

DOI: 10.24835/1607-0771-2020-3-74-90

Механика левого желудочка у детей в возрасте от одного года до пяти лет, рожденных с очень низкой и экстремально низкой массой тела

Е.Н. Павлюкова¹, М.В. Колосова², Г.В. Неклюдова¹, Р.С. Карпов¹

¹ Научно-исследовательский институт кардиологии ФГБНУ “Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук”, г. Томск

² ФГБОУ ВО “Сибирский государственный медицинский университет” Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Томск

Цель исследования – изучение механики левого желудочка у детей, рожденных недоношенными с низкой и экстремально низкой массой тела, в период постнатального онтогенеза.

Материал и методы исследования: в работу включено 88 детей в возрасте от 1 года до 5 лет, рожденных глубоконедоношенными с очень низкой и экстремально низкой массой тела. Группу сравнения составили 46 здоровых детей аналогичного возраста, рожденных доношенными. Механика левого желудочка изучена путем оценки вращения левого желудочка на уровне базальных сегментов, папиллярных мышц, верхушки и скручивания с помощью технологии двухмерной спекл-трекинг эхокардиографии.

Результаты исследования: выделено четыре типа скручивания левого желудочка

как у здоровых доношенных детей, так и у детей, рожденных глубоконедоношенными. Распределение типов скручивания левого желудочка у детей в возрасте от 1 года до 5 лет, рожденных с низкой, очень низкой и экстремально низкой массой тела, отличалось от детей, рожденных доношенными. Первый (“взрослый”) тип скручивания левого желудочка выявлен у 46,59% детей, рожденных глубоконедоношенными, и у 67,39% здоровых доношенных детей. “Детские” (второй и третий) типы по частоте не различались между детьми обеих групп (11,36 и 15,91% против 13,04 и 15,22% соответственно). Четвертый тип (отрицательная апикальная ротация) значительно чаще обнаружен у детей, рожденных глубоконедоношенными (26,14 против 4,37%, $P = 0,01$). Не выявлено различий

Е.Н. Павлюкова – д.м.н., профессор, заведующая отделением атеросклероза и хронической ишемической болезни сердца Научно-исследовательского института кардиологии ФГБНУ “Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук”, г. Томск. М.В. Колосова – д.м.н., профессор кафедры детских болезней ФГБОУ ВО “Сибирский государственный медицинский университет” Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Томск. Г.В. Неклюдова – аспирант Научно-исследовательского института кардиологии ФГБНУ “Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук”, г. Томск. Р.С. Карпов – д.м.н., профессор, академик РАН, научный руководитель Научно-исследовательского института кардиологии ФГБНУ “Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук”, г. Томск.

Контактная информация: 634012 г. Томск, ул. Киевская, д. 111-А, НИИ кардиологии, отделение атеросклероза и хронической ишемической болезни сердца. Павлюкова Елена Николаевна. Тел.: +7 (960) 977-86-98. E-mail: pavluk@cardio-tomsk.ru

в частоте выявленных типов скручивания левого желудочка в зависимости от пола ребенка среди детей, рожденных глубоко-недоношенными. Выявлена связь скручивания левого желудочка с массой тела при рождении ($r = 0,53$, $P = 0,003$) у детей, рожденных глубоконедоношенными, в возрасте от 1 года до 3 лет.

Ключевые слова: двухмерная спекл-трекинг эхокардиография; ротация левого желудочка; скручивание левого желудочка; механика левого желудочка; недоношенные дети; дети, рожденные с очень низкой массой тела; дети, рожденные с экстремально низкой массой тела.

Цитирование: Павлюкова Е.Н., Колоцова М.В., Неклюдова Г.В., Карпов Р.С. Механика левого желудочка у детей в возрасте от одного года до пяти лет, рожденных с очень низкой и экстремально низкой массой тела // Ультразвуковая и функциональная диагностика. 2020. № 3. С. 74–90. DOI: 10.24835/1607-0771-2020-3-74-90.

ВВЕДЕНИЕ

Проблема недоношенности является одной из ключевых в неонатологии и педиатрии в целом, поскольку за последние три десятилетия отмечается неуклонный рост частоты преждевременных родов: во всем мире их частота составляет 9,6% от всех родов, в общей сложности появляется на свет почти 13 млн новорожденных в год [1]. В Европе и Северной Америке насчитывается около 20 млн детей (0–18 лет), родившихся недоношенными, и количество молодых людей, родившихся недоношенными, растет [2]. В современных условиях новорожденные дети с гестационным возрастом 22–24 нед имеют реальные шансы выжить и достичь взрослого возраста [3]. Проведенные исследования показали, что риск развития смерти в молодом возрасте (от 18 до 36 лет) на 40% выше у детей, рожденных недоношенными, по сравнению с лицами аналогичного возраста, рожденными доношенными [4–7]. Имеются сведения о том, что риск возникновения инфаркта миокарда в возрасте от 40 до 56 лет значительно выше у данной категории

лиц, чем у их ровесников, рожденных доношенными [8–11]. Вышеизложенные факты определяют необходимость изучения процессов постнатального онтогенеза детского сердца, в частности механики левого желудочка (ЛЖ), в группе детей, рожденных глубоконедоношенными с очень низкой (от 1000 до 1499 г) и экстремально низкой (менее 1000 г) массой тела, от беременностей и родов, протекавших у женщин, как правило, с осложнениями.

Ультразвуковая технология двухмерной спекл-трекинг эхокардиографии (ЭхоКГ) (*Speckle Tracking Imaging – 2D Strain*) относится к недоплеровским методам оценки движения тканей и позволяет оценить механику ЛЖ. Современными клиническими и экспериментальными исследованиями установлено, что трехмерная архитектура детского сердца, определяющая характер механики ЛЖ в онтогенезе, формируется именно на ранних стадиях пренатальной жизни. Мышечные волокна, образующие спиралевидные слои, формирующие камеры сердца, весьма чувствительны к влиянию гипоксии и изменениям механической нагрузки [12, 13], что и определяет процессы созревания развивающегося миокарда [14]. Спиралевидное строение ЛЖ обуславливает скручивание за счет разнонаправленного вращения базальных и апикальных сегментов ЛЖ. Данные литературы, касающиеся механики ЛЖ у детей, немногочисленны, а у детей, рожденных недоношенными, практически отсутствуют.

