

## Мифы и реальность транспульмональной термодилуции у детей

© А.У. ЛЕКМАНОВ<sup>1,2</sup>, Д.К. АЗОВСКИЙ<sup>3</sup>, Н.А. ПОНОМАРЕВА<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГАБОУ ВО «Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова» Минздрава России, Москва, Россия;

<sup>2</sup>ГБУЗ города Москвы «Детская городская клиническая больница №9 им. Г.Н. Сперанского ДЗМ», Москва, Россия;

<sup>3</sup>АО «Группа Компаний «Медси», Москва, Россия

### РЕЗЮМЕ

Транспульмональная термодилуция — широко используемый метод оценки гемодинамических изменений у взрослых и детей, находящихся в критическом состоянии, но применение метода вне строгих показаний, неправильная интерпретация полученных данных могут привести к ошибочным клиническим решениям. Представленный обзор с критическим анализом демонстрирует историю применения метода транспульмональной термодилуции, клинические проблемы, ограничения при измерении параметров центральной гемодинамики у детей.

**Ключевые слова:** транспульмональная термодилуция, дети, гемодинамика.

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ:

Лекманов А.У. — <https://orcid.org/0000-0003-0798-1625>; e-mail: aulek@rambler.ru

Азовский Д.К. — <https://orcid.org/0000-0003-2352-0909>

Пonomareva Н.А. — <https://orcid.org/0000-0002-4396-5369>

**Автор, ответственный за переписку:** Лекманов А.У. — e-mail: aulek@rambler.ru

### КАК ЦИТИРОВАТЬ:

Лекманов А.У., Азовский Д.К., Пonomareva Н.А. Мифы и реальность транспульмональной термодилуции у детей. *Анестезиология и реаниматология*. 2021;1:60–64. <https://doi.org/10.17116/anaesthesiology202101160>

## Myths and realities of transpulmonary thermodilution in children

© А.У. LEKMANOV<sup>1,2</sup>, D.K. AZOVSKIY<sup>3</sup>, N.A. PONOMAREVA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russia;

<sup>2</sup>Speransky Children's City Clinical Hospital No. 9, Moscow, Russia;

<sup>3</sup>Group of Companies Medsi JSC, Moscow, Russia

### ABSTRACT

Transpulmonary thermodilution is widely used method for hemodynamic assessment in critically ill adults and children. However, the use of this method without strict indications and incorrect interpretation of data may lead to incorrect clinical decisions. This review is devoted to history of transpulmonary thermodilution, clinical problems and limitations in hemodynamic measurements in children.

**Keywords:** transpulmonary thermodilution, children, hemodynamics.

### INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Lekmanov A.U. — <https://orcid.org/0000-0003-0798-1625>; e-mail: aulek@rambler.ru

Azovskiy D.K. — <https://orcid.org/0000-0003-2352-0909>

Ponomareva N.A. — <https://orcid.org/0000-0002-4396-5369>

**Corresponding author:** Lekmanov A.U. — e-mail: aulek@rambler.ru

### TO CITE THIS ARTICLE:

Lekmanov AU, Azovskiy DK, Ponomareva NA. Myths and realities of transpulmonary thermodilution in children. *Russian Journal of Anaesthesiology and Reanimatology = Anesteziologiya i Reanimatologiya*. 2021;1:60–64. (In Russ.). <https://doi.org/10.17116/anaesthesiology202101160>

В июне 2020 г. мы провели систематический поиск в электронных базах данных PubMed и Российского индекса научного цитирования (РИНЦ) и включили в обзор 45 источников, в которых авторы исследовали метод транспульмональной термодилуции у детей и взрослых. Всего поиск по запросу transpulmonary thermodilution в категории

All child в период с 1994 г. индексирует 52 работы, по запросу «транспульмональная термодилуция», «дети» на платформе eLIBRARY — 5 работ.

История измерения сердечного выброса (СВ) берет свое начало с исследования Adolf Fick, когда 9 июля 1870 г. на заседании Физико-медицинского общества

(Physikalisch-Medizinische Gesellschaft) в Вюрцбурге состоялась демонстрация способа определения сердечного выброса (СВ) у животного путем измерения уровня кислорода в артериальной и смешанной венозной крови, что отражает количество кислорода, поглощаемого единицей объема крови при прохождении через легкие [1].

