

## Особенности гемодинамического статуса у здоровых новорожденных в раннем неонатальном периоде

Г.Г. Хубулава<sup>1</sup>, С.П. Марченко<sup>1</sup>, А.Б. Наумов<sup>1</sup>, О.В. Невмержицкая<sup>2</sup>, О.Ю. Чупаева<sup>1</sup>,  
А.А. Селиверстова<sup>1</sup>, Ю.С. Александрович<sup>1</sup>, К.В. Пшениснов<sup>1</sup>, Н.Г. Пилугов<sup>1</sup>, О.Ю. Терешенко<sup>1</sup>,  
Л.Л. Попова<sup>1</sup>, М.С. Андреев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия;

<sup>2</sup>ГБУЗ «Родильный дом №18», Санкт-Петербург, Россия

## Peculiarities of hemodynamic status of healthy newborns in early neonatal period

G.G. Khubulava<sup>1</sup>, S.P. Marchenko<sup>1</sup>, A.B. Naumov<sup>1</sup>, O.V. Nevmerzhitskaya<sup>2</sup>, O.Yu. Chupaeva<sup>1</sup>,  
A.A. Seliverstova<sup>1</sup>, Yu.S. Aleksandrovich<sup>1</sup>, K.V. Pshenishnov<sup>1</sup>, N.G. Pilyugov<sup>1</sup>, O.Yu. Tereshenko<sup>1</sup>,  
L.L. Popova<sup>1</sup>, M.S. Andreev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Saint-Petersburg State Pediatric Medical University, Saint-Petersburg, Russia;

<sup>2</sup>Maternity hospital No.18, Saint-Petersburg, Russia

Исследование посвящено оценке показателей гемодинамики у здоровых новорожденных в раннем неонатальном периоде. Обследованы 76 здоровых новорожденных в возрасте до 7 сут. У 12 (15,7%) из 76 детей была диагностирована задержка внутриутробного развития по гипотрофическому типу и 14 (18,49%) были недоношенными. Оценивали диаметр выносящего тракта левого желудочка, ствола легочной артерии, кольца митрального и трикуспидального клапанов. Методом дисков определяли конечный диастолический объем левого желудочка. Интегральную скорость потока в выносящем тракте левого желудочка, стволе легочной артерии, на митральном и трикуспидальном клапанах определяли пульсовым доплером. После выполнения ультразвукового исследования рассчитывали индекс ударного объема, сердечный индекс, общее периферическое сосудистое сопротивление и индекс доставки кислорода.

Результаты. Установлено, что интегральная скорость потока является ключевым показателем центральной гемодинамики, определяющим величину ударного объема. Масса тела и наличие функционирующих фетальных коммуникаций не оказывают существенного влияния на индексированные показатели системного потока крови у здоровых новорожденных. Имеется прямая корреляция между интегральной скоростью кровотока и индексом ударного объема, характерная для всех внутрисердечных анатомических структур.

**Ключевые слова:** новорожденные, недоношенные, задержка внутриутробного развития, гемодинамика, сердечный выброс, интегральная скорость кровотока.

**Для цитирования:** Хубулава Г.Г., Марченко С.П., Наумов А.Б., Невмержицкая О.В., Чупаева О.Ю., Селиверстова А.А., Александрович Ю.С., Пшениснов К.В., Пилугов Н.Г., Терешенко О.Ю., Попова Л.Л., Андреев М.С. Особенности гемодинамического статуса у здоровых новорожденных в раннем неонатальном периоде. Рос вестн перинатол и педиатр 2019; 64:(1): 30–38. DOI: 10.21508/1027-4065-2019-64-1-30-38

The study is devoted to the assessment of hemodynamic parameters in healthy newborns in the early neonatal period. The authors examined 76 healthy newborns aged up to 7 days. 12 (15.7%) of 76 children were diagnosed with intrauterine growth retardation of hypotrophic type and 14 children (18.49%) were premature. The authors evaluated the diameter of the outgoing tract of the left ventricle, pulmonary artery trunk, mitral and tricuspid valve rings. The disc method was used to determine the final diastolic volume of the left ventricle. The pulse Doppler was used to determine the integrated flow rate in the outflow tract of the left ventricle, the pulmonary artery trunk, on the mitral and tricuspid valves. After US there were calculated the stroke volume index, cardiac index, total peripheral vascular resistance and oxygen delivery index.

The results. It integral flow rate was found to be a key indicator of central hemodynamics, which determines the magnitude of the stroke volume. Body weight and the presence of functioning fetal communications do not have a significant impact on the indexed systemic blood flow in healthy newborns. There is a direct correlation between the integral blood flow velocity and the stroke volume index, which is characteristic of all intracardiac anatomical structures.

**Key words:** newborns, premature newborns, intrauterine growth retardation, hemodynamics, cardiac output, integral blood flow velocity.

**For citation:** Khubulava G.G., Marchenko S.P., Naumov A.B., Nevmerzhitskaya O.V., Chupaeva O.Yu., Seliverstova A.A., Aleksandrovich Yu.S., Pshenishnov K.V., Pilyugov N.G., Tereshenko O.Yu., Popova L.L., Andreev M.S. Peculiarities of hemodynamic status of healthy newborns in early neonatal period. Ros Vestn Perinatol i PEDIATR 2019; 64:(1): 30–38 (in Russ). DOI: 10.21508/1027-4065-2019-64-1-30-38

© Коллектив авторов, 2019

Адрес для корреспонденции: Хубулава Геннадий Григорьевич — д.м.н., член-корр. РАМН, зав. кафедрой сердечно-сосудистой хирургии Санкт-Петербургского государственного педиатрического медицинского университета, ORCID: 0000-0001-8873-7071

E-mail: ggkh07@rambler.ru

Марченко Сергей Павлович — д.м.н., проф. кафедры сердечно-сосудистой хирургии Санкт-Петербургского государственного педиатрического медицинского университета, ORCID: 0000-0003-4785-4532