В связи с вышеизложенным целью явилось изучение механики ЛЖ у детей, рожденных недоношенными с очень низкой и экстремально низкой массой тела, в период постнатального онтогенеза.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Анализ выполнен у 88 детей в возрасте от 1 года до 5 лет, рожденных глубоконедоношенными. Дети, рожденные глубоконедоношенными, были разделены на две подгруппы: с очень низкой массой тела – от 1000 до 1499 г ($n = 62$) и экстремально низкой массой тела – менее 1000 г ($n = 26$) при рождении. Группу сравнения составили дети аналогичного возраста, рожденные доношенными ($n = 46$). Все дети наблюда-

лись в амбулаторных условиях детских поликлиник г. Томска и относились к I–II группам здоровья [15, 16]. К I группе здоровья относились дети, имеющие нормальное физическое развитие, не имеющие анатомических дефектов и морфофункциональных нарушений. II группа здоровья включала детей без хронических заболеваний, но с некоторыми функциональными и морфофункциональными нарушениями, такими как общая задержка физического развития, не связанная с заболеваниями эндокринной системы, частые респираторные заболевания, физические недостатки без нарушения функции органов и систем организма.

Дизайн исследования: пилотное одномоментное сравнительное исследование. Протокол исследования одобрен этическим комитетом от 20.12.2016 (№ 150).

Критериями исключения из исследования служили: отказ родителей от обследования; внутриутробные инфекции; врожденные пороки сердца; группа здоровья III–IV; рождение с использованием вспомогательных репродуктивных технологий; период реконвалесценции после острых респираторных заболеваний менее 6 мес; отягощенный семейный анамнез по гипертрофической и дилатационной кардиомиопатии, ишемической болезни сердца, артериальной гипертензии; патологические изменения на ЭКГ.

Дети, рожденные доношенными, относились к I группе здоровья, имели физическое развитие среднее гармоничное, в течение 1-го года жизни находились на естественном вскармливании. Оценка течения беременности у детей, рожденных глубоко недоношенными, показала, что с угрозой прерывания протекало 54 (61,36%) беременности, операция кесарева сечения проведена в 64 (72,73%) случаях. От первой беременности рождено 39 (44,32%) детей, от второй и третьей – 16 (18,18%) и 11 (12,5%) детей соответственно, от четвертой и большей по счету беременности родились 22 (25%) ребенка. При этом первые роды были у 51 (57,96%) женщины, вторые – у 28 (31,82%), третьи и четвертые роды – у 7 (7,95%) и 2 (2,27%) женщин соответственно. От многоплодной беременности родился 21 (27,6%) ребенок. В группе детей, рожденных с очень низкой и экстремально низкой массой тела, проведен анализ состояния по шкале Апгар на 1-й

и 5-й минутах жизни: на 5-й минуте 6 (6,82%) детей имели оценку ниже 4 баллов, 5–7 баллов имели 17 (19,32%) детей и 7–10 баллов – 65 (73,86%) новорожденных. Искусственная вентиляция легких проведена 37 (42%) детям, респираторная терапия понадобилась 83 (94,3%), сурфактант-терапия проведена 62 (70,4%) новорожденным. Антибактериальная терапия применялась в 59 (67,1%) случаях, 27 (30,7%) детям понадобилась гемотранфузия. В неонатальном периоде респираторный дистресс-синдром новорожденных диагностирован у 77 (87,5%) детей, анемия недоношенных – у 78 (88,6%), конъюгационная желтуха – у 38 (43,2%), перинатальное поражение центральной нервной системы и задержка внутриутробного развития – у 48 (54,5%) и 15 (17%) детей соответственно. Открытое овальное окно при рождении, открытый артериальный проток диагностированы у 16 (18,2%) детей, всем детям проведено закрытие артериального протока с помощью медикаментозной терапии или путем клипирования в течение 1-го месяца жизни. К I группе здоровья среди детей, рожденных с очень низкой и экстремально низкой массой тела, относился 21 ребенок, ко II группе – 67 детей.

ЭхоКГ выполнена на ультразвуковой системе Vivid E9 (GE Healthcare, США) с использованием матричного датчика M5S (1,5–4,6 МГц). ЭхоКГ была выполнена в двухмерном режиме из парастернальной позиции по короткой оси ЛЖ на уровне базальных сегментов, папиллярных мышц (ПМ), верхушки сердца и из апикальных позиций по длинной оси ЛЖ, на уровне двух и четырех камер. Конечный систолический (КСО), конечный диастолический объем (КДО) и фракцию выброса (ФВ) ЛЖ оценивали по Simpson [17]. По серошкальным изображениям, выполненным из парастернальной позиции по длинной оси ЛЖ, проводился расчет толщины межжелудочковой перегородки, задней стенки, конечного диастолического размера на уровне зубца $Q_{ЭКГ}$, индекса сферичности и массы миокарда ЛЖ [17]. общепринятые значения ЭхоКГ приведены в табл. 1.

В импульсно-волновом доплерографическом режиме по спектру трансмитрального потока определяли значения максимальных скоростей в фазу раннего напол-

Таблица 1. Показатели стандартной ЭхоКГ у глубоконедоношенных детей в возрасте от 1 года до 5 лет и у сверстников, рожденных доношенными

Показатели	Группы детей	$M \pm \sigma$	Me	Нижний – верхний квартили	Минимальное – максимальное значения
КДО _(Simpson) , мл	ГНД	28,951 ± 8,664	29,000	23,000–34,000	12,000–58,000
	ДН	27,543 ± 9,760	26,500	21,000–33,000	8,000–51,000
КДО _(Simpson) на ППТ, мл/м ²	ГНД	46,316 ± 9,995	45,883	40,061–52,478	23,633–77,957
	ДН	48,301 ± 14,769	47,540	38,596–53,872	23,529–104,761
КСО _(Simpson) , мл	ГНД	7,388 ± 2,957	7,000	5,000–9,000	2,000–17,000
	ДН	6,543 ± 3,023	6,500	4,000–8,000	2,000–16,000
КСО _(Simpson) на ППТ, мл/м ²	ГНД	11,846 ± 3,644	11,182	8,968–14,184	4,792–21,406
	ДН	11,259 ± 4,353	11,111	7,843–14,035	3,076–21,621
ФВ ЛЖ, %	ГНД	74,650 ± 6,533	75,000	71,000–79,000	60,000–91,000
	ДН	76,204 ± 7,515	75,000	70,000–80,769	57,142–93,181

Обозначения: ГНД – глубоконедоношенные дети, ДН – доношенные дети.