В 1897 г. George Neil Stewart в эксперименте вводил болюс раствора хлорида натрия в центральную вену собак и кроликов в состоянии анестезии и затем исследовал концентрацию натрия в крови, полученной из бедренной артерии. Так появился метод «разведения индикатора» [2]. Однако G.N. Stewart не учел тот факт, что кровоток имеет ламинарный характер, при котором скорость прохождения индикатора различается в центре и на периферии сосуда, что продемонстрировали в 1928 г. W. Hamilton и соавт. [3].

Термодиллюция в определенной степени напоминает данный метод, но обеспечивает получение аналогичных данных с помощью менее сложного механизма обнаружения индикатора. Автором идеи является George Fegler, ученый, представлявший Совет по сельскохозяйственным исследованиям института физиологии животных в Кембридже (Agricultural Research Council, Institute of Animal Physiology, Cambridge). В 1953 г. G. Fegler представил результаты эксперимента на собаках, в котором в качестве индикатора использовал холодный раствор Рингера. Точность этого метода установлена путем сравнения результатов, полученных методом термодиллюции, с результатами измерений СВ *in vitro* и методом Фика, данные демонстрировали хорошую сопоставимость [4].

Дальнейшие исследования W. Ganz и соавт. [5], J. Forrester и соавт. [6] в начале 70-х годов прошлого столетия привели к применению метода термодиллюции для клинической оценки показателей центральной гемодинамики у пациентов, находящихся в критическом состоянии, с использованием катетера, установленного в легочную артерию. Авторами метода стали Jeremy Swan и William Ganz [7]. Долгое время предложенная технология оставалась «золотым стандартом» для определения сердечного индекса у взрослых пациентов. Однако в педиатрической кардиохирургии использование катетера Swan—Ganz было крайне затруднительным, особенно у детей раннего возраста с массой тела до 10 кг и у пациентов с измененной сердечно-легочной анатомией [8]. В ходе исследования Evaluation Study of Congestive Heart Failure and Pulmonary Artery Catheterization Effectiveness (ESCAPE) изучена эффективность лечения застойной сердечной недостаточности в зависимости от показателей гемодинамики, полученных при катетеризации легочной артерии [9]. Результаты этого исследования и клинических исследований острого респираторного дистресс-синдрома, проведенных ARDS Network, свидетельствуют о том, что катетеризация легочной артерии не снижает летальность или длительность пребывания пациентов в стационаре и может быть связана с большим числом осложнений [9, 10].

За последние несколько лет в качестве альтернативы катетеризации легочной артерии появилось несколько менее инвазивных методов гемодинамического мониторинга [11].

Транспульмональная термодиллюция (ТПТД) является одним из тех методов, которые наиболее часто используются при ведении пациентов отделений интенсивной терапии. На сегодняшний день доступны два устройства: PiCCO (Pulsion Medical Systems, Германия) и VolumeView (Edwards Lifesciences, США), которые обеспечивают измерение не только СВ, но и других показателей, оценивающих преднагрузку, сократимость, уровень внесосудистой

воды легких (ВСВЛ), проницаемость легочных капилляров, и разрешены для применения у детей, находящихся в критическом состоянии [12].

Формула расчета СВ с использованием метода ТПТД хорошо известна и имеет следующий вид:

$$СВ = \frac{(T_k - T_i) \cdot V_i \cdot K}{\int \Delta T_b \cdot dt}, \quad (1)$$

где  $T_k$  — температура крови;  $T_i$  — температура вводимого раствора;  $V_i$  — объем вводимого раствора;  $\int \Delta T_b \cdot dt$  — площадь под кривой термодиллюции;  $K$  — константа коррекции (зависит от массы и температуры).

Интерпретация показателей, полученных методом ТПТД, помогает врачу в принятии клинических решений у гемодинамически нестабильных пациентов, как у взрослых [13], так и у детей, находящихся в критическом состоянии [14]. Исследования, проведенные в конце XX века, демонстрируют необходимость мониторинга показателей центральной гемодинамики у детей, в них авторы подчеркивают, что низкий СВ сопровождается более высокими показателями летальности у детей, находящихся в состоянии шока [15, 16].

Измерения, полученные методом ТПТД, по сравнению с измерениями, полученными с помощью катетера, установленного в легочную артерию у детей, продемонстрировали удовлетворительную сопоставимость данных и хорошую корреляцию, авторы сообщили о небольшом завышении показателей сердечного индекса, полученных методом ТПТД, однако средняя разница составила только 4,4%, что в цифровом выражении исчисляется в 0,191 л/мин/м<sup>2</sup> [17].