Наумов Алексей Борисович — к.м.н., доцент кафедры анестезиологии–реаниматологии и неотложной педиатрии факультета послевузовского и дополнительного профессионального образования Санкт-Петербургского государственного педиатрического медицинского университета, ORCID: 0000-0003-0323-0162

Чупаева Ольга Юрьевна — врач анестезиолог-реаниматолог отделения анестезиологии–реанимации для детей с кардиохирургической патологией Санкт-Петербургского государственного педиатрического медицинского университета, ORCID: 0000-0003-4204-6915

Селиверстова Анастасия Алексеевна – врач-кардиолог, врач ультразвуковой диагностики отделения анестезиологии и реанимации для детей с кардиохирургической патологией клиники Санкт-Петербургского государственного педиатрического медицинского университета, ORCID: 0000-0003-2992-2255

Александрович Юрий Станиславович – д.м.н., проф., зав. кафедрой анестезиологии–реаниматологии и неотложной педиатрии факультета послевузовского и дополнительного профессионального образования Санкт-Петербургского государственного педиатрического медицинского университета, ORCID: 0000-0002-2131-4813

Пшениснов Константин Викторович – к.м.н., доцент кафедры анестезиологии–реаниматологии и неотложной педиатрии факультета послевузовского и дополнительного профессионального, врач анестезиолог-реаниматолог отделения анестезиологии–реанимации для детей с кардиохирургической патологией Санкт-Петербургского государственного педиатрического медицинского университета, ORCID: 0000-0003-1113-5296

Пилюгов Николай Геннадьевич – зав. отделением анестезиологии-реанимации для детей с кардиохирургической патологией Санкт-Петербур-

ского государственного педиатрического медицинского университета, ORCID: 0000-0002-5905-683X

Терешенко Ольга Юрьевна – врач анестезиолог-реаниматолог отделения анестезиологии–реанимации для детей с кардиохирургической патологией Санкт-Петербургского государственного педиатрического медицинского университета, ORCID: 0000-0003-4629-1061

Попова Лилия Леонтьевна – врач кардиолог отделения анестезиологии-реанимации для детей с кардиохирургической патологией Санкт-Петербургского государственного педиатрического медицинского университета, ORCID: 0000-0003-0622-8367

Андреев Михаил Сергеевич – клинический ординатор кафедры сердечно-сосудистой хирургии Санкт-Петербургского государственного педиатрического медицинского университета, ORCID: 0000-0002-4700-0265

194100 Санкт-Петербург, ул. Литовская, д. 2  
Невмержицкая Оксана Владимировна – к.м.н., зам. гл. врача по неонатологии родильного дома №18, ORCID: 0000-0002-3993-6899  
193312 Санкт-Петербург, пр. Солидарности, д. 6

**О**ценка скорости системного потока крови у новорожденных в критическом состоянии – один из основополагающих факторов, определяющих стратегию и тактику дальнейших терапевтических мероприятий [1]. В классическом представлении оценка гемодинамического статуса подразумевает применение инвазивных методов диагностики, однако их использование в практической неонатологии невозможно [2]. Именно поэтому основным методом оценки гемодинамического статуса у новорожденных является ультразвуковое исследование (УЗИ) сердца [3]. Одним из ключевых методов определения скорости системного потока крови у новорожденных с помощью ультразвука служит способ определения ударного объема крови с помощью пульсового доплера [4].

Сущность метода заключается в определении интегральной скорости потока в каком-либо анатомическом образовании сердечно-сосудистой системы (выносящий тракт левого желудочка, аортальный клапан, восходящая аорта, митральный клапан, трикуспидальный клапан, клапан легочной артерии, ствол легочной артерии) и площади сечения данного анатомического образования. Произведение этих значений является объемом крови, протекающим в данном анатомическом образовании за одну систолу, и соответствует ударному объему [5].

Теоретически значения ударного объема при одновременном измерении на легочной артерии, в выносящем тракте левого желудочка, в аорте, на трикуспидальном клапане, на митральном клапане должны быть одинаковыми при условии точности измерения (анатомических размеров исследуемых объектов, скорости потока) и отсутствии внутрисердечного шунтирования. Однако часто эти значения могут существенно варьировать [6].

Оценка центральной гемодинамики не ограничивается показателями, характеризующими скорость системного кровотока. Определение периферического сосудистого сопротивления, доставки кислорода дает дополнительное представление об имеющихся гемодинамических нарушениях [7]. На основании совокуп-

ности данных о центральной гемодинамике, представленных в виде сердечного индекса, периферического сосудистого сопротивления, доставки кислорода, возможно принять более обоснованное решение о необходимости коррекции гемодинамического статуса [3].

В то же время методика оценки гемодинамического статуса у новорожденных мало изучена и требует проведения дальнейших исследований. Это подтверждается и тем, что данные, отражающие показатели гемодинамического статуса, определяемого с помощью неинвазивных методик, существенно различаются у разных исследователей, при этом референсные показатели сердечного индекса у новорожденных отсутствуют [3, 7, 8]. По нашему мнению, изучение особенностей гемодинамического статуса у здоровых новорожденных с помощью неинвазивных технологий и их стандартизация позволят получить объективную информацию о референсных значениях в целях последующего выявления патологических нарушений, что и послужило основанием для выполнения данного исследования.

**Цель исследования:** изучить особенности гемодинамического статуса у здоровых новорожденных в раннем неонатальном периоде.

#### Характеристика детей и методы исследования

Показатели гемодинамики были оценены у 76 здоровых новорожденных в возрасте до 7 сут, родившихся в Перинатальном центре Клинической больницы ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» в период с 2014 по 2017 г. Средний возраст детей с момента рождения составил 5 (3,0–5,3) сут, срок гестации 39 (37–39) нед, масса тела 3631 (3450–3721) г. Площадь поверхности тела была равна 0,23 (0,22–0,24) м<sup>2</sup>. Все дети, включенные в исследование, были в стабильном состоянии, не имели витальных нарушений и врожденных пороков сердца.