нения (E) и позднего наполнения (A) и их отношение (E/A). Период изоволюмического расслабления (IVRT) ЛЖ рассчитывали по времени между окончанием кровотока в выносящем тракте ЛЖ и началом трансмитрального потока. Используя технологию тканевого доплеровского изображения миокарда в импульсном режиме, оценивали скорость движения фиброзного кольца митрального клапана на стороне боковой стенки ЛЖ в период ранней диастолы (e'). По значениям параметров E и e' оценивали показатель E/e' [17].

Статистические методы обработки: для проверки согласия с нормальным законом распределения использованы критерии Лиллиефорса (Lilliefors) и Шапиро–Уилка (Shapiro–Wilk), по результатам которых гипотеза о гауссовском распределении была отвергнута. Для оценки двух совокупностей был использован критерий Манна–Уитни (Manna–Whitney U-test), для сравнения множества совокупностей – тест Крускала–Уоллиса (Kruskal–Wallis ANOVA). Достоверность различия качественных признаков оценивалась с использованием критерия χ^2 . Оценка корреляционных связей между парами количественных признаков проводилась с помощью рангового коэффициента Спирмена. Различия считались статистически значимыми при величине P менее 0,05. Результаты представлены в виде $M \pm \sigma$ (где M – среднее арифметическое, σ – стандартное отклонение), медианы (Me), минимального и максимального значений.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Оценка направления вращения ЛЖ на уровне базальных, верхушечных сегментов и ПМ у детей в возрасте от 1 года до 5 лет, рожденных глубоконедоношенными от беременностей и родов, протекавших у женщин, как правило, с осложнениями, позволила выявить четыре типа скручивания ЛЖ (рис. 1).

Первый (“взрослый”) тип был выявлен у 41 (46,59%) из 88 детей, рожденных глубоконедоношенными, что существенно отличалось от распределения вариантов скручивающего движения ЛЖ в группе детей, рожденных доношенными (табл. 2). При этом типе скручивания ЛЖ наблюдалось направление вращения ЛЖ на уровне базальных сегментов по часовой стрелке, а на уровне верхушечных сегментов – против часовой стрелки. Поэтому значения ротации ЛЖ на уровне базальных сегментов имели отрицательные значения, а на уровне апикальных сегментов – положительные (рис. 2).

Второй тип, названный нами “детский”, был обнаружен у 10 (11,36%) глубоконедоношенных детей. Для данного типа было характерно однонаправленное вращение ЛЖ против часовой стрелки на уровне базальных, верхушечных сегментов и на уровне ПМ. Поскольку для данного типа скручивания ЛЖ характерно однонаправленное вращение ЛЖ против часовой стрелки, то кривые ротации ЛЖ на уровне базальных, верхушечных сегментов и ПМ направлены вверх выше изолинии, следовательно, зна-

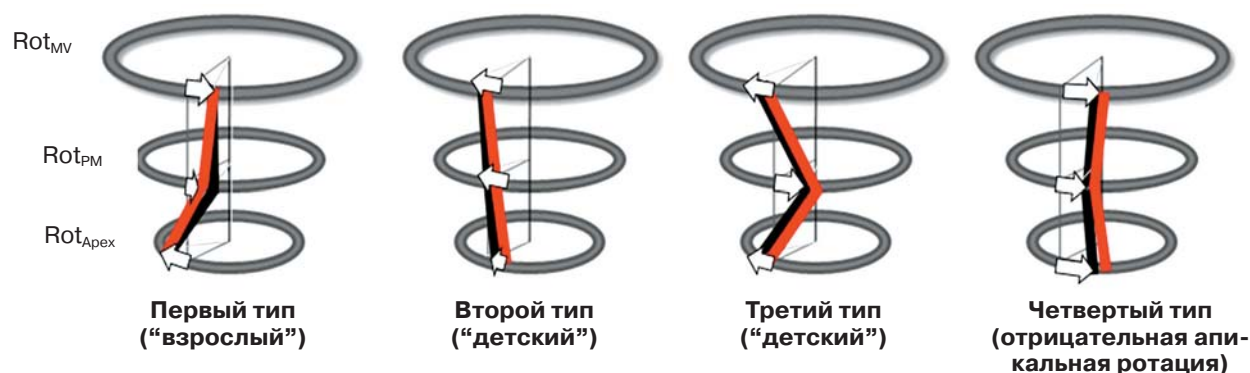


Рис. 1. Типы скручивания ЛЖ у детей, рожденных глубоконедоношенными с очень низкой и экстремально низкой массой тела, и у здоровых детей, рожденных доношенными. Направление вращения ЛЖ на уровне базальных, апикальных сегментов и папиллярных мышц: красная линия – у глубоконедоношенных детей, черная линия – у здоровых детей, рожденных доношенными.

Таблица 2. Типы скручивания ЛЖ в зависимости от возраста у детей, рожденных с очень низкой, экстремально низкой массой тела, и здоровых детей, рожденных доношенными, в возрасте от 1 года до 5 лет

Типы скручивания ЛЖ	Глубоконедоношенные дети (n = 88)								Дети, рожденные доношенными (n = 46)			
	ОНМТ (n = 62)				ЭНМТ (n = 26)							
	от 1 года до 3 лет		от 3 до 5 лет		от 1 года до 3 лет		от 3 до 5 лет		от 1 года до 3 лет		от 3 до 5 лет	
	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
Первый	14	22,58	18	29,03	2	7,69	7	26,92	18	39,13	13	28,26
Второй	2	3,22	3	4,84	3	11,54	2	7,69	2	4,35	4	8,69
Третий	4	6,45	5	8,06	2	7,69	3	11,54	4	8,69	3	6,52
Четвертый	5	8,06	11	17,74	2	7,69	5	19,23	1	2,17	1	2,17

Обозначения: ОНМТ – очень низкая масса тела, ЭНМТ – экстремально низкая масса тела.

чения ротации на вышеуказанных уровнях имели положительные значения (рис. 3).

Для третьего типа скручивания ЛЖ было свойственно однонаправленное вращение ЛЖ против часовой стрелки базальных и апикальных сегментов, а на уровне ПМ движение происходило по часовой стрелке. Поэтому кривые ротации ЛЖ на уровне базальных и апикальных сегментов направлены вверх выше изолинии, а кривые на уровне папиллярных мышц – ниже изолинии и имеют отрицательные значения (рис. 4). Этот тип скручивания мы рассматриваем как вариант второго “детского” типа скручивания ЛЖ. Третий тип скручивания ЛЖ выявлен у 14 (15,91%) детей, рожденных с очень низкой, экстремально низкой массой тела.

