

Т.В. Чумарная<sup>1</sup>, Е.О. Гусарова<sup>2</sup>, Р.О. Рокеах<sup>1</sup>, О.Э. Соловьева<sup>1</sup>

## ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ГЕОМЕТРИЯ ЛЕВОГО ЖЕЛУДОЧКА СЕРДЦА ГЛУБОКО НЕДОНОШЕННЫХ НОВОРОЖДЕННЫХ В РАННИЙ НЕОНАТАЛЬНЫЙ ПЕРИОД

<sup>1</sup>ФГБУН Институт иммунологии и физиологии УрО РАН,  
г. Екатеринбург, Российская Федерация;

<sup>2</sup>ФГБУ «Научно-исследовательский институт охраны материнства и младенчества»  
Минздрава России, г. Екатеринбург, Российская Федерация

**Резюме.** Сократительная способность миокарда тесно связана с изменением формы левого желудочка в сердечном цикле. Исследования на взрослых пациентах продемонстрировали, что особенности формы левого желудочка и ее изменение в течение сердечного цикла могут различать патологические и здоровые сердца даже в случаях, когда стандартные показатели ЭхоКГ неубедительны. Функциональная геометрия левого желудочка определяется как набор характеристик, которые связывают форму и функцию желудочка. Несмотря на достижения в области детской кардиологии, в настоящее время не существует общепринятой системы классификации патологии сократимости сердца у младенцев, рожденных недоношенными. **Цель исследования:** провести сравнительный анализ параметров функциональной геометрии левого желудочка у недоношенных новорожденных с экстремально низкой и очень низкой массой тела при рождении и у доношенных новорожденных в 1-3 сутки жизни. **Материалы и методы.** Эхокардиография выполнена глубоко недоношенным новорожденным (гестационный возраст до 34 недель, масса тела до 1500 грамм, n=19) и доношенным новорожденным (гестационный возраст 38-40 недель, масса тела 3375±389 грамм, n=27) на 1-3 сутки жизни. Методами функциональной геометрии проведена оценка движения стенки левого желудочка и его формы в сердечном цикле. **Результаты исследования** показали, что у глубоко недоношенных новорожденных в первые дни жизни наблюдается существенное увеличение пространственной неоднородности движения стенки левого желудочка в течение сердечного цикла по сравнению с доношенными новорожденными, что свидетельствует о специфическом паттерне движения стенки левого желудочка.

**Ключевые слова:** эхокардиография в неонатологии, функциональная геометрия, морфометрическая геометрия, неонатальная гемодинамика

Конфликт интересов отсутствует.

Контактная информация автора, ответственного за переписку:

Чумарная Татьяна Владиславовна

chumarnaya@gmail.com

Дата поступления: 01.09.2024

Образец цитирования: Чумарная Т.В., Гусарова Е.О., Рокеах Р.О., Соловьева О.Э. Функциональная геометрия левого желудочка сердца глубоко недоношенных новорожденных в ранний неонатальный период. [Электронный ресурс] Вестник уральской медицинской академической науки. 2024, Том 21, № 3, с. 242–252, DOI: 10.22138/2500-0918-2024-21-3-242-252

### Введение

Частота преждевременных родов растет во всем мире и затрагивает около 10% живорождений [1]. Популяционные исследования продемонстрировали, что преждевременные роды признаны фактором риска развития ранней сердечной недостаточности и ишемической болезни сердца в молодом возрасте. Кроме того, гестационный возраст при рождении имеет сильную обратную связь со смертностью в молодом возрасте от сердечно-сосудистых заболеваний [2].

Улучшения в перинатальном и неонатальном уходе привели к повышению выживаемости недоношенных детей с очень низкой массой тела (менее 1501 грамм) при рождении. Каждый такой новорожденный попадает в отделение реанимации. Одной из главных задач в отделении реанимации является поддержание стабильной гемодинамики в ранний неонатальный период. Частыми причинами развития критических состояний у недоношенных новорожденных в ранний неонатальный период являются дезадаптация сердечно-сосудистой системы на фоне одного или нескольких состояний: респираторный дистресс-синдром, сепсис, шок разной этиологии, врожденная пневмония и другие [3].

Для оценки состояния сердечно-сосудистой системы одним из самых доступных и неинвазивных методов является метод эхокардиографии (ЭхоКГ). ЭхоКГ в неонатологии традиционно применяется для диагностики врожденных пороков сердца и проводится врачами функциональной диагностики или врачами-кардиологами [4], однако в последнее десятилетие в мире активно внедряется выполнение ЭхоКГ врачами-неонатологами и анестезиологами-реаниматологами у детей, находящихся в критическом состоянии. В настоящее время применение ЭхоКГ в отделениях реанимации новорожденных входит в рекомендации международных экспертов [5]. Однако на сегодняшний день не определены референтные значения параметров ЭхоКГ, в том числе характеристик деформации миокарда для глубоко недоношенных в раннем неонатальном периоде. Для оценки гемодинамики необходимо исследование сократительной способности миокарда, что может быть прямо или косвенно оценено с помощью ЭхоКГ.

Информация о сократительной функции сердца в сочетании с другими клиническими и инструментальными сведениями может быть использована для построения прогностических моделей критического состояния глубоко недоношенного новорожденного и последующего выбора соответствующей таргетной инотропной или вазопрессорной/вазодилатирующей терапии.