У 12 (15,7%) из 76 пациентов была диагностирована задержка внутриутробного развития по гипотрофическому типу и 14 (18,49%) детей были недоношенными. В исследование были включены 20 (26,3%) мальчиков и 56 (73,7%) девочек.

Кардиосонография была выполнена в рамках скринингового обследования. У всех пациентов оценивали неинвазивное артериальное давление, показатели предульсарной сатурации гемоглобина кислородом пульсирующей крови ( $SpO_2$ ) на правой верхней конечности с помощью монитора Drager Infinity и концентрацию гемоглобина в капиллярной крови.

УЗИ сердца проводили на аппарате SanoScape S6 с последующим вычислением расчетных параметров гемодинамики. При выполнении УЗИ оценивали диаметр выносящего тракта левого желудочка, ствола легочной артерии, кольца митрального и трикуспидального клапанов. Методом дисков определяли конечный диастолический объем левого желудочка. Интегральную скорость потока в выносящем тракте левого желудочка, стволе легочной артерии, на митральном и трикуспидальном клапанах определяли пульсовым доплером.

После выполнения УЗИ сердца по формулам рассчитывали индекс ударного объема, сердечный индекс, общее периферическое сосудистое сопротивление и индекс доставки кислорода. Формулы для расчета представлены ниже:

$$\text{Индекс ударного объема} = \frac{VTI \times D^2 \times 0,785}{\text{Площадь поверхности тела}}$$

где VTI (см) – интегральная скорость потока; D (см) – диаметр анатомической структуры; коэффициент  $0,785 = \pi/4$ .

$$\text{Сердечный индекс} = \text{Индекс ударного объема} \times \text{Частота сердечных сокращений};$$

$$\text{Индекс доставки кислорода (IDO}_2\text{)}, \frac{\text{мл/мин}}{\text{м}^2} = 1,39 \cdot \text{СИ} \cdot \text{Hb} \cdot \text{SpO}_2/100;$$

где коэффициент 1,39 (мл/г) – константа Гюфнера; СИ – сердечный индекс (л/мин/м<sup>2</sup>); Hb – концентрация гемоглобина (г/л);  $SpO_2$  – сатурация гемоглобина кислородом пульсирующей крови (%).

$$\text{ОПСС (SVR)} = \frac{(\text{Среднее АД})}{(\text{Сердечный индекс})};$$

где ОПСС – общее периферическое сосудистое сопротивление, АД – артериальное давление.

Статистическую обработку данных выполняли с использованием программных средств пакета Sta-

tistica v.6.0. с использованием методов описательной статистики, корреляционного и регрессионного анализа. Ввиду того что не все полученные данные в исследовании соответствовали закону о нормальном распределении, полученные результаты представлены в виде среднего значения (m) и стандартного отклонения (SD), при асимметричном распределении данных результаты представлены в виде медианы (Me), 25-го и 75-го перцентилей [Q1; Q3], а также минимальных и максимальных значений.

## Результаты

При выполнении УЗИ установлено, что средний диаметр аорты составил 6,2 (6,0–6,7) мм, легочной артерии – 7,5 (7,0–8,0) мм, а выносящего тракта левого желудочка – 7,6 (7,5–8,0) мм. Средний диаметр колец митрального и трикуспидального клапанов был одинаков и составил 9 мм. Следует отметить, что для перечисленных показателей было характерно асимметричное распределение, причем преобладали меньшие значения. Вероятнее всего, это обусловлено значительным числом детей с задержкой внутриутробного развития. Данные исследования интегральной скорости потока на уровне различных анатомических структур, представлены в табл. 1. Полученные результаты соответствовали нормальному распределению.

Значения индекса ударного объема представлены в табл. 2. Показатели, полученные при измерении ударного объема на уровне легочной артерии, не соответствовали закону нормального распределения, в то время как значения индекса ударного объема, измеренные на уровне митрального, трикуспидального клапанов и выносящего тракта левого желудочка, соответствовали этому закону. В идеальной гемодинамической модели в отсутствие внутрисердечного шунта индекс ударного объема должен быть одинаковым на всех точках измерения, однако при попарном сравнении с помощью параметрических и непараметрических методов были выявлены статистически значимые различия ( $p < 0,01$ ) этого показателя при сравнении на разных клапанах.

С целью исключения влияния изменений ударного объема на разных клапанах вследствие сброса крови через овальное окно и открытый артериальный проток был выполнен статистический анализ в зависимости от наличия/отсутствия фетальных коммуникаций.

Таблица 1. Интегральная скорость потока

Table 1. Integrated flow rate

Интегральная скорость потока, см	Me	Q1	Q3	Мин	Макс
На уровне выносящего тракта левого желудочка					
На уровне легочной артерии	14,75	13	16,1	10,7	21
На уровне левого желудочка	12	10,4	14	6,8	19
На уровне митрального клапана	10	8,1	11,7	6,3	17
На уровне трикуспидального клапана	11	8,9	12,1	6	17,2

Установлено, что выявленные статистически значимые различия по данному показателю сохраняются и внутри групп. Однако достоверных различий при попарном сравнении индекс ударного объема на каждом клапане между группами пациентов в зависимости от наличия функционирующих фетальных коммуникаций выявлено не было ( $p=0,11$ ). Статистически значимых различий по ИУО на каждом клапане в зависимости от массы тела новорожденных также не было отмечено: менее 2500 г и более 2500 г ( $p=0,18$ ). С позиций клинической практики крайне важно, что различия по ИУО, измеренного на уровне выносящего тракта левого желудочка, статистически значимо не различаются между группами пациентов в зависимости от функционирования фетальных коммуникаций.