Достоверно чаще ($P = 0,02$) был зарегистрирован четвертый тип скручивания

ЛЖ – у 23 (26,13%) детей, рожденных глубоконедоношенными (см. табл. 2). В то время как у детей, рожденных доношенными, в возрасте от 1 года до 5 лет этот тип скручивания был выявлен в 2,17% случаев. Для данного типа скручивания ЛЖ характерно апикальное вращение по часовой стрелке, следовательно, кривые апикальной ротации направлены ниже изолинии и имеют отрицательные значения (рис. 5).

Не выявлено различий в частоте регистрации типов скручивания ЛЖ между детьми, рожденными с очень низкой и экстремально низкой массой тела. Обнаружено значительное увеличение частоты выявления четвертого типа скручивания ЛЖ у детей в возрасте от 3 до 5 лет (17,74%) по сравнению с детьми в возрасте от 1 года до 3 лет (8,06% рожденных с очень низкой

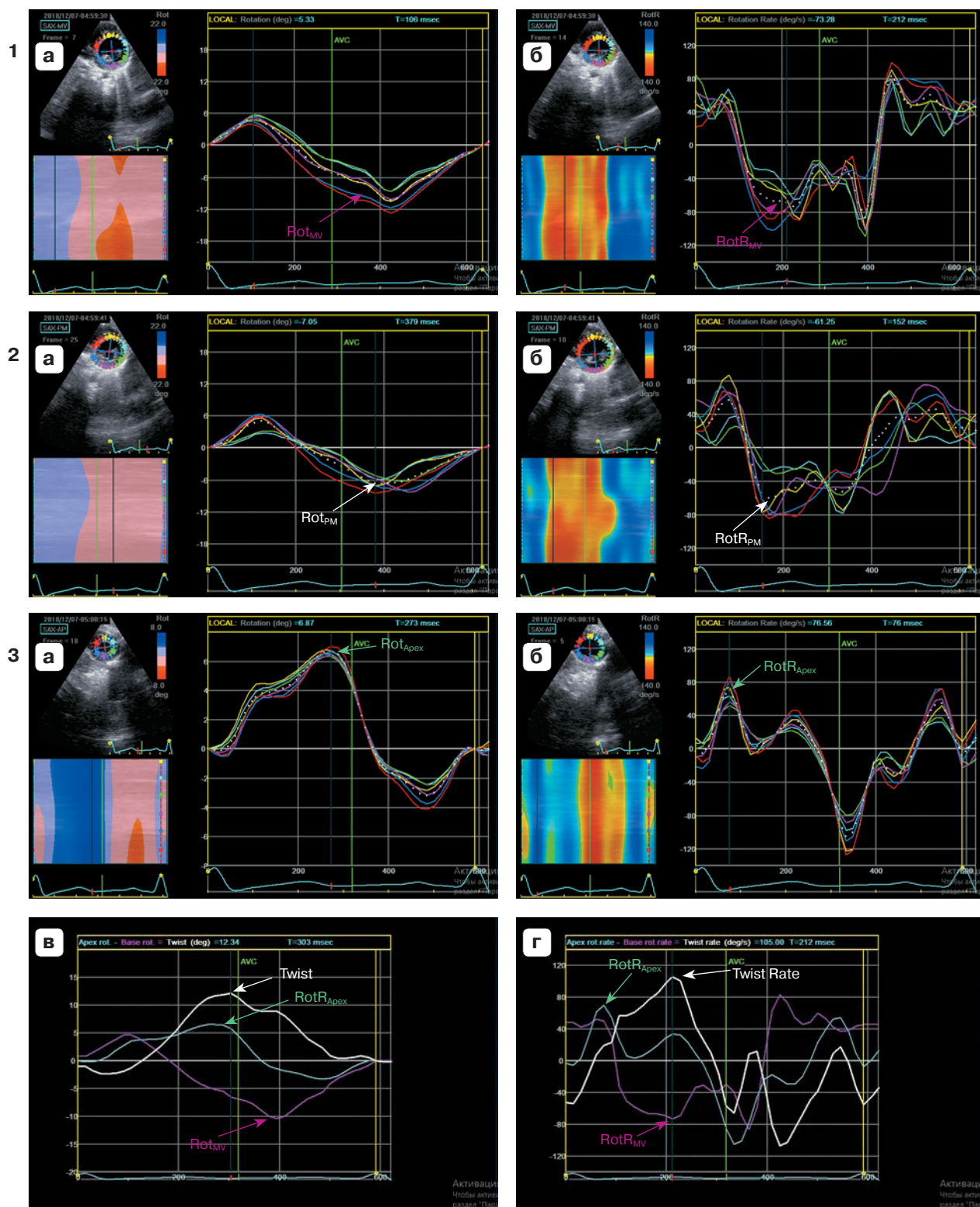


Рис. 2. Ребенок Б. в возрасте 1 года 3 мес, рожденный на сроке гестации 31 нед, массой при рождении 1400 г. Изображение ЛЖ из парастернальной позиции по короткой оси на уровне митрального клапана (1), папиллярных мышц (2) и верхушечных сегментов (3). Технология *Speckle Tracking Imaging – 2D Strain*. Кривые ротации (1а, 2а, 3а) и скорости ротации ЛЖ (1б, 2б, 3б) на уровне базальных сегментов, папиллярных мышц и верхушечных сегментов. Кривая скручивания (в) и скорости скручивания (г) ЛЖ. Первый тип скручивания ЛЖ (“взрослый”).

