [6].

Приемы респираторного управления основаны на влиянии концентрации медицинских газов O_2 и CO_2 на легочно-сосудистое сопротивление (PVR, pulmonary valve resistance). Известно, что гипоксия и гиперкапния могут приводить к повышению PVR, улучшая тем самым системный кровоток и снижая отношение легочного кровотока к системному (Q_p/Q_s , pulmonary-systemic flow ratio) [7]. В то же время при повышенном системном кровотоке снижено содержание кислорода (CaO_2), что не должно сопровождаться уменьшением системной доставки кислорода [8]. Тонкий баланс между двумя кругами кровообращения в условиях параллельной циркуляции – залог успешного респираторного управления. Основными критериями в выборе стратегии респираторного и гемодинамического управления являются клиническая оценка, определение SpO_2 (с целевыми значениями 75–85%), темп мочеотделения, эхокардиографическая картина. При этом регистрируемые рутинные гемодинамические параметры не отображают истинного состояния кислородного транспорта [3]. Более тонким инструментом в оценке Q_p/Q_s может быть использование модифицированного уравнения Фика, а также определение артериовенозной разницы содержания кислорода. Уровень SvO_2 является интегральным показателем сердечной производительности, и его сниженное значение может не находить подтверждения при рутинном мониторинге артериального давления, частоты сердечных сокращений (ЧСС) и SaO_2 .

Согласно уравнению Фика (the Fick principle),

$$CO = \frac{(O_2 \text{ consumption})}{(SaO_2 - SvO_2) \times 1.36 \times 10},$$

где CO – сердечный выброс,

SaO_2 – системная артериальная сатурация,

SvO_2 – системная венозная сатурация.

Для детей с параллельной циркуляцией насыщение кислородом в аорте и легочной артерии одина-

ково, поскольку берет начало из единого желудочка сердца. Потому соотношение Q_p/Q_s может быть описано следующей модифицированной формулой уравнения Фика:

$$\frac{Q_p}{Q_s} = \frac{(SaO_2 - SvO_2)}{(ScO_2 - SaO_2)},$$

где ScO_2 – сатурация в капиллярах легочной артерии, которая принимается за 96%.

Определение системной венозной сатурации (SvO_2) возможно через трансторакально установленный в полость предсердия катетер (3Fr) либо через один из портов катетера, чаще позиционированного у устья нижней полой вены. Контроль положения катетера проводится эхокардиографически и/или рентгенографически.

Использование расчетов Q_p/Q_s на основе уравнения Фика наряду с другими клиническими и инструментальными данными, такими как пульсоксиметрическая оценка насыщения гемоглобина кислородом ($SpO_2\%$), определение параметров гемодинамики (артериального давления (АД), предсердного давления, ЧСС), темпа мочеотделения, уровня лактата, помогает динамично интерпретировать происходящие изменения в условиях параллельной циркуляции.

Определение системной венозной сатурации (SvO_2) также оправдано для расчета артериовенозной разницы по кислороду. Содержание кислорода зависит от концентрации гемоглобина (Hb), насыщения кислорода ($SO_2\%$) и максимального количества кислорода, который может быть транспортирован 1 граммом гемоглобина (1,34 мл кислорода на 1 г гемоглобина).

Артериальное содержание кислорода:

$$CaO_2 = 1,34 \times Hb \times SaO_2,$$

венозное содержание кислорода:

$$CvO_2 = 1,34 \times Hb \times SvO_2,$$

потому артериовенозная разница по кислороду

$$(a-vDO_2) = (SaO_2 - SvO_2) \times 1,34 \times Hb.$$

Так, например, если гемоглобин = 15 g/dl,

$$SaO_2 = 98\%, SvO_2 = 75\%,$$

$$\text{то } (a-vDO_2) = (0,98 - 0,75) \times 1,34 \times 15 = 4,62.$$

В норме $(a-vDO_2)$ должна быть ≤ 5 .

Определение разницы артериальной (SaO_2) и венозной (SvO_2) сатурации также имеет физиологическое значение, поскольку этот показатель обратно пропорционален сердечному выбросу (большая разница – низкий сердечный выброс). В норме в условиях нормальной физиологии эта разница составляет около 20%, для пациентов с физиологией единственного желудочка сердца в условиях параллельной циркуляции и глубокой седации может достигать 20–25%, а при пробуждении – 25–30%, что может быть связано с ростом метаболических потребностей.

Пример клинического использования определения SvO₂ у пациента с физиологией единственного желудочка сердца

Пациент М., возраст 9 суток, вес 3,5 кг, рост 52 см, доставлен из перинатального центра. При проведении эхокардиографии распознан синдром гипоплазии левого сердца с атрезией аорты, атрезией митрального клапана, дуктус-зависимой циркуляцией. Выполнена операция Норвуда в модификации Блэлок – Тауссиг шунта как источника легочного кровотока; время искусственного кровообращения – 2 ч. 40 мин., время ишемии миокарда – 43 мин., время циркуляторного ареста в условиях селективной перфузии головного мозга – 11 мин.