Сократительная способность миокарда тесно связана, в том числе, с изменением формы левого желудочка (ЛЖ) в сердечном цикле [6]. Исследования на взрослых пациентах продемонстрировали, что оценка формы ЛЖ и ее изменение в течение сердечного цикла дает возможность дифференцировать норму от патологического изменения даже в случаях, когда стандартные показатели ЭхоКГ неубедительны [7]. Функциональная геометрия ЛЖ определяется как набор характеристик, которые связывают форму и функцию желудочков сердца [7].

Несмотря на имеющиеся достижения в области детской кардиологии в настоящее время не существует общепринятой системы классификации патологии сократимости сердца у младенцев, рожденных недоношенными [8].

**Цель:** провести сравнительный анализ параметров функциональной геометрии левого желудочка у недоношенных новорожденных с экстремально низкой и очень низкой массой тела при рождении и у доношенных новорожденных на 1-3 сутки жизни.

### **Материалы и методы**

На базе ФГБУ «Научно-исследовательский институт охраны материнства и младенчества» Минздрава России (г. Екатеринбург) (ФГБУ «НИИ ОММ» Минздрава России) и ГБУЗ «Областной перинатальный центр» (г. Челябинск) выполнено проспективное когортное исследование с участием 19 недоношенных (масса тела до 1501 грамм) новорожденных детей, без клинических признаков нарушения гемодинамики и 27 доношенных новорожденных (группа сравнения). В процессе исследования персональные данные были обезличены и импортированы в программное обеспечение для последующей обработки. Исследование одобрено этическим комитетом ФГБУ «НИИ ОММ» Минздрава России.

ЭхоКГ проводилась в возрасте 1-3 суток жизни. Использованы ультразвуковые аппараты GE Vivid iq и Vivid E9 XD (General Electric, США) и секторный фазированный датчик с частотой 5-9 МГц. В стандартный протокол ЭхоКГ входили следующие измерения: оценка размера камер сердца и магистральных сосудов, фракция выброса в М-режиме (по Тейхольцу), ударный объем, сердечный выброс ЛЖ, характеристики артериального протока, верификация признаков легочной гипертензии. Дополнительно сохранялись видео-петли с изображением ЛЖ в четырехкамерной апикальной позиции течение сердечного цикла.

### **Сегментация эхокардиографических изображений**

На ЭхоКГ изображениях в четырехкамерной апикальной позиции была произведена покадро-

вая сегментации контуров ЛЖ с использованием разработанного нами программного комплекса «LKLVS» (Lukas Kanade Left Ventricle Segmentation), свидетельство о государственной регистрации №2023619715.

**Оценка функциональной геометрии ЛЖ**

Для расчета характеристик функциональной геометрии ЛЖ использовалось оригинальное программное обеспечение «LVFG» (Left Ventricle Function Geometry), свидетельство о государственной регистрации №2023665251. Проведена оценка пространственно-временной неоднородности движения стенок ЛЖ в течение сердечного цикла (Рис.1).

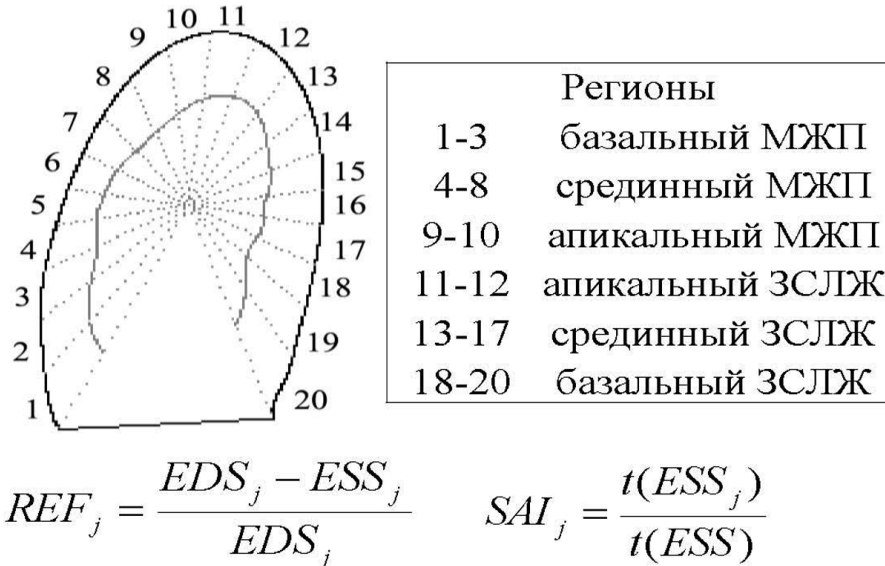


Рисунок 1. Метод секторов для измерения пространственно-временной неоднородности движения стенок левого желудочка в течение сердечного цикла

Примечание: ED – конечная диастола; ES- конечная систола; j – номер региона от 1 до 20; EDSj, ESSj – наибольшая и наименьшая площади j региона в сердечном цикле; REFj – региональная фракция выброса j региона; t (ESSj) – время достижения локальной конечной систолы j региона, t (ESS) – время глобальной конечной систолы левого желудочка, SAI – индекс систолического асинхронизма j региона; МЖП – межжелудочковая перегородка; ЗСЛЖ – задняя стенка левого желудочка

Figure 1. A sector method for measuring the spatial-temporal heterogeneity of the movement of the walls of the left ventricle during the cardiac cycle

Note: ED – end diastole; ES – end systole; j – region number from 1 to 20; EDSj, ESSj – largest and smallest areas of j region in the cardiac cycle; REFj – regional ejection fraction of j region; t (ESSj) –local end systole time of j region; t (ESS) – global end systole time of the left ventricle; SAI - systolic asynchronism index of region j; регионы – regions: базальный – basal, срединный – mid, апикальный – apical, МЖП - interventricular septum, ЗСЛЖ – the posterior wall of the left ventricle

Коэффициент вариации региональных фракций выброса использовался как индекс пространственной неоднородности (SHI – spatial heterogeneity index) движения стенки ЛЖ. Коэффициент вариации показателя асинхронизма достижения локальной конечной систолы региона, в сравнении с глобальной систолой ЛЖ, рассматривался как индекс временной неоднородности (THI – temporal heterogeneity index).