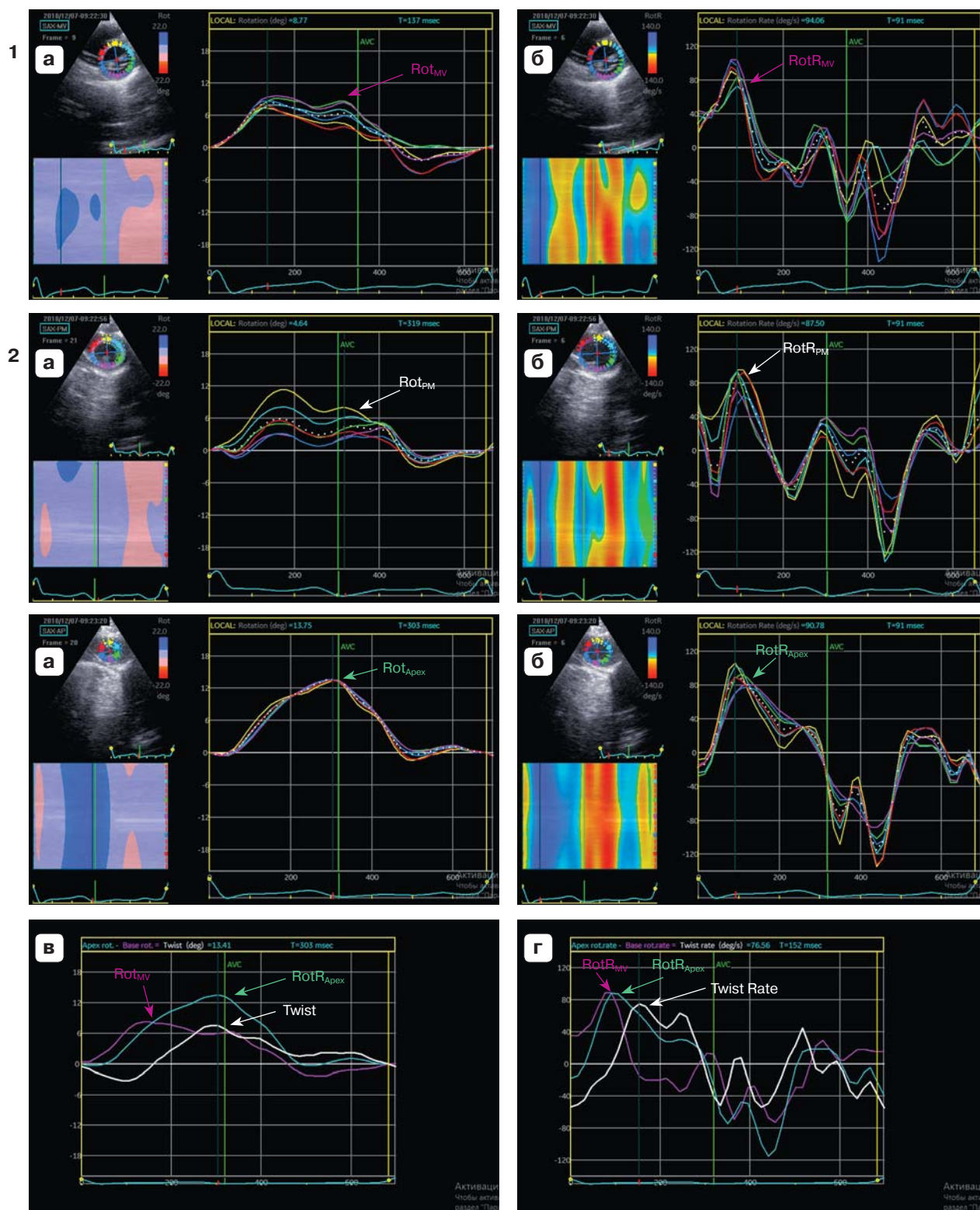


Рис. 3. Ребенок Б. в возрасте 2 лет, рожденный на сроке гестации 28 нед, массой при рождении 1000 г. Изображение ЛЖ из парастеральной позиции по короткой оси на уровне митрального клапана (1), папиллярных мышц (2) и верхушечных сегментов (3). Технология *Speckle Tracking Imaging – 2D Strain*. Кривые ротации (1а, 2а, 3а) и скорости ротации ЛЖ (1б, 2б, 3б) на уровне базальных сегментов, папиллярных мышц и верхушечных сегментов. Кривая скручивания (v) и скорости скручивания (r) ЛЖ. Второй тип скручивания ЛЖ (“детский”).