Значения сердечного индекса соответствовали закону о нормальном распределении на всех исследуемых

внутрисердечных структурах. Как максимальные, так и минимальные значения сердечного индекса отмечались на митральном и трикуспидальном клапанах. Максимальные значения были характерны для уровня атриовентрикулярного клапана; минимальные значения (менее 2,2 л/мин/м<sup>2</sup>) отмечались на уровне выносящего тракта левого желудочка и на трикуспидальном клапане (табл. 3).

Средние значения сердечного индекса у всех новорожденных находились в диапазоне 3,5–4,5 л/мин/м<sup>2</sup>, отсутствовали различия между группами с функционирующими фетальными коммуникациями и без таковых (рис. 1, а). Статистически значимых различий по значениям сердечного индекса в зависимости от массы тела также выявлено не было (рис. 1, б).

При расчете индекса доставки кислорода (табл. 4) было установлено, что средние его значения находились

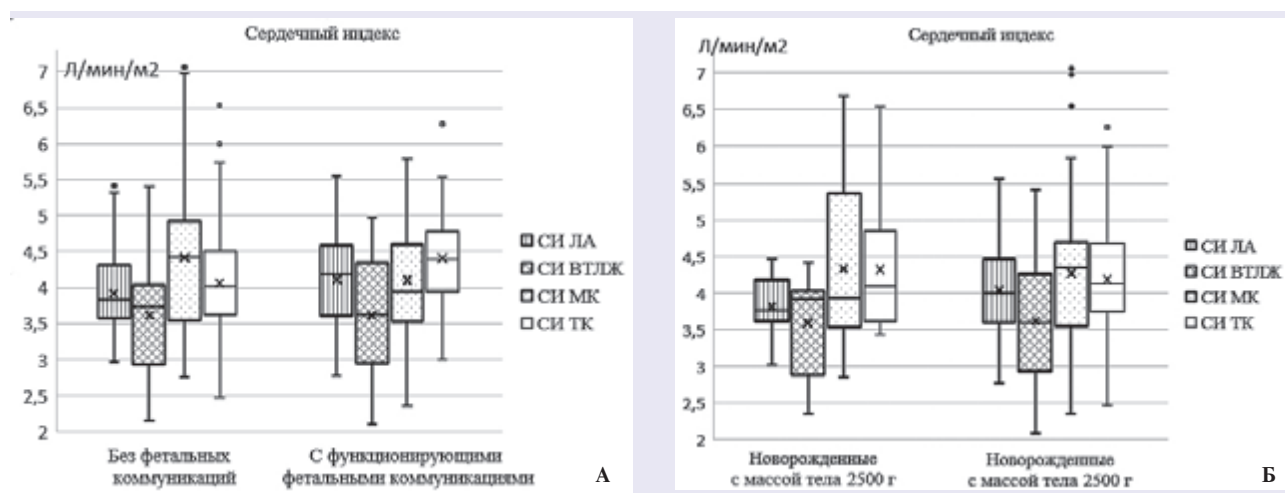


Рис. 1. Значения сердечного индекса в зависимости от наличия функционирующих фетальных коммуникаций (А) и массы тела (менее 2500 г и более 2500 г; Б)

Fig. 1. Cardiac index depending on the presence of functioning fetal communications (A) and the body weight (less than 2500g and more than 2500g; B)

Таблица 2. Индекс ударного объема

Table 2. Stroke volume index

Индекс ударного объема, мл/м <sup>2</sup>	Me	Q1	Q3	Мин	Макс
На уровне легочной артерии	27,5	25,25	30,9	18,3	43,6
На уровне выносящего тракта левого желудочка	25,3	22,4	29,1	15,7	37,8
На уровне митрального клапана	30,3	26,1	34,3	17,6	49,9
На уровне трикуспидального клапана	29,9	26,5	33,6	10,1	43,5

Таблица 3. Сердечный индекс

Table 3. Cardiac index

Сердечный индекс, л/мин/м <sup>2</sup>	Me	Q1	Q3	Мин	Макс
На уровне легочной артерии	3,9	3,6	4,3	2,7	5,5
На уровне выносящего тракта левого желудочка	3,6	2,9	4,0	2,1	5,4
На уровне митрального клапана	4,2	3,5	4,7	2,3	7,0
На уровне трикуспидального клапана	4,1	3,7	4,7	1,5	6,5



лись в диапазоне 665–787 мл/мин/м<sup>2</sup>. Минимальные значения были характерны при определении скорости потока на уровне выносящего тракта левого желудочка (383 мл/мин/м<sup>2</sup>) и на трикуспидальном клапане (310 мл/мин/м<sup>2</sup>). Максимальное значение (1405 мл/мин/м<sup>2</sup>) определялось при регистрации скорости потока на уровне митрального клапана.

При расчете общего периферического сосудистого сопротивления было установлено, что большинство данных (за исключением этого показателя на уровне легочной артерии) не соответствовало закону о нормальном распределении. Минимальное значение общего периферического сосудистого сопротивления составило 6 мм рт.ст./мин/м<sup>2</sup>, а максимальное – 28,4 мм рт.ст./м<sup>2</sup>, 480 дин/с/см<sup>-5</sup> и 2240 дин/с/см<sup>-5</sup>



Рис. 2. Индекс конечного диастолического объема левого желудочка у новорожденных с функционирующими фетальными коммуникациями и без таковых  
Fig. 2. Left ventricular end-diastolic volume index depending on the presence of functioning fetal communications

Таблица 4. Индекс доставки кислорода  
Table 4. Oxygen delivery index

Индекс доставки кислорода, мл/мин/м <sup>2</sup>	Ме	Q1	Q3	Мин	Макс
На уровне легочной артерии	715,8	638,9	824,4	445,7	1131,5
На уровне выносящего тракта левого желудочка	653,4	536,4	777,6	383,9	1089,5
На уровне митрального клапана	787,0	636,6	901,4	425,4	1405,8
На уровне трикуспидального клапана	790,7	667,0	885,0	310,0	1218,8

Таблица 5. Общее периферическое сосудистое сопротивление  
Table 5. Systemic vascular resistance

Общее периферическое сосудистое сопротивление, ед. Вуда (мм рт.ст./мин/м <sup>2</sup> )	Ме	Q1	Q3	Мин	Макс
На уровне митрального клапана	12,6	11,0	14,0	6,0	22,1
На уровне легочной артерии	13,1	11,6	14,9	9,0	21,2
На уровне трикуспидального клапана	12,7	11,0	14,0	7,8	28,4
На уровне выносящего тракта левого желудочка	14,6	12,3	17,4	9,2	27,8

соответственно (табл. 5), медиана находилась в пределах 12,6–14,6 мм рт.ст./м<sup>2</sup>.