Дополнительно, в течение сердечного цикла были рассчитаны индексы формы ЛЖ: стандартный индекс сферичности (SI – sphericity index ) – отношение короткой оси ЛЖ к длинной; индекс сферичности Гибсона (GSI – Gibson sphericity index ) – отношение площади области, ограниченной контуром ЛЖ, к площади окружности, имеющей периметр, равный контуру ЛЖ; индекс конусности (CI – conicity index) – отношение площади треугольника, вписанного в контур ЛЖ к площади области, ограниченной контуром ЛЖ, а также метод оценки регулярности формы ЛЖ, основанный на преобразовании Фурье (FSPI – Fourier shape power index) [7].

**Статистический анализ**

Статистический анализ проводился с помощью программного обеспечения SPSS v.27.0 (IBM, США). Для описания качественных характеристик использовались абсолютное число и процент от

общего числа наблюдений. Для количественных характеристик нормальность распределения проверялась с помощью критерия Шапиро-Уилка. При неотклонении гипотезы от нормального распределения описательные характеристики представлялись в виде среднего  $\pm$  стандартного отклонения (Mean  $\pm$  SD), две независимые группы сравнивались при помощи t-критерия Стьюдента, корреляционные связи оценивались с использованием коэффициента корреляции Пирсона. При отклонении гипотезы о нормальном распределении характеристики представлялись в виде медианы (25 перцентиль; 75 перцентиль) (Median (25 percentile; 75 percentile)), две независимые группы сравнивались при помощи критерия Манна-Уитни, корреляционные зависимости оценивались ранговым коэффициентом корреляции Спирмена. Уровень значимости (p) выбран менее 0,05.

При сравнении временных серий использовалась поправка Бенджамини-Екутиэли (Benjamini-Yekutieli) для множественных сравнений, скорректированный уровень значимости равнялся 0,006.

Для построения графиков использованы программы SPSS v.27.0, Python v.3.0, библиотека Seaborn v.0.13.2.

Таблица 1

Стандартные показатели протокола ЭхоКГ глубоко недоношенных детей в условиях реанимации в сравнении с доношенными новорожденными в ранний неонатальный период

Table 1

Standard parameters of the echocardiography protocol of deeply premature infants in intensive care compared with full-term newborns in the early neonatal period

Характеристика Characteristic	Недоношенные дети (n=19) Premature babies (n=19)	Доношенные дети (n=27) Full-term babies (n=27)	p
Вес, грамм Weight, gramm	1092 $\pm$ 283	3375 $\pm$ 389	0,000
Рост, см Height, cm	36 $\pm$ 4	52 $\pm$ 2	0,000
Частота сердечных сокращений, ударов в минуту Heart rate, bpm	157(150;169)	141(124;150)	0,001
Гестационный возраст, недели Gestation age, weeks	30(28;31)	38(38;40)	0,000
Открытый артериальный проток, частота случаев Patent ductus arteriosus, frequency of cases	12 (63%)	11 (39%)	0,108
Сатурация, % Saturation, %	96(93;98)	97(95;98)	0,184
Артериальное давление (среднее), мм.рт.ст. Blood pressure mean, mmHg	48(36;57)	55(50;56)	0,082
КДО ЛЖ, мл LV EDV, ml	4(3;6)	6(6;8)	0,002
КСО ЛЖ, мл LV ESV, ml	1(1;2)	2(2;2)	0,005
КДР ЛЖ, мм LV EDD, mm	13(10;15)	15(15;16)	0,000
КСР ЛЖ, мм LV ESD, mm	8(7;10)	10(10;10)	0,001
Толщина задней стенки ЛЖ, мм PLV, mm	2(1;2)	4(3;4)	0,000
Толщина межжелудочковой перегородки, мм IVS, mm	3(3;4)	4(3;4)	0,000
Фракция выброса ЛЖ (по Тейхольцу), % LV EF (Teicholz), %	67 $\pm$ 5	68 $\pm$ 4	0,579

Примечание: КДО – конечно-диастолический объем, ЛЖ – левый желудочек, КСО – конечно-систолический объем, КДР – конечно-диастолический размер, КСР – конечно-систолический размер, p – статистическая значимость различий между группами

Note: LV – left ventricle, EDV – end-diastolic volume, ESV – end-systolic volume, EDD – end-diastolic size, ESD – end-systolic size, PLV – thickness of the posterior wall of the LV, IVS – interventricular septum, EF – ejection fraction, p – statistical significance of differences between groups

## Результаты

В таблице 1 приведены характеристики антропометрических показателей и стандартного протокола ЭхоКГ рассматриваемых групп. Установлено, что группы имели отличия по росту и весу, в то же время фракция выброса ЛЖ не отличалась между группами доношенных и недоношенных детей.