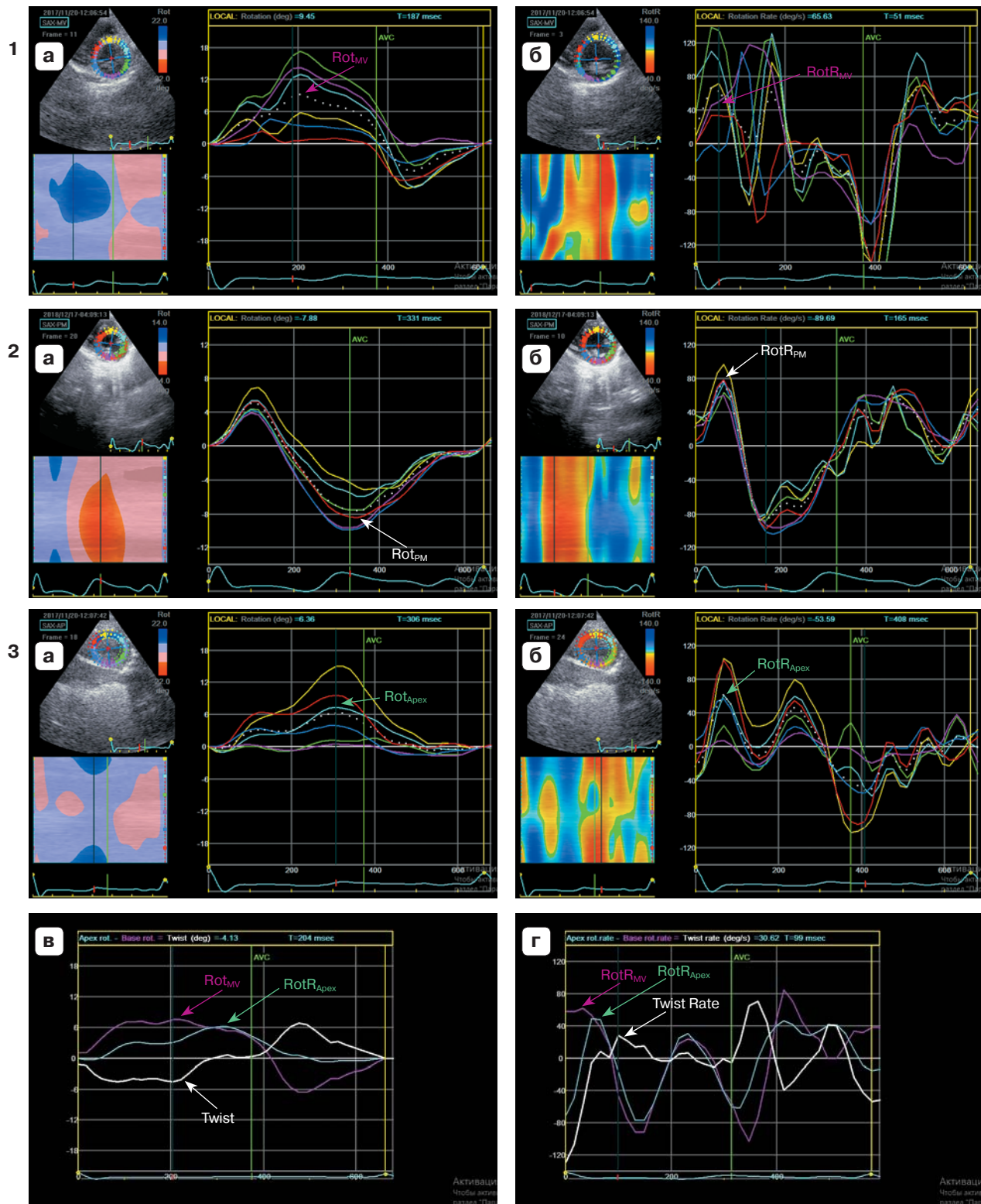


Рис. 4. Ребенок О. в возрасте 3 лет, рожденный на сроке гестации 29 нед, массой при рождении 1400 г. Изображение ЛЖ из парастеральной позиции по короткой оси на уровне митрального клапана (1), папиллярных мышц (2) и верхушечных сегментов (3). Технология *Speckle Tracking Imaging – 2D Strain*. Кривые ротации (1а, 2а, 3а) и скорости ротации ЛЖ (1б, 2б, 3б) на уровне базальных сегментов, папиллярных мышц и верхушечных сегментов. Кривая скручивания (в) и скорости скручивания (г) ЛЖ. Третий тип скручивания ЛЖ (“детский”).

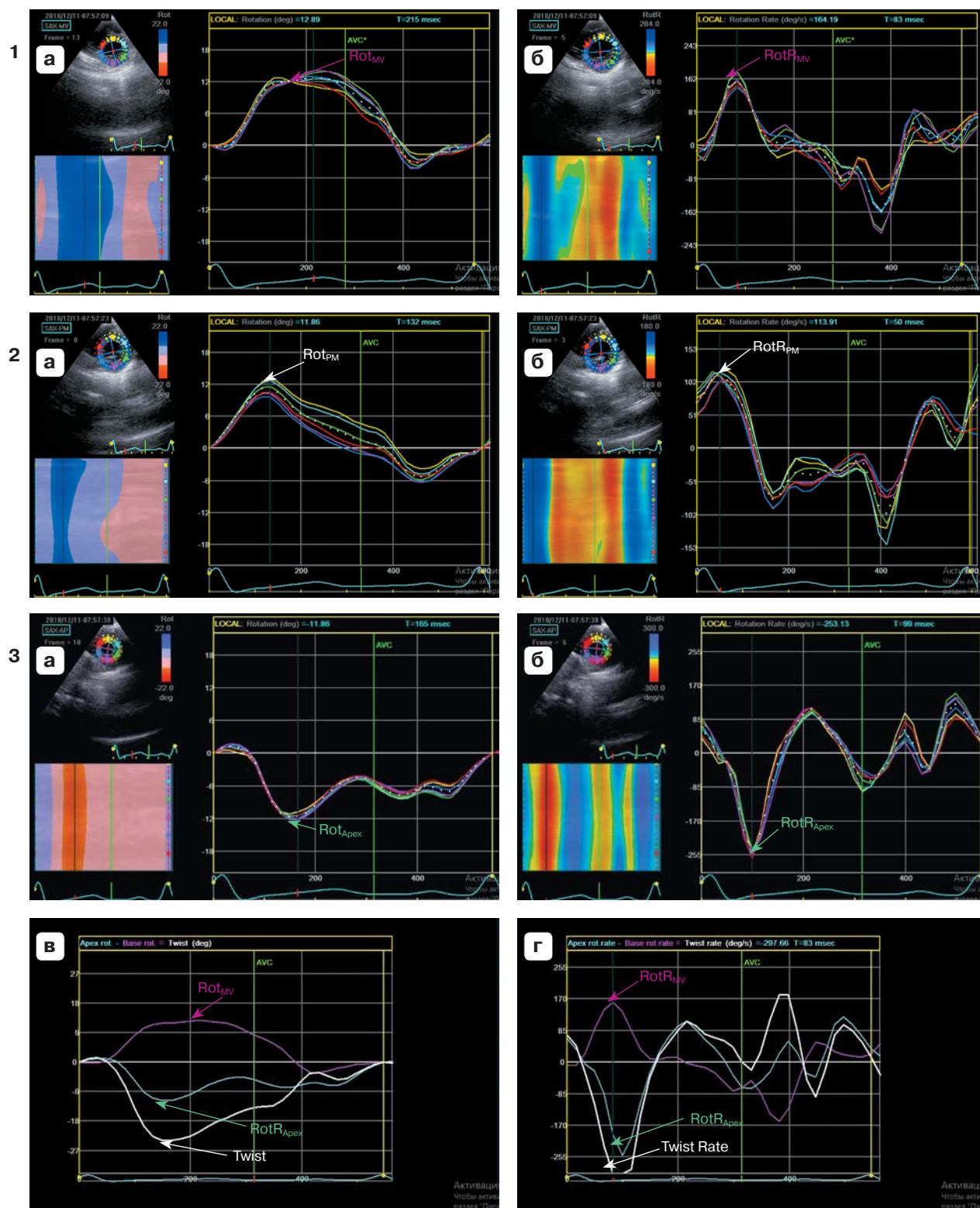


Рис. 5. Ребенок К. в возрасте 3 лет, рожденный на сроке гестации 28 нед, массой при рождении 1000 г. Изображение ЛЖ из парастернальной позиции по короткой оси на уровне митрального клапана (1), папиллярных мышц (2) и верхушечных сегментов (3). Технология *Speckle Tracking Imaging – 2D Strain*. Кривые ротации (1а, 2а, 3а) и скорости ротации ЛЖ (1б, 2б, 3б) на уровне базальных сегментов, папиллярных мышц и верхушечных сегментов. Кривая скручивания (в) и скорости скручивания (г) ЛЖ. Четвертый тип скручивания ЛЖ.

Таблица 3. Распределение детей по полу в зависимости от типа скручивания ЛЖ

Группа детей	Пол	Первый тип	Второй тип	Третий тип	Четвертый тип
Глубоконедоношенные дети (n = 88)	Мальчики	18 (20,45%)	4 (4,54%)	4 (4,54%)	13 (14,80%)
	Девочки	23 (26,14%)	6 (6,82%)	10 (11,36%)	10 (11,36%)
Дети, рожденные доношенными (n = 46)	Мальчики	18 (39,13%)	5 (10,87%)	4 (8,69%)	1 (2,17%)
	Девочки	13 (28,26%)	1 (2,17%)	3 (6,52%)	1 (2,17%)

массой тела). Аналогичная закономерность выявлена для детей, рожденных с экстремально низкой массой тела (19,23%). Данная закономерность отсутствовала у детей, рожденных доношенными. Не выявлено различий в частоте выявленных типов скручивания ЛЖ в зависимости от пола ребенка среди детей, рожденных глубоконедоношенными (табл. 3).