Установлено, что среднее значение индекса конечного диастолического объема составляет 40,2 мл/м<sup>2</sup>, медиана – 38,2 мл/м<sup>2</sup>, минимальная величина – 29,0 мл/м<sup>2</sup>. Статистически значимых различий между группами в зависимости от массы тела и наличия/отсутствия функционирующих фетальных коммуникаций выявлено не было (рис. 2).

На основании корреляционно-регрессионного анализа значений интегральной скорости потока и индекса ударного объема для выносящего тракта левого желудочка была выявлена сильная прямая корреляция между указанными показателями (R=0,78; p=0,001). На графике полученные данные

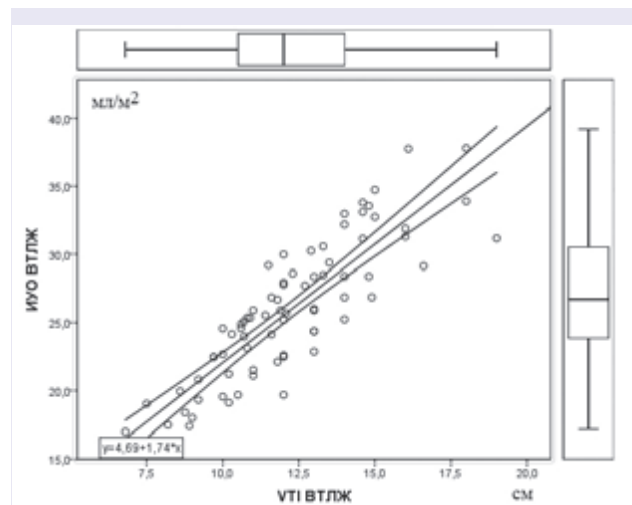


Рис. 3. Регрессионная модель зависимости индекса ударного объема выносящего тракта левого желудочка от интегральной скорости кровотока  
Fig. 3. Regression model left ventricular outflow tract stroke volume index and velocity time integral

представлены линиями регрессии и 95% доверительного интервала (рис. 3).

Построена регрессионная модель (представленная в виде  $Y=b_0+b_1X$ ) зависимости индекса ударного объема (ИУО) в выносящем тракте левого желудочка от скорости интегрального потока, измеренного в выносящем тракте левого желудочка (ВТЛЖ). Рассчитанная модель имеет вид:  $ИУО ВТЛЖ = 4,69 + 1,74 \cdot VTI ВТЛЖ$  при  $p=0,001$  для константы  $b_0$  и  $p=0,01$  для коэффициента  $b_1$ .

Аналогичные корреляции были характерны для легочной артерии ( $R=0,79$ ;  $p=0,001$ ) митрального ( $R=0,82$ ;  $p=0,001$ ) и трикуспидального ( $R=0,25$ ;  $p=0,01$ ) клапанов. Рассчитанная модель для легочной артерии (ЛА):  $ИУО ЛА = 4,45 + 1,63 \cdot VTI ЛА$  (при  $p=0,045$  для константы  $b_0$  и  $p=0,001$  для коэффициента  $b_1$ ). Для индекса ударного объема, определенного в потоке митрального клапана (МК), модель имеет вид:  $ИУО МК = 5,3 + 2,5 \cdot VTI МК$  (при  $p=0,01$  для константы  $b_0$  и  $p=0,01$  для коэффициента  $b_1$ ).

## Обсуждение

### Анатомические структуры

Ударный объем крови, проходящий через определенную анатомическую структуру, напрямую зависит от ее площади поперечного сечения. В стандартном варианте определения площади сечения отверстия в клинической практике применяется ее расчет исходя из анатомического диаметра структуры. Однако этот метод может давать значимые погрешности. Неточность измерения поперечного сечения анатомической структуры связана с реальным несоответствием биологической формы сечения геометрической фигуре идеального круга. Так, анатомические исследования показали, что выносящий тракт левого желудочка может иметь неправильную форму (рис. 4) и измерение его размеров может быть выполнено как по короткой, так и по длинной оси. В этой ситуации реальный расчет площади сечения имеет существенные погрешности.

Такие же погрешности в оценке площади сечения существуют при ее расчете на атриовентрикулярных клапанах, когда реальная форма эффективного отверстия существенно отличается от формы идеального круга. Таким образом, измерение площади сечения посредством расчета диаметра анатомического отверстия может давать погрешности в сторону завышения реальных значений.

### Интегральная скорость потока

Полученные нами значения интегральной скорости потоков на разных клапанах соответствовали закону нормального распределения Гаусса и были сопоставимы с данными других исследований [1]. Особого внимания заслуживает то, что интегральная скорость потока не зависит от массы тела здорового новорожденного. Это дает основания полагать, что расчет системной скорости потока по предложенной мето-

дике может быть универсальным для всех пациентов, независимо от массы тела. При нормальных анатомических размерах внутрисердечных структур, соответствующих массе пациента (с отклонением не более 1 z), значения интегрального потока имеют сильную прямую корреляцию с индексом ударного объема.