### Функциональная геометрия ЛЖ

На рисунке 2 представлено распределение средних величин региональных фракций выброса (РФВ) вдоль стенки ЛЖ. У недоношенных новорожденных наблюдается тенденция к снижению РФВ в сравнении с доношенными. В то же время индекс пространственной неоднородности был статистически значимо выше в группе недоношенных новорожденных в сравнении с доношенными (Табл. 2).

Проведено сравнение индексов формы ЛЖ в течение сердечного цикла в рассматриваемых группах (Табл. 2). У недоношенных новорожденных статистические различия между конечной диастолой (КД) и конечной систолой (КС) выявлены только для индекса Гибсона и индекса сложности формы, в то время как у доношенных новорожденных различия между КД и КС найдены для всех рассматриваемых индексов. Стандартный индекс сферичности и индекс сложности формы статистически значимо отличался в позднюю диастолу (Рис. 3).

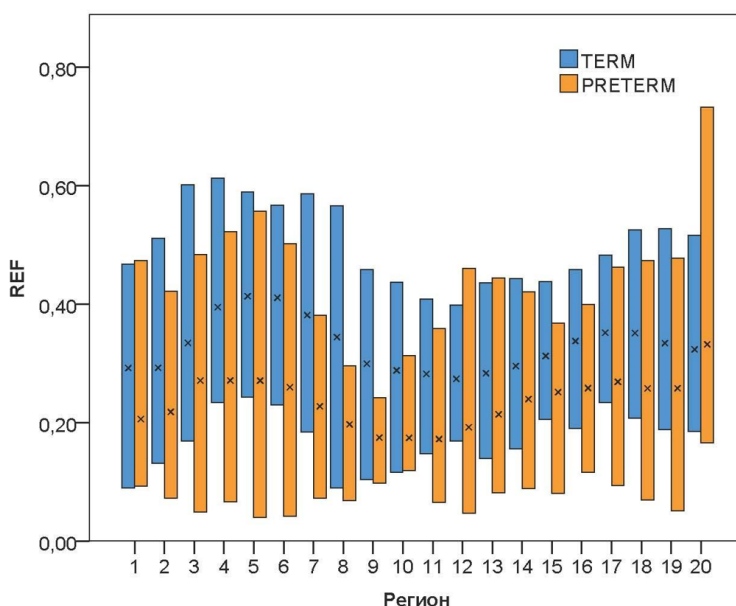


Рисунок 2. Распределение региональных фракций выброса вдоль стенки левого желудочка в группах недоношенных и доношенных новорожденных

Примечание: preterm – недоношенные новорожденные, term – доношенные новорожденные; REF – региональные фракции выброса; регионы: 1-3 – базальный отдел межжелудочковой перегородки; 4-8 – срединный отдел межжелудочковой перегородки; 9-10 – апикальный отдел межжелудочковой перегородки; 11-12 – апикальный отдел задней стенки левого желудочка; 13-17 – срединный отдел задней стенки левого желудочка; 18-20 – базальный отдел задней стенки левого желудочка

Figure 2. Distribution of regional ejection fractions along the wall of the left ventricle in groups of premature and full-term newborns

Note: preterm – premature babies, term – full-term babies; REF – regional ejection fractions, регион – region: 1-3 basal septal, 4-8 mid septal, 9-10 – apical septal, 11-12 – apical lateral, 13-17 – mid lateral, 18-20 – basal lateral

В то же время индексы сферичности Гибсона и конусности не демонстрируют значимых различий между группами во всех фазах сердечного цикла (Табл. 2).

## Обсуждение

Впервые проведено исследование формы ЛЖ в течение сердечного цикла методами функциональной геометрии у глубоко недоношенных в сравнении с доношенными новорожденными в 1-3 сутки жизни. Группы рассмотрены в момент активного процесса перехода от фетального кровообращения к постнатальному, когда происходят существенные структурные изменения сердца, совпадающие с

увеличением сердечного выброса и постнагрузки на ЛЖ. Эти изменения приводят к установлению специфической пространственной и временной неоднородности сокращения стенки ЛЖ, которая оптимально отвечает требованиям гемодинамики [10]. Ожидается, что группы оказались различными по антропометрическим данным (рост, вес), что нашло свое отражение в результатах стандартного протокола ЭхоКГ. В свою очередь, характеристики функциональной геометрии исследованного органа не связаны с антропометрическими показателями, что позволяет установить отличительные особенности перемещения стенки ЛЖ и его форму вне влияния размера камер.

Таблица 2

Характеристики функциональной геометрии левого желудочка у глубоко недоношенных и доношенных новорожденных в конечно-диастолический и конечно-систолический моменты сердечного цикла

Table 2

Characteristics of the functional geometry of the left ventricle in deeply premature and full-term newborns at the end-diastolic and end-systolic moments of the cardiac cycle

Характеристика Characteristic	Недоношенные дети (n=19) Premature babies (n=19)	Доношенные дети (n=27) Full-term babies (n=27)	p
SHI	0,43±0,24	0,29±0,12	0,025
THI	0,28±0,09	0,33±0,18	0,258
SI ED	0,57±0,09	0,61±0,05	0,053
SI ES	0,56±0,09	0,59±0,06*	0,179
Δ SI	-0,01±0,04	-0,03±0,06	0,412
GSI ED	0,78±0,05	0,80±0,03	0,168
GSI ES	0,75±0,06*	0,76±0,04*	0,383
Δ GSI	-0,04±0,03	-0,05±0,04	0,721
CI ED	1,48±0,06	1,47±0,07	0,556
CI ES	1,49±0,07	1,49±0,09*	0,981
Δ CI	-0,01±0,04	-0,02±0,04	0,394
FSPI ED	3,22±1,38	2,50±0,74	0,051
FSPI ES	3,52±1,58*	3,13±0,98*	0,352
Δ FSPI	0,11±0,22	0,24±0,25	0,071