Сравнительный анализ значений показателей вращения ЛЖ между детьми, рожденными с очень низкой и экстремально низкой

массой тела, показал отсутствие значимых различий в величинах ротации ЛЖ на уровне базальных, апикальных сегментов, на уровне папиллярных мышц и скручивания ЛЖ при всех выделенных нами вариантах вращения ЛЖ (табл. 4). Однако при первом типе скручивания у детей, рожденных с экстремально низкой массой тела, выявлено удлинение времени до максимального вращения ЛЖ в систолу на уровне базальных сегментов ($360,66 \pm 33,50$ мс) и ПМ ($183,11 \pm 28,02$ мс) по сравнению

Таблица 4. Значения показателей скручивания ЛЖ у детей, рожденных глубоконедоношенными, в зависимости от массы тела при рождении и у детей, рожденных доношенными

Показатели вращения ЛЖ	Дети	$M \pm \sigma$	Me	Минимальное– максимальное значения
Первый тип скручивания ЛЖ				
Ротация ЛЖ на уровне базальных сегментов, °	ОНМТ	$-5,614 \pm 4,697$	-5,325	-9,110–-2,920
	ЭНМТ	$-6,401 \pm 3,445$	-7,220	-10,140–-1,550
$Rot_{MV}, ^\circ$	ДН	$-6,184 \pm 2,500$	-6,020	-11,520–-2,06
Скорость ротации ЛЖ на уровне базальных сегментов, °/с ⁻¹	ОНМТ	$-89,973 \pm 33,241$	-85,310	-159,380–-47,03
	ЭНМТ	$-77,624 \pm 32,087$	-73,280	-141,060–-39,530
$RotR_{MV}, ^\circ/s^{-1}$	ДН	$-84,819 \pm 44,870$	-79,840	-198,919–-55,780
Ротация ЛЖ на уровне папиллярных мышц, °	ОНМТ	$-3,038 \pm 6,362$	-2,23	-21,940–-10,310
	ЭНМТ	$-3,077 \pm 3,995$	-3,610	-7,050–-5,500
$Rot_{PM}, ^\circ$	ДН	$-5,237 \pm 6,326$	-5,500	-17,700–-9,970
Скорость ротации ЛЖ на уровне папиллярных мышц, °	ОНМТ	$-25,783 \pm 90,508$	-55,78	-185,160–-182,810
	ЭНМТ	$50,150 \pm 72,003$	-52,500	-146,440–-122,00
$RotR_{PM}, ^\circ$	ДН	$-51,895 \pm 82,908$	-68,780	-203,910–-212,160
Ротация ЛЖ на уровне апикальных сегментов, °	ОНМТ	$7,164 \pm 5,033$	6,96	1,700–20,980
	ЭНМТ	$7,980 \pm 6,727$	6,870	1,200–20,800
$Rot_{Apex}, ^\circ$	ДН	$8,810 \pm 7,495$	6,700	3,400–32,810
Скорость ротации ЛЖ на уровне апикальных сегментов, °/с ⁻¹	ОНМТ	$80,283 \pm 32,583$	75,47	33,190–155,310
	ЭНМТ	$91,980 \pm 60,617$	76,560	21,160–222,660
$RotR_{Apex}, ^\circ/s^{-1}$	ДН	$104,766 \pm 46,592$	97,630	29,530–221,280
Скручивание ЛЖ, °	ОНМТ	$12,778 \pm 7,644$	13,040	1,910–29,060
	ЭНМТ	$14,381 \pm 7,893$	14,610	4,640–29,220
$Twist, ^\circ$	ДН	$14,993 \pm 8,443$	11,510	6,700–44,330
Скорость скручивания, °/с ⁻¹	ОНМТ	$156,576 \pm 46,890$	151,000	68,000–239,000
	ЭНМТ	$173,571 \pm 45,522$	182,000	90,000–228,000
$Twist Rate, ^\circ/s^{-1}$	ДН	$111,241 \pm 62,000$	102,000	16,000–271,000

Таблица 4 (продолжение).