R. Thiele и соавт. в своем обзоре, основываясь на анализе 1526 работ, констатируют, что термодиллюция является точным методом для определения СВ как у животных, так и у взрослых и детей по сравнению с экспериментальными эталонными стандартами измерения [18]. Наши исследования подтвердили гипотезу о сопоставимости данных, полученных путем ТПТД и трансторакальной доплерографии (ТТДГ), при определении параметров центральной гемодинамики [19], однако необходимо отметить, что ни один из методов не является эталонным.

Наиболее важным нам представляется вопрос, являются ли нормальные показатели, рекомендованные для взрослых пациентов, идентичными для пациентов педиатрической когорты?

Различия в нормальных значениях традиционных показателей центральной гемодинамики у детей и взрослых, таких как сердечный индекс (СИ), ударный индекс (УИ), индекс общего периферического сосудистого сопротивления (иОПСС), хорошо известны, неоднократно опубликованы в литературе и представлены непосредственно в справочных материалах компаний-производителей [20, 21].

Однако ТПТД предоставляет гораздо больший набор показателей, которые необходимо интерпретировать, и особое внимание необходимо обращать на показатели индекса глобального конечного диастолического объема, а также индекса ВСВЛ (иВСВЛ).

Измерение количества ВСВЛ, которое представляет собой сумму интерстициального, внутриклеточного, альвеолярного и лимфатического объемов жидкости, исключая жидкость в плевральной полости, зачастую показывает результат выше референтных значений, приведенных в справочной литературе [22—24].

Окончательного объяснения данному феномену на сегодняшний день нет. Можно предположить, что у детей

масса ткани легкого относительно массы тела значительно выше, чем у взрослых. Поскольку большая масса ткани легкого связана с большим объемом ВСВЛ, это, возможно, объясняет, почему у детей более высокий иВСВЛ (до 100%), чем у взрослых [25, 26].

Показатели иВСВЛ, полученные методом ТПТД, устойчиво коррелируют с посмертным измерением гравиметрическим методом [27]. Однако нормальный диапазон показателя у детей гораздо шире, чем у взрослых пациентов. Он составляет от 7 до 23 мл на 1 кг массы тела, изменяется в зависимости от возраста и при индексации к массе тела выглядит следующим образом: у детей до 1 года — 9—29 мл на 1 кг массы тела, от 1 до 5 лет — 7—25 мл на 1 кг массы тела и от 5 до 17 лет — 5—13 мл на 1 кг массы тела, но при индексации к росту показатель не изменяется с возрастом, его нормальная величина составляет до 315 мл/м роста [28]. У взрослых пациентов показатель иВСВЛ более 10 мл на 1 кг массы тела является критерием для диагностики отека легких [29]. Наши исследования у детей с тяжелой ожоговой травмой демонстрируют, что индексирование показателя ВСВЛ к росту является оптимальным у педиатрического контингента больных, особенно у пациентов младшей возрастной группы: уровни ВСВЛ более 315 мл/м при поступлении и более 330 мл/м на третьи сутки интенсивной терапии явились независимыми факторами риска развития не только острой дыхательной недостаточности, о чем свидетельствует работа коллег из клиники Bambino Gesù и Università di Roma [30], но и синдрома полиорганной недостаточности (СПОН), причем статистически значимые корреляционные связи между уровнем иВСВЛ и наличием СПОН получены при индексации только к росту ребенка [31].

В противоположность смещения в большую сторону нормальных значений иВСВЛ показатель индекса глобального конечного диастолического объема (иГКДО) — гипотетический объем, который предполагает ситуацию, когда четыре камеры сердца одновременно находятся в диастолической фазе сердечного цикла, у детей имеет меньший по сравнению со взрослыми физиологический диапазон.

В таблице представлены данные зарубежных коллег, демонстрирующие нормальные показатели, полученные методом ТПТД у детей по сравнению со взрослыми пациентами [20, 23, 32, 33].

J. Lemson и соавт. [34] предложили формулы для коррекции показателей иГКДО и иВСВЛ, которые выглядят следующим образом:

$$иВГОК_{детский} = (-0,1 \times \ln(x) + 1,6128), \quad (2)$$

где  $x$  — масса тела (кг);

$$иВСВЛ_{детский} = иВСВЛ \times (-0,88 \times \ln(x) + 0,7133), \quad (3)$$

где  $x$  — возраст (годы);

$$иГКДО_{детский} = иГКДО \times 1,4188x^{-0,125}, \quad (4)$$

где  $x$  — возраст (годы).