Примечание: SHI – индекс пространственной неоднородности, THI – индекс временной неоднородности, SI – индекс сферичности, ED – конечная диастола, ES – конечная систола, GSI – индекс сферичности Гибсона, CI – индекс конусности, FSPI – индекс сложности формы левого желудочка; p – статистическая значимость различий между группами

Note: SHI – spatial heterogeneity index, THI – temporal heterogeneity index, SI – sphericity index, ED – end diastole, ES – end systole, GSI – Gibson sphericity index, CI – conicity index, FSPI – fourier shape power index; p – statistical significance of differences between groups

Ранее нам удалось установить, что для взрослых людей индекс пространственной неоднородности обратно пропорционален глобальной фракции выброса ЛЖ и возрастает при патологических состояниях сократительной функции сердца [7]. В данном исследовании мы подтвердили зависимость между индексом пространственной неоднородности и глобальной фракцией выброса ( $r=-0,38$ ,  $p=0,010$ ). Установлено, что, несмотря на сходные профили распределения средних величин региональных фракций выброса вдоль стенки ЛЖ в группах, средний коэффициент вариации индивидуальных региональных фракций выброса оказался значительно выше у недоношенных. Этот факт указывает на более высокую пространственную неоднородность движения стенки ЛЖ в сердечном цикле, что, в свою очередь, говорит об ином (отличном) движении стенки ЛЖ в течение цикла. Прежде всего, полученные данные можно связать с тем, что у недоношенных новорожденных к этому моменту имеются функционально менее зрелые кардиомиоциты, которые менее готовы к переходу от внутриутробной к внеутробной жизни, что в дальнейшем не может не сказаться на функциональ-

ном состоянии сердечной мышцы [8, 9, 10].

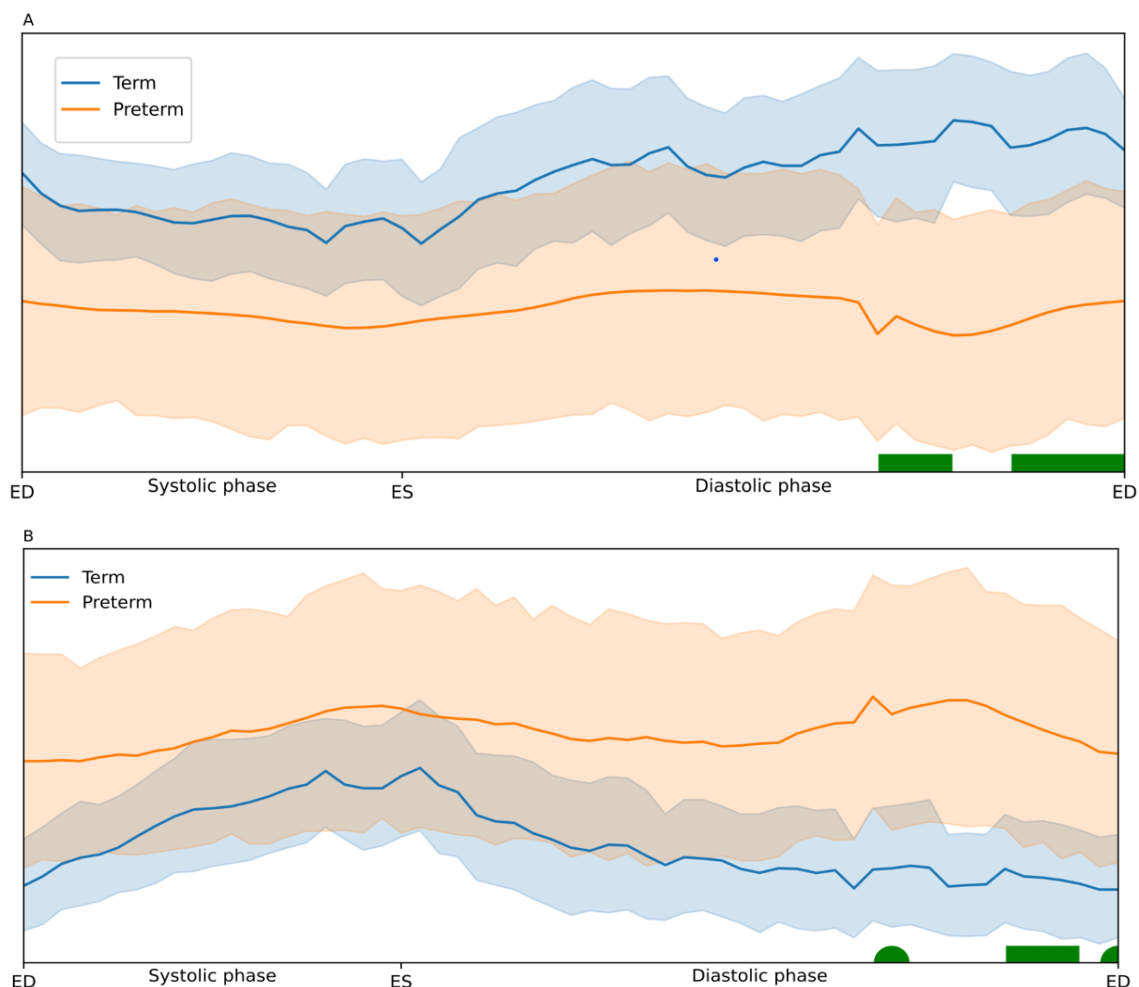


Рисунок 3. Индексы формы левого желудочка в течение сердечного цикла в группах недоношенных и доношенных новорожденных