### Индекс ударного объема

Индекс ударного объема как прямое отражение производительности желудочка был рассчитан индивидуально на основании данных площади поверхности тела, интегральной скорости потока через анатомическую структуру и ее диаметра. Выявлены статистически значимые различия индекса ударного объема в зависимости от анатомических и физиологических особенностей каждого клапана. Особого обсуждения заслуживает и то, что наличие функционирующих фетальных коммуникаций и масса новорожденного ребенка не оказывают существенного влияния на рассматриваемый показатель.

Наиболее вероятная причина различий по индексу ударного объема в зависимости от клапана заключается в погрешности, которую дает применяемая методика. Так, для расчета ударного объема одним из ключевых показателей является площадь эффективного сечения, которая рассчитывается на основании данных о диаметре анатомической структуры. В то же время известно, что поперечное сечение как выносящего тракта левого желудочка, так и открытого атриовентрикулярного клапана может иметь неправильную форму. Таким образом, выявленные погрешности в измерении индекса ударного объема на разных клапанах имеют методологическую основу, и клиническая оценка данного показателя и его производных должна выполняться с учетом этих особенностей.

В то же время постоянство и равномерность распределения внутрисердечного потока крови у людей с двухжелудочковой физиологией, отсутствующим значимым внутрисердечным шунтированием дают основание полагать, что интегральная скорость потока на разных анатомических структурах у здоровых

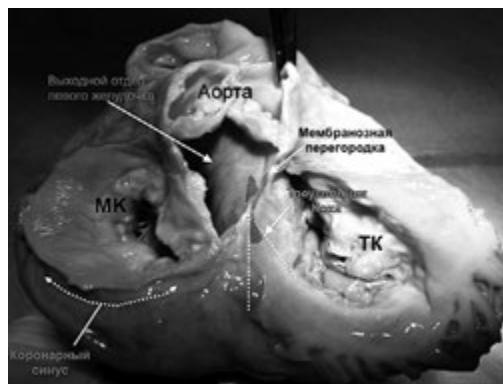


Рис. 4. Анатомия выносящего тракта левого желудочка  
ТК – трикуспидальный клапан; МК – митральный клапан.  
Fig. 4. Anatomy of left ventricular outflow tract

людей является примерно одинаковой, а ее изменения могут быть обусловлены анатомическими размерами этих структур. Таким образом, следует предположить, что должна быть линейная зависимость индекса ударного объема от интегральной скорости потока у здоровых людей с нормальными размерами внутрисердечных структур. В нашем исследовании с помощью корреляционно-регрессионного анализа были выявлены прямые сильные связи, частично подтверждающие данное предположение. Дополнительно было установлено, что оценка индекса ударного объема по потоку через трикуспидальный клапан без учета его размеров недостаточно точна.

На основании регрессионного анализа нами были определены ориентировочные значения индекса ударного объема в зависимости от скорости интегрального потока для приблизительного расчета этого показателя в клинической практике (табл. 6).

*Сердечный индекс, скорость системного потока*

Сердечный индекс как интегральная оценка скорости системного потока в клинической практике является ключевым показателем центральной гемодинамики и напрямую зависит от ударного объема и частоты сердечных сокращений. Полученные в исследовании величины сердечного индекса в целом соответствуют общепринятым показателям, однако нами были зафиксированы максимальные значения до 7 л/мин/м<sup>2</sup>, в частности при определении потока на митральном клапане и 6,5 л/мин/м<sup>2</sup> на трикуспидальном, что не соответствует общепринятым представлениям.

Существует вероятность завышения данных значений, связанного с методологией исследования. Это подтверждается несоответствием системного потока крови между митральным клапаном и выносящим трактом левого желудочка, между трикуспидальным клапаном и стволом легочной артерии. При детальном анализе для выявления причин несоответствия потоков на разных клапанах не было найдено взаимосвязи с функционированием фетальных коммуникаций и массой новорожденных.

В практической реаниматологии основная клиническая проблема в оценке гемодинамического статуса у новорожденных, находящихся в критическом состоянии, состоит в выявлении тяжелых нарушений системного кровотока, приводящих к расстройствам гемодинамики. В настоящем исследовании минимальное значение сердечного индекса (2,1 л/мин/м<sup>2</sup>) было отмечено на уровне выносящего тракта левого желудочка, что полностью согласуется с классическими представлениями о системном потоке крови у человека. В литературе имеются сведения, что новорожденные в переходном периоде кровообращения могут нормально переносить снижения сердечного индекса до 1,7 л/мин/м<sup>2</sup> [10]. В то же время данные о системном потоке крови, полученные с помощью оценки интегральной скорости кровотока,

Таблица 6. Значения индекса ударного объема на клапанах сердца в зависимости от измеренной интегральной скорости потока

Table 6. Stroke volume index on heart valves depending on the velocity time integral

Интегральная скорость потока, см	Индекс ударного объема, мл/м <sup>2</sup>		
	легочная артерия	выносящий тракт левого желудочка	митральный клапан
6	14	15	20
9	19	20	27
10	20	22	30
12	24	25	35
14	27	29	40
16	30	32	45
18	33	36	50
20	37	39	55
22	40	42	60
24	43	46	65

существенно варьируют в различных исследованиях. Так, при оценке гемодинамики у пациентов в стабильном состоянии, проведенной И.В. Борониной и соавт. [3], сердечный индекс составлял 3,05 (2,4–3,5) л/мин/м<sup>2</sup>. Однако авторы отмечают, что вариационный размах во время исследования по сердечному индексу составлял от 1,5 до 10 л/мин/м<sup>2</sup>.