Возможно, представленные J. Lemson и соавт. формулы могут быть включены в программное обеспечение устройств, обеспечивающих проведение ТПТД.

В этой же работе авторы демонстрируют, что, в отличие от иВСВЛ, иГКДО является виртуальным объемом, включая конечные диастолические объемы левого и правого предсердия и желудочков плюс объем центральных вен и аорты между местом введения и местом обнаружения индикатора. Поэтому иГКДО не имеет никакого анатомического аналога, который мог бы использоваться для индексации. Единственный сходный показатель, измеренный с использованием эхокардиографии или катетеризации левых отделов сердца, — это конечный диастолический объем левого желудочка, напоминающий иГКДО. Поскольку левый желудочек по отношению к общей площади поверхности тела увеличивается с ростом ребенка с 50 г/м<sup>2</sup> в 3 года до 80 г/м<sup>2</sup> в 17 лет [35], нельзя исключить, что именно поэтому у детей более низкий иГКДО по сравнению со взрослыми.

В исследовании G. Grindheim и соавт. у детей до 2 лет без заболеваний сердца и легких типичный диапазон для иГКДО составил 280—590 мл/м<sup>2</sup> и для иВСВЛ — 7—27 мл на 1 кг массы тела, это свидетельствует о том, что у детей младшей возрастной группы референтные показатели должны быть еще ниже [36].

Еще раз необходимо отметить, что ориентация на показатели иГКДО и иВСВЛ, рекомендованные для взрослых пациентов, может приводить к ошибочным клиническим решениям в оценке волемического статуса и методов его коррекции у детей, особенно у пациентов младшей возрастной группы.

По нашему мнению, клиническая интерпретация показателей ТПТД у детей с анатомическими аномалиями сердечно-сосудистой системы, наличием право-левых или лево-правых шунтов может быть затруднительной и приводить к неправильному выводу. Однако мы встречаем работы, в которых авторы проводят интерпретацию данных,

**Таблица. Нормальные показатели гемодинамики у детей по сравнению со взрослыми**

**Table. Normal hemodynamic parameters in children compared to adults**

Параметр	Взрослые [20]	H. Schiffmann и соавт. [23]	C. Cecchetti и соавт. [32]	J. López-Herce и соавт. [33]
ЧСС, уд. в минуту	60—80	130±26	115,2±24,7	131,1±23,6
САД, мм рт.ст.	80—95	70±19	83,5±18,1	68,8±11,5
ЦВД, мм рт.ст.	2—6	6,9±3,2	—	8,7±3,5
СИ, л/мин/м <sup>2</sup>	3,0—5,0	3,2±0,5	4,1±1	3,5±1,3
иГКДО, мл/м <sup>2</sup>	680—800	405±129	—	399,7±349,1
иВГОК, мл/м <sup>2</sup>	850—1000	598±198	524,4±179,2	574,5±212,2
иВСВЛ, мл на 1 кг массы тела	3—7	27,7±16,8	8,4±3,2	18,9±9,3
иОПСС, дин·с·см <sup>-5</sup> /м <sup>2</sup>	1,700—2,400	—	—	1500±515,9
УИ, мл/м <sup>2</sup>	40—60	27,8±7,4	36,9±10,6	28±11,2

*Примечание.* ЧСС — частота сердечных сокращений; САД — среднее артериальное давление; ЦВД — центральное венозное давление; СИ — сердечный индекс; иГКДО — индекс глобального конечного диастолического объема; иВГОК — индекс внутрирудного объема крови; иВСВЛ — индекс внесосудистой воды легких; иОПСС — индекс общего периферического сосудистого сопротивления; УИ — ударный индекс.

полученных методом ТПТД, у пациентов после операций в условиях искусственного кровообращения [37], с лево-правым шунтом [38], с врожденными пороками сердца [39, 40].

К сожалению, попытка сделать процедуру ТПТД еще менее инвазивной с выполнением через катетер, установленный в центральную позицию из периферического доступа, что достаточно актуально в педиатрической практике, на сегодняшний день потерпела неудачу. Исследование демонстрирует статистически значимое завышение показателя СИ (средний — 4,5 по сравнению с 3,3 л/мин/м<sup>2</sup>;  $p < 0,0001$ ; смещение 1,24 л/мин/м<sup>2</sup> [0,27; 2,22 л/мин/м<sup>2</sup>]; процент смещения — 31%, ИГКДО, и ВСВЛ и УИ также завышены (853±240 по сравнению с 688±175 мл/м<sup>2</sup>, 12,2±4,2 по сравнению с 9,4±2,9 мл на 1 кг массы тела и 49,6±14,9 по сравнению с 39,5±9,6 мл/м<sup>2</sup> соответственно;  $p < 0,0001$ ) [41].