Примечание: блок А – индекс сферичности, блок В – индекс сложности формы левого желудочка; term – доношенные новорожденные, preterm – недоношенные новорожденные; systolic phase – систолическая фаза, diastolic phase – диастолическая фаза, ED – конечная диастола, ES – конечная систола; представлены средние значения и 95% доверительный интервал; зеленой толстой линией на оси абсцисс обозначены моменты сердечного цикла, где наблюдается статистические различия между индексами (с корректировкой на множественные сравнения)

Figure 3. Indices of the left ventricle shape during the cardiac cycle in preterm and term newborns

Note: block A – sphericity index, block B – fourier shape power index; term – full-term babies, preterm – premature babies; ED – end diastole, ES – end systole; mean values and 95% confidence intervals are presented; the green thick line on the x-axis indicates the moments of the cardiac cycle where statistical differences between the indices are observed (adjusted for multiple comparisons)

У доношенных новорожденных детей все изученные индексы формы значимо отличались в фазу конечной систолы в сравнении с конечной диастолой, в то время как у недоношенных младенцев для индекса сферичности и конусности такого отличия не было выявлено. Полученные данные могут свидетельствовать о раскоординированном (патологическом) паттерне изменения формы ЛЖ в цикле у недоношенных. Вместе с тем, средние значения характеристик формы ЛЖ в течение сердечного цикла не отличались между доношенными и недоношенными детьми за исключением индексов сферичности и сложности формы в мезодиастолу. Изменения индексов формы относительно конечной диастолы также не имели достоверных отличий.

Исследования, описывающие форму ЛЖ и связь с функцией сердечной мышцы для глубоко недоношенных новорожденных, малочисленны [13]. Работы по описанию формы ЛЖ у глубоко недоношенных в первые дни жизни нами не найдены. Мы не выявили различий глобальной фракции вы-

броса ЛЖ между рассматриваемыми группами. Отличия формы также были мало выражены, однако индекс пространственной неоднородности может представлять информационный интерес о наличии региональных отличий движения стенки ЛЖ, которые, вероятно, могут привести к снижению сократительной функции сердца, что подтверждается многочисленными работами по исследованию недоношенных детей в подростковом возрасте [11, 12].

Данное исследование является первым этапом исследования формы ЛЖ у новорожденных. В дальнейшем мы планируем использовать характеристики неоднородности движения стенки ЛЖ и его формы для классификации патологических состояний сократительной функции сердца у недоношенных. Немаловажно на наш взгляд также проследить как меняются динамические паттерны формы ЛЖ в процессе взросления (в онтогенезе) у доношенных и недоношенных. Мы планируем проверить полученные результаты на большей выборке и сделать более обоснованные выводы о связи изменении формы ЛЖ и его сократительной функции с физиологической точки зрения.

### Заключение

В результате исследования установлено, что у глубоко недоношенных новорожденных в первые дни жизни наблюдается существенное увеличение пространственной неоднородности движения стенки ЛЖ в течение сердечного цикла в сравнении с доношенными детьми, что позволяет сделать вывод о специфическом паттерне движения стенки ЛЖ.

### Благодарности

*Работа выполнена при поддержке гос. темы ИИФ УрО РАН № 122022200089-4.*

### ЛИТЕРАТУРА

1. Ohuma E.O., Moller A.B., Bradley E., Chakwera S., Hussain-Alkhatieb L., Lewin A., Okwaraji Y.B., Mahanani W.R., Johansson E.W., Lavin T., Fernandez D.E., Domínguez G.G., de Costa A., Cresswell J.A., Krasevec J., Lawn J.E., Blencowe H., Requejo J., Moran A.C. National, regional, and global estimates of preterm birth in 2020, with trends from 2010: a systematic analysis. *Lancet*. 2023; 402(10409):1261-1271. doi:10.1016/S0140-6736(23)00878-4.
2. Flatt S., Velez M.P. The cost of preterm birth and cesarean section as a result of infertility and its treatment: A review. *Best Pract Res Clin Obstet Gynaecol*. 2023; 86:102304. doi:10.1016/j.bpobgyn.2022.102304.
3. Mullaly R., El-Khuffash A.F. Haemodynamic assessment and management of hypotension in the preterm. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed*. 2024; 109(2):120-127. doi:10.1136/archdischild-2022-324935.
4. Рудакова А.А., Ионов О.В., Филиппова Е.А., Сугак А.Б., Киртбая А.Р., Балашова Е.Н., Зубков В.В. Возможности и ограничения применения эхокардиографии врачом интенсивной терапии в отделении реанимации и интенсивной терапии новорожденных. *Неонатология: новости, мнения, обучение*. 2022; 10(4):54-62. doi:10.33029/2308-2402-2022-10-4-54-62.
5. Tissot C/, Singh Y. Neonatal functional echocardiography. *Curr Opin Pediatr*. 2020 Apr;32(2):235-244. doi: 10.1097/MOP.0000000000000887.
6. Whiteman S., Alimi Y., Carrasco M., Gielecki J., Zurada A., Loukas M. Anatomy of the cardiac chambers: A review of the left ventricle. *Translational Research in Anatomy*. 2021; 23:100095.
7. Chumarnaya T., Bykov A., Idov E.M., Mikhaylov S.P., Solovyova O. Classification model of heart transplant outcomes based on features of left ventricular functional geometry. *Computing in Cardiology Conference (CinC)*. 2018; 45:1-4.
8. Schuermans A., Lewandowski A.J. Understanding the preterm human heart: What do we know so far? *Anat Rec (Hoboken)*. 2022; 305(9):2099-2112. doi:10.1002/ar.24875.
9. Ковтун О.П., Цывьян П.Б., Маркова Т.В., Чумарная Т.В. Ремоделирование сердца недоношенных детей. *Вестник Российской академии медицинских наук*. 2020; 75(6):631-637. doi:10.15690/vramn1268.
10. Tan C.M.J., Lewandowski A.J. The transitional heart: from early embryonic and fetal development to neonatal life. *Fetal diagnosis and therapy*. 2020; 47(5):373-386.
11. Telles F., McNamara N., Nanayakkara S., Doyle M.P., Williams M., Yaeger L., Marwick T.H., Leeson P., Levy P.T., Lewandowski A.J. Changes in the Preterm Heart From Birth to Young Adulthood: A