В работе А.А. Лебеденко и соавт. [11] сердечный индекс у детей в стабильном состоянии в разных группах был равен 3,91±1,20 и 4,37±0,95 л/мин/м<sup>2</sup>. П.И. Миночкиным и соавт. [12] сердечный индекс у пациентов в стабильном состоянии составил 5,37 (3,9–6,5) л/мин/м<sup>2</sup>, а в исследовании И.В. Виноградовой [13] расчетный сердечный индекс достигал 10 л/мин/м<sup>2</sup>. В исследовании, выполненном Ю.С. Александровичем и соавт. [14], было установлено, что на фоне стабилизации состояния у новорожденных сердечный индекс достигал 1,73 (1,21–2,6) л/мин/м<sup>2</sup>. В нашем исследовании минимальное значение сердечного индекса составило 1,5 л/мин/м<sup>2</sup> при измерении на трикуспидальном клапане.

Кроме того, необходимо отметить отсутствие сильной корреляции между интегральной скоростью кровотока и индексом ударного объема на уровне трикуспидального клапана. Это указывает на большую вариабельность ударного объема, определяемого на трикуспидальном клапане, в связи с чем информативность измерения ударного объема методом доплерографии на данном клапане вызывает большие сомнения.

В то же время отсутствие статистически значимых различий между группами в зависимости от функционирования фетальных коммуникаций и массы тела, а также соответствие данных закону о нормальном рас-

пределении свидетельствуют о возможности использования референсных значений сердечного индекса для новорожденных и оценки соотношения легочного и системного кровотока. Поэтому в качестве наиболее объективного минимального значения у здоровых новорожденных нами предлагается значение сердечного индекса, измеренного в потоке выносящего тракт левого желудочка и составляющего  $2,1 \text{ л/мин/м}^2$ .

Определенная в нашем исследовании тесная взаимосвязь интегральной скорости потока в выносящем тракте левого желудочка, легочной артерии и митральном клапане и индекса ударного объема позволяет построить модель для определения минимальной скорости потока, соответствующей минимально допустимому сердечному индексу при определенной частоте сердечных сокращений. Так, при частоте сердечных сокращений 130 уд/мин нормальные значения сердечного индекса могут быть при интегральной скорости потока в выносящем тракте левого желудочка, равной 6 см (рис. 5).

#### Индекс доставки кислорода

Доставка кислорода считается ключевым показателем, отражающим гемодинамический и кислородный статус человека [15]. Минимальное значение индекса доставки кислорода нами было определено как  $310 \text{ мл/мин/м}^2$  при регистрации ударного объема на трикуспидальном клапане и  $383 \text{ мл/мин/м}^2$  — в выносящем тракте левого желудочка. С учетом особенностей регистрации ударного объема на трикуспидальном клапане полученный показатель может казаться несколько заниженным, поэтому более объективное минимальное значение может быть получено при измерениях на уровне выносящего тракта левого желудочка.

#### Общее периферическое сопротивление

Оценка общего периферического сосудистого сопротивления проводилась по упрощенной методике, без использования в расчетах центрального венозного давления [1, 15–17]. Полученные данные имели достаточно большой разброс, что связано как с методологией определения системного потока крови, так и с исключением из расчетов центрального венозного давления. Полученные величины дают представления о рефе-

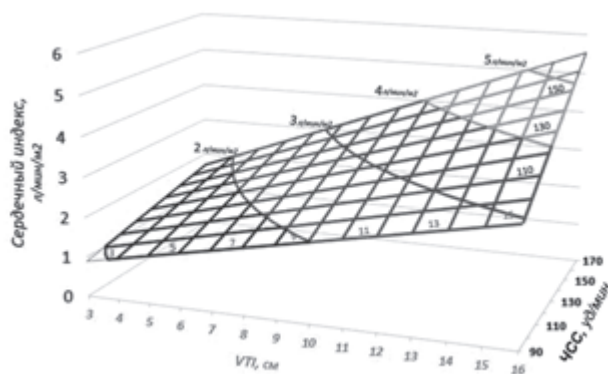


Рис. 5. Определение сердечного индекса в выносящем тракте левого желудочка в зависимости от интегральной скорости кровотока и частоты сердечных сокращений (ЧСС)  
Fig. 5. Estimation of cardiac index in left ventricular outflow tract based on velocity time integral and heart rate

ренсных значениях периферического сосудистого сопротивления у здоровых новорожденных, рассчитанных без учета центрального венозного давления.

#### Индекс конечного диастолического объема

На основании планиметрической оценки индекса конечного диастолического объема были получены данные, сопоставимые с результатами других работ. Особого внимания заслуживает и то, что масса здорового новорожденного ребенка не влияет на величину этого индекса; тем самым подтверждается универсальность индексированных показателей в оценке гемодинамического статуса.

#### Выводы

1. Интегральная скорость потока является ключевым показателем центральной гемодинамики, определяющим величину ударного объема.
2. Масса тела и наличие функционирующих фетальных коммуникаций не оказывают существенного влияния на индексированные показатели системного потока крови у здоровых новорожденных.
3. Имеется прямая корреляция между интегральной скоростью кровотока и индексом ударного объема, характерная для всех внутрисердечных анатомических структур.

#### ЛИТЕРАТУРА (REFERENCES)

1. DeWaal K.A. Central blood flow measurements in newborn infants. Newcastle, 2013; 86.
2. Кузьков В.В., Киров М.Ю. Инвазивный мониторинг гемодинамики в интенсивной терапии и анестезиологии. 2-е издание, перераб. и доп. Архангельск, 2015; 392. [Kuz'kov V.V., Kirov M.Yu. Invasive monitoring of haemodynamics in intensive therapy and anesthesiology. Arhangel'sk, 2015; 392. (in Russ)]
3. Боронина И.В., Александрович Ю.С., Шмаков А.Н., Ошанова Л.С. Возможность использования ультразвукового монитора неинвазивного контроля гемодинамики у новорожденных. Российский вестник детской хирургии, анестезиологии и реаниматологии 2017; 7(3): 70–74. [Boronina I.V., Aleksandrovich Yu.S., Shmakov A.N., Oshanova L.S. The possibility to use the ultrasound monitor of non-invasive control of hemodynamics in newborns. Rossiyskiy vestnik detskoj khirurgii, anesteziologii i reanimatologii 2017; 7(3): 70–74. (in Russ)]
4. Tissot C. Basics of Functional echocardiography in children and neonates. Front Pediatr 2017; 5: 1–13. DOI: 10.3389/fped.2017.00235
5. DeBoode W.R., Groot R., Hoeven J.G. Neonatal hemodynamic monitoring: validation in an experimental animal model. Willem-Pieter de Boode, 2010; 191.