Несмотря на тот факт, что традиционно 3 или 4 процедуры введения холодного раствора используются для получения усредненных показателей, W. Huber и соавт. из Technical University of Munich демонстрируют, что достаточно двух процедур введения и большое число введений существенно не повышает точности измерения [42]. Эти данные актуальны при ведении детей в аспекте профилактики перегрузки жидкостью.

Наши данные свидетельствуют о том, что применение методов расширенного инвазивного мониторинга является необходимым компонентом интенсивной терапии у детей с критическими состояниями, интерпретация данных сопровождается статистически значимым изменением характера интенсивной терапии, коррекцией темпа инфузионной терапии, подключением или исключением кардиотонических/вазопрессорных препаратов, средств

β-адренергической блокады, что способствует стабилизации баланса между доставкой и потреблением кислорода [43].

Общие для детей и взрослых преимущества и ограничения метода ТПТД представлены в работе X. Monnet и J.-L. Teboul [44]. Необходимо отметить важные комментарии к данной публикации, сделанные M. Sánchez-Sánchez и соавт. [45], в которых авторы говорят об отсутствии конкретных целей при коррекции терапии на основе ТПТД. Со своей стороны следует добавить, что цели необходимо устанавливать индивидуально, особенно в практике детского анестезиолога-реаниматолога.

## Заключение

К сожалению, метод транспульмональной термодилуции до настоящего времени не приобрел популярность у врачей, оказывающих помощь пациентам педиатрической когорты на территории Российской Федерации, о чем свидетельствует ограниченное число научных исследований. По нашему мнению, несмотря на многие ограничения, метод предоставляет врачу, который оказывает помощь детям, находящимся в критическом состоянии, реальные параметры центральной гемодинамики, что позволяет принимать объективные клинические решения на основе персонализированного подхода к интенсивной терапии и делать правильный выбор между использованием вазопрессоров, кардиотоников и волемиической поддержки.

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.  
The authors declare no conflicts of interest.**

## ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

- Fick A. Über die Messung des Blutquantums in den Herzventrikeln. *Physikalisch-Medicinische Gesellschaft*. 1870;2:16-28.
- Stewart GN. Researches on the Circulation Time and on the Influences which affect it. *The Journal of Physiology*. 1897;22(3):159-183. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1897.sp000684>
- Hamilton WF, Moore JW, Kinsman JM, Spurling RG. Simultaneous determination of the pulmonary and systemic circulation times in man and of a figure related to the cardiac output. *American Journal of Physiology*. 1928;84(2):338-344. <https://doi.org/10.1152/ajplegacy.1928.84.2.338>
- Fegler G. Measurement of cardiac output in anaesthetized animals by a thermo-dilution method. *Quarterly Journal of Experimental Physiology and Cognitive Medical Sciences*. 1954;39(3):153-164. <https://doi.org/10.1113/expphysiol.1954.sp001067>
- Ganz W, Donoso R, Marcus HS, Forrester JS, Swan HJC. A new technique for measurement of cardiac output by thermodilution in man. *The American Journal of Cardiology*. 1971;27(4):392-396. [https://doi.org/10.1016/0002-9149\(71\)90436-X](https://doi.org/10.1016/0002-9149(71)90436-X)
- Forrester JS, Ganz W, Diamond G, McHugh T, Chonette DW, Swan HJC. Thermodilution cardiac output determination with a single flow-directed catheter. *American Heart Journal*. 1972;83(3):306-311. [https://doi.org/10.1016/0002-8703\(72\)90429-2](https://doi.org/10.1016/0002-8703(72)90429-2)
- Ganz W, Swan HJC. Measurement of blood flow by thermodilution. *The American Journal of Cardiology*. 1972;29(2):241-246. [https://doi.org/10.1016/0002-9149\(72\)90635-2](https://doi.org/10.1016/0002-9149(72)90635-2)
- Skowno JJ, Broadhead M. Cardiac output measurement in pediatric anesthesia. *Paediatric Anaesthesia*. 2008;18(11):1019-1028. <https://doi.org/10.1111/j.1460-9592.2008.02720.x>
- Shah MR, O'Connor CM, Sopko G, Hasselblad V, Califf RM, Stevenson LW. Evaluation study of congestive heart failure and pulmonary artery catheterization effectiveness (ESCAPE): Design and rationale. *American Heart Journal*. 2001;141(4):528-535. <https://doi.org/10.1067/mhj.2001.113995>
- Thompson BT, Bernard GR. ARDS Network (NHLBI) Studies: Successes and Challenges in ARDS Clinical Research. *Critical Care Clinics*. 2011;27(3):459-468. <https://doi.org/10.1016/j.ccc.2011.05.011>
- De Backer D, Bakker J, Cecconi M, Hajjar L, Liu DW, Lobo S, Monnet X, Morelli A, Myatra SN, Perel A, Pinsky MR, Saugel B, Teboul JL, Vieillard-Baron A, Vincent JL. Alternatives to the Swan-Ganz catheter. *Intensive Care Medicine*. 2018;44(6):730-741. <https://doi.org/10.1007/s00134-018-5187-8>
- Proulx F, Lemson J, Choker G, Tibby SM. Hemodynamic monitoring by transpulmonary thermodilution and pulse contour analysis in critically ill children. *Pediatric Critical Care Medicine*. 2011;12(4):459-466. <https://doi.org/10.1097/PCC.0b013e3182070959>
- Beurton A, Teboul J-L, Monnet X. Transpulmonary thermodilution techniques in the haemodynamically unstable patient. *Current Opinion in Critical Care*. 2019;25(3):273-279. <https://doi.org/10.1097/MCC.0000000000000608>
- Tibby S. Transpulmonary thermodilution: Finally, a gold standard for pediatric cardiac output measurement. *Pediatric Critical Care Medicine*. 2008;9(3):341-342. <https://doi.org/10.1097/PCC.0b013e318172ea56>
- Mercier JC, Beaufils F, Hartmann JF, Azema D. Hemodynamic patterns of meningococcal shock in children. *Critical Care Medicine*. 1988;16(1):27-33. <https://doi.org/10.1097/00003246-198801000-00006>
- Ceneviva G, Paschall JA, Maffei F, Carcillo JA. Hemodynamic support in fluid-refractory pediatric septic shock. *Pediatrics*. 1998;102(2):e19. <https://doi.org/10.1542/peds.102.2.e19>