Meta-analysis. Pediatrics. 2020; 146(2):e20200146. doi:10.1542/peds.2020-0146.

12. Hromadnikova I., Kotlabova K., Dvorakova L., Krofta L., Sirc J. Postnatal Expression Profile of microRNAs Associated with Cardiovascular and Cerebrovascular Diseases in Children at the Age of 3 to 11 Years in Relation to Previous Occurrence of Pregnancy-Related Complications. Int J Mol Sci. 2019; 20(3):654. doi:10.3390/ijms20030654.

13. Павлюкова Е.Н., Колосова М.В., Неклюдова Г.В., Карпов Р.С. Механика левого желудочка у детей, рожденных недоношенными. Физиология человека. 2023; 49(2):108-122.

## Авторы

Чумарная Татьяна Владиславовна

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт иммунологии и физиологии Уральского отделения Российской академии наук (ИИФ УрО РАН)

К.б.н., старший научный сотрудник лаборатории математической физиологии им. чл.-корр. РАН В.С. Мархасина  
Екатеринбург, Российская Федерация  
chumarnaya@gmail.com

Гусарова Евгения Олеговна

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-исследовательский институт охраны материнства и младенчества» Министерства здравоохранения Российской Федерации (ФГБУ «НИИ ОММ» Минздрава России)

Младший научный сотрудник отдела биофизических методов исследования  
Екатеринбург, Российская Федерация  
Evgeniyagusarova89@yandex.ru

Рокеах Роман Олегович

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт иммунологии и физиологии Уральского отделения Российской академии наук (ИИФ УрО РАН)

Научный сотрудник лаборатории математической физиологии им. чл.-корр. РАН В.С. Мархасина  
Екатеринбург, Российская Федерация  
roman.rokeakh@yandex.ru

Соловьёва Ольга Эдуардовна

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт иммунологии и физиологии Уральского отделения Российской академии наук (ИИФ УрО РАН)

Д.ф.-м.н., профессор, директор ИИФ УрО РАН  
Екатеринбург, Российская Федерация  
o.solovyova@iip.uran.ru

*T.V. Chumarnaya<sup>1</sup>, E.O. Gusarova<sup>2</sup>, R.O. Rokeakh<sup>1</sup>, O.E. Solovyova<sup>1</sup>*

## LEFT VENTRICLE FUNCTIONAL GEOMETRY IN EXTREMELY PRETERM INFANTS IN THE EARLY NEONATAL PERIOD

<sup>1</sup>Institute of Immunology and Physiology of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russian Federation

<sup>2</sup>Scientific Research Institute for Maternal and Infant Health of the Ministry of Health of the Russian Federation, Yekaterinburg, Russian Federation

**Abstract.** Myocardial contractility is closely related to changes in the shape of the left ventricle (LV) during the cardiac cycle. Studies in adult patients have shown that features of LV shape and how it changes

during the cardiac cycle can distinguish abnormal from healthy hearts, even in cases where standard echocardiography was inconclusive. LV functional geometry is defined as the set of characteristics that relate ventricular shape to function. Despite advances in the field of pediatric cardiology, there is currently no generally accepted system for the classification of cardiac contractility pathology in preterm infants. **Aim of the study:** To perform a comparative analysis of LV functional geometry parameters in extremely low and very low birth weight preterm infants and term infants on days 1-3 of life. **Materials and methods.** Echocardiography was performed in extremely preterm (gestation age up to 34 weeks, body weight up to 1500 g, n=19) and term infants (gestation age 38-40 weeks, body weight 3375±389 g, n=27) from 1 to 3 days of age. Using functional geometry methods, we assessed the movement of the LV wall and its shape during the cardiac cycle. **The results** of the study showed that in preterm infants there is a significant increase in spatial heterogeneity of LV wall motion during the cardiac cycle in the first days of life compared to term infants, indicating a specific pattern of LV wall motion.

**Keywords:** echocardiography in neonatology, functional geometry, morphometric geometry, neonatal hemodynamics

There is no conflict of interest.