При поступлении в палату интенсивной терапии ЧСС 155 уд/мин, АД 65/38/30 мм рт. ст., центральное венозное давление 6 мм рт. ст.; инотропная поддержка в виде инфузии допамина 7 мкг/кг/мин, адреналина 0,07 мкг/кг/мин, милренона 0,35 мкг/кг/мин; проводилась анальгезия фентанилом 5 мкг/кг/ч, осуществлен хирургический диастаз грудины. Параметры искусственной вентиляции легких: FiO₂ = 80%, f = 24/мин, PIP = 15 см H₂O, РЕЕР = 5 см H₂O, SaO₂ – 78%, SvO₂ – 42%.

Тогда, согласно модифицированному уравнению Фика,

$$Q_p = (SaO_2 - SvO_2) = 78 - 42 = 36$$

$$Q_s = (ScO_2 - SaO_2) = 96 - 78 = 18$$

$$Q_p/Q_s = 36:18 = 2:1$$

Таким образом, легочный кровоток превышает системный вдвое, а артериовенозная разница насыщения кислорода 36% наглядно демонстрирует сниженный сердечный выброс.

На фоне проведения интенсивной терапии, направленной на увеличение преднагрузки и доз инотропных препаратов, достигнуто повышение сердечного выброса: ЧСС 165 уд/мин, АД 64/43/32 мм рт. ст., центральное венозное давление 12 мм рт. ст.; параметры искусственной вентиляции легких остались без изменения; SaO₂ – 80%, SvO₂ – 59%

$$Q_p = (SaO_2 - SvO_2) = 80 - 59 = 21$$

$$Q_s = (ScO_2 - SaO_2) = 96 - 80 = 16$$

$$Q_p/Q_s = 21:16 = 1,3:1$$

Успешное респираторное и гемодинамическое управление с использованием модифицированного уравнения Фика позволило достигнуть клинического улучшения. Грудная клетка была сведена на третьи сутки, пациент отлучен от респираторной поддержки на 12-й послеоперационный день и переведен в отделение на 15-е сутки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение модифицированного уравнения Фика является важным инструментом в оценке гемодинамического статуса пациентов с физиологией единственного желудочка сердца после операции Норвуда.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Hamzah M, Othman HF, Baloglu O, Aly H. Outcomes of hypoplastic left heart syndrome: analysis of National Inpatient Sample Database 1998–2004 versus 2005–2014. *Eur J Pediatr*. 2020;179:309–16. PMID: 31741094. <https://doi.org/10.1007/s00431-019-03508-3>
2. Corno AF. 'Functionally' univentricular hearts: impact of pre-natal diagnosis. *Front Pediatr*. 2015;3:15. PMID: 25774365. PMID: PMC4343004. <https://doi.org/10.3389/fped.2015.00015>
3. Dhillon S, Yu X, Zhang G, Cai S, Li J. Clinical hemodynamic parameters do not accurately reflect systemic oxygen transport in neonates after the Norwood procedure. *Congenit Heart Dis*. 2015;10:234–9. PMID: 24965584. <https://doi.org/10.1111/chd.12196>
4. Grattan M, Mertens L. Mechanics of the functionally univentricular heart – how little do we understand and why does it matter? *Can J Cardiol*. 2016;32:1033.e11–8. PMID: 26919793. <https://doi.org/10.1016/j.cjca.2015.11.001>
5. Tweddell J, Hoffman GM. Postoperative management in patients with complex congenital heart disease. *Surg Pediatr Card Surg Annu*. 2002;5:187–205. PMID: 11994879. <https://doi.org/10.1053/pcsu.2002.31499>
6. Hoffman GM, Ghanayem NS, Kampine JM, et al. Venous saturation and anaerobic threshold in neonates after the Norwood procedure for hypoplastic left heart syndrome. *Ann Thorac Surg*. 2000;70:1515–20; discussion 1521. PMID: 11093480. [https://doi.org/10.1016/s0003-4975\(00\)01772-0](https://doi.org/10.1016/s0003-4975(00)01772-0)
7. Thomas L, Flores S, Wong J, Looma R. Acute effects of hypoxic gas admixtures on pulmonary blood flow and regional oxygenation in children awaiting Norwood palliation. *Cureus*. 2019;11:e5693. PMID: 31720161. PMID: PMC6823009. <https://doi.org/10.7759/cureus.5693>
8. Francis DP, Willson K, Throne SA, Davies LC, Coats AJ. Oxygenation in patients with a functionally univentricular circulation and complete mixing of blood: are saturation and flow interchangeable? *Circulation*. 1999;100:2198–203. PMID: 10571980. <https://doi.org/10.1161/01.cir.100.21.2198>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

Карахалис Николай Борисович, к. м. н., заведующий отделением реанимации и анестезиологии № 9, НИИ – ККБ № 1 им. проф. С.В. Очаповского; доцент кафедры анестезиологии, реаниматологии и трансфузиологии факультета повышения квалификации и профессиональной переподготовки специалистов, Кубанский государственный медицинский университет (Краснодар, Россия). <https://orcid.org/0000-0002-6266-4799>

Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CREDENTIALS

Nikolay B. Karakhalis, Cand. of Sci. (Med.), Head of the Department of Anaesthesiology and Resuscitation no. 9, Scientific Research Institute – Ochapovsky Regional Clinical Hospital no. 1; Associate Professor, Anaesthesiology, Resuscitation and Transfusiology Department for Advanced Training, Kuban State Medical University (Krasnodar, Russian Federation). <https://orcid.org/0000-0002-6266-4799>

Funding: the study was not sponsored.

Conflict of interest: none declared.