17. McLuckie A, Murdoch IA, Marsh MJ, Anderson D. A comparison of pulmonary and femoral artery thermodilution cardiac indices in paediatric intensive care patients. *Acta Paediatrica*. 1996;85(3):336-338. <https://doi.org/10.1111/j.1651-2227.1996.tb14027.x>
18. Thiele RH, Bartels K, Gan TJ. Cardiac Output Monitoring: A Contemporary Assessment and Review. *Critical Care Medicine*. 2015;43(1):177-185. <https://doi.org/10.1097/CCM.0000000000000608>
19. Лекманов А.У., Азовский Д.К., Пилютик С.Ф. Сравнение методов трансторакальной доплерографии и транспульмональной термодилуции при анализе гемодинамических показателей у детей с тяжелой термической травмой. *Вестник анестезиологии и реаниматологии*. 2017;14(1):42-50. Lekmanov AU, Azovskiy DK, Pilyutik SF. Comparison of doppler ultrasonography and transpulmonary thermodilution when analyzing hemodynamics in the children with severe thermal injury. messenger of anesthesiology and resuscitation. *Vestnik anesteziologii i reanimatologii*. 2017;14(1):42-50. (In Russ.). <https://doi.org/10.21292/2078-5658-2017-14-1-42-50>
20. Pulsion Medical Systems SE. PiCCO Technology. Hemodynamic Monitoring at the Highest Level. Feldkirchen; 2018. Accessed October 18, 2020. [https://www.getinge.com/siteassets/products-a-z/picco/picco\\_technology.pdf](https://www.getinge.com/siteassets/products-a-z/picco/picco_technology.pdf)
21. McGee W, Young C, Frazier J. *Quick Guide to Cardiopulmonary Care*. 4th ed. Irvine: Edwards Lifesciences Corporation; 2018.
22. Lemson J, Backx AP, van Oort AM, Bouw TPWJM, van der Hoeven JG. Extravascular lung water measurement using transpulmonary thermodilution in children. *Pediatric Critical Care Medicine*. 2009;10(2):227-233. <https://doi.org/10.1097/PCC.0b013e3181937227>
23. Schiffmann H, Erdlenbruch B, Singer D, Singer S, Herting E, Hoeft A, Buhre W. Assessment of cardiac output, intravascular volume status, and extravascular lung water by transpulmonary indicator dilution in critically ill neonates and infants. *Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia*. 2002;16(5):592-597. <https://doi.org/10.1053/jcan.2002.126954>
24. Branski LK, Herndon DN, Byrd JF, Kinsky MP, Lee JO, Fagan SP, Jeschke MG. Transpulmonary thermodilution for hemodynamic measurements in severely burned children. *Critical Care*. 2011;15(2):R118. <https://doi.org/10.1186/cc10147>
25. De Paep ME, Friedman RM, Gundogan F, Pinar H. Postmortem Lung Weight/Body Weight Standards for Term and Preterm Infants. *Pediatric Pulmonology*. 2005;40(5):445-448. <https://doi.org/10.1002/ppul.20218>
26. Fracasso T, Vennemann M, Pfeiffer H, Bajanowski T. Organ Weights in Cases of Sudden Infant Death Syndrome. *The American Journal of Forensic Medicine and Pathology*. 2009;30(3):231-234. <https://doi.org/10.1097/PAF.0b013e318187e0f2>
27. Nusmeier A, Vrancken S, de Boode WP, van der Hoeven JG, Lemson J. Validation of Extravascular Lung Water Measurement by Transpulmonary Thermodilution in a Pediatric Animal Model. *Pediatric Critical Care Medicine*. 2014;15(5):226-233. <https://doi.org/10.1097/PCC.000000000000104>
28. Nusmeier A, Cecchetti C, Blohm M, Lehman R, van der Hoeven J, Lemson J. Near-Normal Values of Extravascular Lung Water in Children. *Pediatric Critical Care Medicine*. 2015;16(2):28-33. <https://doi.org/10.1097/PCC.0000000000000312>
29. Tagami T, Ong MEH. Extravascular lung water measurements in acute respiratory distress syndrome: Why, how, and when? *Current Opinion in Critical Care*. 2018;24(3):209-215. <https://doi.org/10.1097/MCC.0000000000000503>
30. Lubrano R, Cecchetti C, Elli M, Tomasello C, Guido G, Di Nardo M, Masciangelo R, Pasotti E, Barbieri MA, Bellelli E, Pirozzi N. Prognostic value of extravascular lung water index in critically ill children with acute respiratory failure. *Intensive Care Medicine*. 2011;37(1):124-131. <https://doi.org/10.1007/s00134-010-2047-6>
31. Лекманов А.У., Азовский Д.К., Пилютик С.Ф., Абрамова В.М. Вне-сосудистая вода легких — предиктор развития полиорганной недостаточности у детей с тяжелым ожоговым повреждением. *Анестезиология и реаниматология*. 2017;62(1):23-28. Lekmanov AU, Azovskiy DK, Pilyutik SF, Abramova VM. Extravascular lung water is a predictor of development of multiple organ failure in children with severe burn injury. *Anesteziologiya i Reanimatologiya*. 2017;62(1):23-28. (In Russ.). <https://doi.org/10.18821/0201-7563-2017-62-1-23-28>