Contact details of the corresponding author:

Tatiana V. Chumarnaya  
chumarnaya@gmail.com

Received: 01.09.2024

For citation: Chumarnaya T.V., Gusarova E.O., Rokeakh R.O., Solovyova O.E. Left ventricle functional geometry in extremely preterm infants in the early neonatal period. [Online] Vestn. Ural. Med. Akad. Nauki. = Journal of Ural Medical Academic Science. 2024, Vol. 21, no. 3, pp. 242–252. DOI: 10.22138/2500-0918-2024-21-3-242-252 (In Russ)

## REFERENCES

1. Ohuma E.O., Moller A.B., Bradley E., Chakwera S., Hussain-Alkhateeb L., Lewin A., Okwaraji Y.B., Mahanani W.R., Johansson E.W., Lavin T., Fernandez D.E., Domínguez G.G., de Costa A., Cresswell J.A., Krasevec J., Lawn J.E., Blencowe H., Requejo J., Moran A.C. National, regional, and global estimates of preterm birth in 2020, with trends from 2010: a systematic analysis. *Lancet*. 2023; 402(10409):1261-1271. doi:10.1016/S0140-6736(23)00878-4.
2. Flatt S., Velez M.P. The cost of preterm birth and cesarean section as a result of infertility and its treatment: A review. *Best Pract Res Clin Obstet Gynaecol*. 2023; 86:102304. doi:10.1016/j.bpobgyn.2022.102304.
3. Mullaly R., El-Khuffash A.F. Haemodynamic assessment and management of hypotension in the preterm. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed*. 2024; 109(2):120-127. doi:10.1136/archdischild-2022-324935.
4. Rudakova A.A., Ionov O.V., Filippova E.A., Sugak A.B., Kirtbaya A.R., Balashova E.N., Zubkov V.V. Possibilities and limitations of using echocardiography by an intensive care physician in the neonatal intensive care unit [Vozmozhnosti i ogranicheniya primeneniya jehokardiografii vrachom intensivnoj terapii v otdelenii reanimacii i intensivnoj terapii novorozhdennyh]. *Neonatology: news, opinions, training= Neonatologija: novosti, mneniya, obuchenie*. 2022; 10(4):54-62. (In Russ). doi:10.33029/2308-2402-2022-10-4-54-62.
5. Tissot C/, Singh Y. Neonatal functional echocardiography. *Curr Opin Pediatr*. 2020 Apr;32(2):235-244. doi: 10.1097/MOP.0000000000000887.
6. Whiteman S., Alimi Y., Carrasco M., Gielecki J., Zurada A., Loukas M. Anatomy of the cardiac chambers: A review of the left ventricle. *Translational Research in Anatomy*. 2021; 23:100095.
7. Chumarnaya T., Bykov A., Idov E.M., Mikhaylov S.P., Solovyova O. Classification model of heart transplant outcomes based on features of left ventricular functional geometry. *Computing in Cardiology Conference (CinC)*. 2018; 45:1-4.
8. Schuermans A., Lewandowski A.J. Understanding the preterm human heart: What do we know so far? *Anat Rec (Hoboken)*. 2022; 305(9):2099-2112. doi:10.1002/ar.24875.
9. 11.Kovtun O.P., Tsyvyan P.B., Markova T.V., Chumarnaya T.V. Remodeling of the heart of premature

infants [Remodelirovanie serdca nedonoshennyh detej]. Bulletin of the Russian Academy of Medical Sciences=Vestnik Rossijskoj akademii medicinskih nauk. 2020; 75(6):631-637. (In Russ). doi:10.15690/vramn1268.

10. Tan C.M.J., Lewandowski A.J. The transitional heart: from early embryonic and fetal development to neonatal life. *Fetal diagnosis and therapy*. 2020; 47(5):373-386.

11. Telles F., McNamara N., Nanayakkara S., Doyle M.P., Williams M., Yaeger L., Marwick T.H., Leeson P., Levy P.T., Lewandowski A.J. Changes in the Preterm Heart From Birth to Young Adulthood: A Meta-analysis. *Pediatrics*. 2020; 146(2):e20200146. doi:10.1542/peds.2020-0146.

12. Hromadnikova I., Kotlabova K., Dvorakova L., Krofta L., Sirc J. Postnatal Expression Profile of microRNAs Associated with Cardiovascular and Cerebrovascular Diseases in Children at the Age of 3 to 11 Years in Relation to Previous Occurrence of Pregnancy-Related Complications. *Int J Mol Sci*. 2019; 20(3):654. doi:10.3390/ijms20030654.

13. Pavlyukova E.N., Kolosova M.V., Neklyudova G.V., Karpov R.S. Mechanics of the left ventricle in children born prematurely [Mehanika levogo zheludochka u detej, rozhdennyh nedonoshennymi]. *Human Physiology= Fiziologija cheloveka*. 2023; 49(2):108-122. (In Russ).

## Authors

Tatiana V. Chumarnaya

Institute of Immunology and Physiology of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (IIP UB RAS)  
PhD, senior researcher (Laboratory for Mathematical Physiology)  
Yekaterinburg, Russian Federation  
chumarnaya@gmail.com

Evgeniya O. Gusarova

Scientific Research Institute for Maternal and Infant Health of the Ministry of Health of the Russian Federation

Junior research scientist at the Department of Biophysical Research Methods  
Yekaterinburg, Russian Federation  
Evgeniyagusarova89@yandex.ru

Roman O. Rokeakh

Institute of Immunology and Physiology of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (IIP UB RAS)  
Researcher (Laboratory for Mathematical Physiology)  
Yekaterinburg, Russian Federation  
roman.rokeakh@yandex.ru

Olga E. Solovyova

Institute of Immunology and Physiology of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (IIP UB RAS)  
Doctor of Physical and Mathematical Sciences, professor, head of Institute of Immunology and Physiology  
Yekaterinburg, Russian Federation  
o.solovyova@iip.uran.ru