6. DeWaal K.A. The methodology of doppler-derived central blood flow measurements in newborn infants. *Int J Pediatr* 2012; 2012(3): 1–13. DOI: 10.1155/2012/680162
7. Сурков Д.Н., Капустина О.Г., Снисарь В.И. Диагностика и лечение кардиоваскулярных расстройств у новорожденных. *Российский вестник детской хирургии, анестезиологии и реаниматологии* 2011; 2: 68–78. [Surkov D.N., Kapustina O.G., Snisar V.I. diagnosis and therapy of cardiovascular disorders. *Rossiyskiy vestnik detskoi khirurgii, anesteziologii i reanimatologii* 2011; 2: 68–78. (in Russ)]
8. Alverson D.C., Eldridge M., Dillon T., Yabek S., Berman W. Noninvasive pulsed doppler determination of cardiac output in neonates and children. *J Pediatr* 1982; 101(1): 46–50. DOI: 10.1016/S0022-3476(82)80178-9
9. He S.R., Zhang C., Liu Y.M., Sun Y.X., Zhuang J., Chen J.M., Madigan V.M. et al. Accuracy of the ultrasonic cardiac output monitor in healthy term neonates during postnatal circulatory adaptation. *Chin Med J (Engl)* 2011; 124(15): 2284–2289. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0366-6999.2011.15.008
10. Mertens L., Seri I., Marek J., Arlettaz R., Barker P., McNamara P., Moon-Grady A.J. et al. Writing Group of the American Society of echocardiography (ASE); European Association of echocardiography (EAE); Association for European Pediatric Cardiologists (AEPIC). Targeted neonatal echocardiography in the neonatal intensive care unit: Practice guidelines and recommendations for training. *Eur J Echocardiogr* 2011; 12(10): 715–736. DOI: 10.1093/ejehocardi/jer181
11. Лебеденко А.А., Тараканова Т.Д., Козырева Т.Б., Левчин А.М., Аверкина Л.А. Динамика структурных и функциональных параметров сердца у детей первого года жизни, перенесших транзиторную ишемию мозга в раннем неонатальном периоде. *Российский вестник перинатологии и педиатрии* 2017; 62(1): 71–78. DOI: 10.21508/1027. [Lebedenko A.A., Tarakanova T.D., Kozyreva T.B., Levchin A.M., Averkina L.A. Time course of cardiac structural and functional changes in babies in the first year of life who have sustained transient myocardial ischemia in the early neonatal period. *Rossiyskiy vestnik perinatologii i pediatrii* (Russian Bulletin of Perinatology and Pediatrics) 2017; 62(1): 71–78. (in Russ)]
12. Миночкин П.И., Волосников Д.К., Киреева Г.Г. Неинвазивный мониторинг гемодинамики у новорожденных детей с полиорганной недостаточностью. *Российский вестник перинатологии и педиатрии* 2012; 57(3): 12–16. [Minochkin P.I., Volosnikov D.K., Kireeva G.G. Noninvasive hemodynamic monitoring in newborn infants with multiple organ dysfunction. *Rossiyskiy vestnik perinatologii i pediatrii* (Russian Bulletin of Perinatology and Pediatrics) 2012; 57(3): 12–16. (in Russ)]
13. Виноградова И.В. Становление центральной гемодинамики у недоношенных детей с очень низкой массой и экстремальной массой тела с дыхательными нарушениями. *Вестник чувашского университета* 2013; 3: 288–292. [Vinogradova I.V. Formation of central haemodynamics at prematurely born children with very low and extremely low weight of the body with respiratory infringements. *Vestnik chuvashskogo universiteta* 2013; 3: 288–292. (in Russ)]
14. Александрович Ю.С., Пшениснов К.В., Кушнерик Л.А., Паршин Е.В., Блинов С.А., Андреев В.В. Особенности кислородного статуса у новорожденных детей в зависимости от этиологии критического состояния. *Вестник анестезиологии и реаниматологии* 2011; 8(6): 41–47. [Aleksandrovich Yu.S., Pshenishnov K.V., Kushnerik L.A., Parshin E.V., Blinov S.A., Andreev V.V. The specific features of oxygen status in newborn infants in relation of the etiology of critical condition. *Vestnik anesteziologii i reanimatologii* 2011; 8(6): 41–47. (in Russ)]
15. Gutierrez J.A., Theodorou A.A. Oxygen delivery and oxygen consumption in pediatric critical care. In: *Pediatric Critical Care Study Guide*. Springer; 2012; 19–39. www.springer.com/978-0-85729-992-2
16. DeWaal K., Evans N. Hemodynamics in preterm infants with late-onset sepsis. *J Pediatr* 2010; 156(6): 918–922. DOI: 10.1016/j.jpeds.2009.12.026
17. Zonnenberg I., DeWaal K. The definition of a haemodynamic significant duct in randomized controlled trials: a systematic literature review. *Acta Paediatr* 2012; 101(3): 247–251. DOI: 10.1111/j.1651-2227.2011.02468.x

Поступила: 08.05.18

Received on: 2018.05.08

*Все иллюстрации, представленные в статье, являются оригинальными и выполнены авторами исследования.*

*All the illustrations presented in the article are original and made by the authors of the study.*

**Конфликт интересов:**

*Авторы данной статьи подтвердили отсутствие конфликта интересов и финансовой поддержки, о которых необходимо сообщить.*

**Conflict of interest:**

*The authors of this article confirmed the lack of conflict of interest and financial support, which should be reported.*