32. Cecchetti C, Stoppa F, Vanacore N, Barbieri MA, Raucci U, Pasotti E, Tomasello C, Marano M, Pirozzi N. Monitoring of intrathoracic volemia and cardiac output in critically ill children. *Minerva Anestesiologica*. 2003;69(12):907-918.
33. López-Herce J, Bustinza A, Sancho L, Mencía S, Carrillo A, Moral R, Bel-lón JM. Cardiac output and blood volume parameters using femoral arterial thermodilution. *Pediatrics International*. 2009;51(1):59-65. <https://doi.org/10.1111/j.1442-200X.2008.02654.x>
34. Lemson J, Merkus P, van der Hoeven JG. Extravascular lung water index and global end-diastolic volume index should be corrected in children. *Journal of Critical Care*. 2011;26(4):432.e7-432.e12. <https://doi.org/10.1016/j.jccr.2010.10.014>
35. Poutanen T, Jokinen E. Left ventricular mass in 169 healthy children and young adults assessed by three-dimensional echocardiography. *Pediatric Cardiology*. 2007;28(3):201-207. <https://doi.org/10.1007/s00246-006-0101-5>
36. Grindheim G, Eidet J, Bentsen G. Transpulmonary thermodilution (PiCCO) measurements in children without cardiopulmonary dysfunction: Large interindividual variation and conflicting reference values. *Paediatric Anaesthesia*. 2016;26(4):418-424. <https://doi.org/10.1111/pan.12859>
37. Kwapisz MM, Neuhäuser C, Scholz S, Welters ID, Löhrt T, Koch T, Valeske K, Akintürk H, Thul J, Müller M. Hemodynamic effects of dobutamine and dexopamine after cardiopulmonary bypass in pediatric cardiac surgery. *Paediatric Anaesthesia*. 2009;19(9):862-871. <https://doi.org/10.1111/j.1460-9592.2009.03101.x>
38. Keller G, Desebbe O, Henaine R, Lehot J. Transpulmonary thermodilution in a pediatric patient with an intracardiac left-to-right shunt. *Journal of Clinical Monitoring and Computing*. 2011;25(2):105-108. <https://doi.org/10.1007/s10877-011-9281-5>
39. Махмутходжаев А.С., Лобачева Г.В., Харькин А.В. Факторы риска осложненного течения у больных после операции Фонтена в модификации экстракардиального кондуита. *Бюллетень НИСССХ им. А.Н. Бакулева РАМН. Сердечно-сосудистые заболевания*. 2010;11(53):138. Makhmutkhodzhaev AS, Lobacheva GV, Kharkin AV. Risk Factors of Complications During in Patients after Operation Fontaine in Extracardial Conduit Modification. *Byulleten' NTSSKh im. A.N. Bakuleva RAMN. Serdechno-sosudistyye zabolovaniya*. 2010;11(53):138. (In Russ.).
40. Омельченко А.Ю., Горбатов Ю.Н., Войтов А.В., Соинов И.А., Кулябин Ю.Ю., Горбатов А.В., Богачев-Прокофьев А.В. Состояние основных параметров гемодинамики по данным транспульмональной термодилуции у детей после радикальной коррекции тетрады Фалло. *Сибирский медицинский журнал*. 2016;31(3):55-60. Omelchenko AYU, Gorbatykh YuN, Voitov AV, Soynov IA, Kulyabin YuYu, Gorbatykh AV, Bogachev-Prokophiev AV. Assessment of main hemodynamic parameters by transpulmonary thermodilution in children after complete repair of tetralogy of Fallot. *Sibirskij meditsinskij zhurnal*. 2016;31(3):55-60. (In Russ.). <https://doi.org/10.29001/2073-8552-2016-31-3-55-60>
41. D'Arrigo S, Sandroni C, Cacciola S, Dell'Anna AM, Pittiruti M, Annetta MG, Colosimo C, Antonelli M. Are Peripherally Inserted Central Catheters Suitable for Cardiac Output Assessment with Transpulmonary Thermodilution? *Critical Care Medicine*. 2019;47(10):1356-1361. <https://doi.org/10.1097/CCM.0000000000003917>
42. Huber W, Elinger SB, Lahmer T, Herner A, Mayr U, Batres-Baires G, Schmid R. Number of measurements required for appropriate precision of transpulmonary thermodilution. *Critical Care Medicine*. 2019;47(1):88. <https://doi.org/10.1097/01.ccm.0000550968.08622.a8>
43. Азовский Д.К., Лекманов А.У. Эффективность расширенного мониторинга у детей с критическими ожогами в остром периоде. *Анестезиология и реаниматология*. 2019;1:57-67. Azovskiy DK, Lekmanov AU. The efficacy of the advanced monitoring in the acute phase of critical burns in children. *Anesteziologiya i Reanimatologiya*. 2019;1:57-67. (In Russ.). <https://doi.org/10.17116/anaesthesiology201901157>
44. Monnet X, Teboul J-L. Transpulmonary thermodilution: advantages and limits. *Critical Care*. 2017;21(1):147. <https://doi.org/10.1186/s13054-017-1739-5>
45. Sánchez-Sánchez M, Herrero E, Cachafeiro L, Flores E, Agrifoglio A, Váncos B, García-de-Lorenzo A. Main limitations of transpulmonary thermodilution: set targets. *Critical Care*. 2017;21(1):242. <https://doi.org/10.1186/s13054-017-1833-8>

Поступила 08.07.2020

Received 08.07.2020

Принята к печати 10.08.2020

Accepted 10.08.2020