Показатели вращения ЛЖ	Дети	$M \pm \sigma$	Me	Минимальное– максимальное значения
Второй тип скручивания ЛЖ				
Ротация ЛЖ на уровне базальных сегментов, °	ОНМТ	$4,900 \pm 2,856$	5,155	1,380–7,910
	ЭНМТ	$7,270 \pm 6,699$	7,900	0,520–17,270
$Rot_{MV}, ^\circ$	ДН	$11,190 \pm 3,933$	11,340	6,700–15,980
Скорость ротации ЛЖ на уровне базальных сегментов, °/с ⁻¹	ОНМТ	$74,720 \pm 24,437$	74,515	45,940–103,940
	ЭНМТ	$99,264 \pm 33,500$	97,340	63,440–146,880
$RotRMV, ^\circ/s^{-1}$	ДН	$124,058 \pm 60,470$	89,380	85,500–226,410
Ротация ЛЖ на уровне папиллярных мышц, °	ОНМТ	$7,725 \pm 4,502$	8,060	3,090–11,690
	ЭНМТ	$2,277 \pm 1,444$	2,235	0,690–3,950
$RotPM, ^\circ$	ДН	$7,324 \pm 3,199$	8,080	3,270–10,830
Скорость ротации ЛЖ на уровне папиллярных мышц, °	ОНМТ	$112,617 \pm 40,928$	95,485	86,060–173,440
	ЭНМТ	$87,702 \pm 36,300$	89,030	55,590–119,160
$RotRPM, ^\circ$	ДН	$74,638 \pm 30,227$	81,940	24,060–101,720
Ротация ЛЖ на уровне апикальных сегментов, °	ОНМТ	$8,767 \pm 3,377$	7,910	5,670–13,580
	ЭНМТ	$4,330 \pm 3,300$	3,780	0,420–8,000
$Rot_{Apex}, ^\circ$	ДН	$12,246 \pm 5,514$	11,860	6,020–21,0
Скорость ротации ЛЖ на уровне апикальных сегментов, °/с ⁻¹	ОНМТ	$125,065 \pm 52,693$	134,065	61,690–170,440
	ЭНМТ	$72,824 \pm 44,797$	69,470	21,870–119,340
$RotR_{Apex}, ^\circ/s^{-1}$	ДН	$142,156 \pm 82,883$	124,220	55,780–260,160
Скручивание ЛЖ, °	ОНМТ	$3,867 \pm 1,713$	4,125	1,550–5,670
	ЭНМТ	$-2,940 \pm 6,869$	-6,880	-9,270–5,607)
$Twist, ^\circ$	ДН	$4,982 \pm 8,604$	-1,470	-9,960–13,090
Скорость скручивания, °/с ⁻¹	ОНМТ	$175,000 \pm 47,058$	175,000	108,000–238,000
$Twist Rate, ^\circ/s^{-1}$	ЭНМТ	$170,000 \pm 34,960$	158,000	143,000–221,000
	ДН	$100,600 \pm 63,908$	113,000	32,000–163,000
Третий тип скручивания ЛЖ				
Ротация ЛЖ на уровне базальных сегментов, °	ОНМТ	$3,757 \pm 2,828$	3,440	0,340–9,970
	ЭНМТ	$6,476 \pm 1,311$	6,360	4,980–8,590
$Rot_{MV}, ^\circ$	ДН	$6,751 \pm 5,171$	5,160	1,030–13,920
Скорость ротации ЛЖ на уровне базальных сегментов, °/с ⁻¹	ОНМТ	$72,677 \pm 28,029$	68,780	39,380–118,590
	ЭНМТ	$104,406 \pm 38,074$	125,380	61,250–143,720
$RotRMV, ^\circ/s^{-1}$	ДН	$43,869 \pm 36,930$	37,190	0,390–112,470
Ротация ЛЖ на уровне папиллярных мышц, °	ОНМТ	$-4,011 \pm 3,242$	-2,920	-10,830–0,860
	ЭНМТ	$-6,830 \pm 3,516$	-6,700	-10,310–1,330
$RotPM, ^\circ$	ДН	$-5,107 \pm 3,218$	-4,640	-9,970–1,300
Скорость ротации ЛЖ на уровне папиллярных мышц, °	ОНМТ	$-94,396 \pm 54,359$	-71,160	-168,630–38,280
	ЭНМТ	$-55,044 \pm 28,325$	-72,190	-76,560–13,130
$RotRPM, ^\circ$	ДН	$-83,216 \pm 53,978$	-76,560	-189,000–21,880
Ротация ЛЖ на уровне апикальных сегментов, °	ОНМТ	$6,608 \pm 4,763$	5,500	2,580–17,530
	ЭНМТ	$4,006 \pm 2,456$	3,610	1,410–8,080
$Rot_{Apex}, ^\circ$	ДН	$5,983 \pm 5,131$	3,780	1,380–14,090
Скорость ротации ЛЖ на уровне апикальных сегментов, °/с ⁻¹	ОНМТ	$73,524 \pm 42,341$	57,000	24,060–140,780
	ЭНМТ	$75,058 \pm 18,728$	73,410	49,220–101,720
$RotR_{Apex}, ^\circ/s^{-1}$	ДН	$64,293 \pm 31,171$	54,690	24,780–106,990
Скручивание ЛЖ, °	ОНМТ	$-2,889 \pm 2,863$	-2,750	-0,860–7,220
	ЭНМТ	$-3,480 \pm 3,328$	-4,125	-9,800–2,430
$Twist, ^\circ$	ДН	$-0,859 \pm 8,022$	0	-11,000–11,000
Скорость скручивания, °/с ⁻¹	ОНМТ	$147,142 \pm 57,789$	159,000	85,000–235,000
	ЭНМТ	$179,500 \pm 83,195$	40,500	33,000–204,000
$Twist Rate, ^\circ/s^{-1}$	ДН	$117,000 \pm 68,930$	127,000	16,000–208,000

Таблица 4 (окончание).

Показатели вращения ЛЖ	Дети	$M \pm \sigma$	Me	Минимальное– максимальное значения
Четвертый тип скручивания ЛЖ				
Ротация ЛЖ на уровне базальных сегментов, $^{\circ}$	ОНМТ	$-5,776 \pm 9,390$	-4,810	-30,280–12,890
$Rot_{MV}, ^{\circ}$	ЭНМТ	$-1,450 \pm 5,738$	-1,200	-8,770–4,980
	ДН	$-3,095 \pm 8,506$	-3,095	-9,110–2,920
Скорость ротации ЛЖ на уровне базальных сегментов, $^{\circ}/c^{-1}$	ОНМТ	$-63,028 \pm 111,236$	-69,000	-295,310–164,190
$RotRMV, ^{\circ}/s^{-1}$	ЭНМТ	$-20,008 \pm 86,598$	-66,720	-109,690–97,030
	ДН	$-12,580 \pm 109,050$	-12,580	-89,690–64,530
Ротация ЛЖ на уровне папиллярных мышц, $^{\circ}$	ОНМТ	$-3,506 \pm 4,269$	-4,130	-7,220–7,220
$Rot_{PM}, ^{\circ}$	ЭНМТ	$-2,148 \pm 6,558$	-3,695	-8,250–9,110
	ДН	$-3,865 \pm 2,552$	-3,865	-5,670–2,060
Скорость ротации ЛЖ на уровне папиллярных мышц, $^{\circ}$	ОНМТ	$-34,515 \pm 74,682$	-57,970	-121,880–123,750
$RotR_{PM}, ^{\circ}$	ЭНМТ	$-6,208 \pm 103,680$	-59,080	-84,220–166,410
	ДН	$-56,655 \pm 18,250$	-56,655	-69,560–43,750
Ротация ЛЖ на уровне апикальных сегментов, $^{\circ}$	ОНМТ	$-6,529 \pm 4,310$	-6,705	-16,730–0,690
$Rot_{Apex}, ^{\circ}$	ЭНМТ	$-3,511 \pm 2,642$	-2,060	-8,080–1,030
	ДН	$-5,070 \pm 2,800$	-5,070	-7,050–3,090
Скорость ротации ЛЖ на уровне апикальных сегментов, $^{\circ}/c^{-1}$	ОНМТ	$-87,450 \pm 59,975$	-66,200	-253,130–14,340
$RotR_{Apex}, ^{\circ}/s^{-1}$	ЭНМТ	$-58,808 \pm 28,289$	-44,250	-111,720–27,340
	ДН	$-59,065 \pm 9,284$	59,065	-65,630–52,630
Скручивание ЛЖ, $^{\circ}$	ОНМТ	$-1,158 \pm 11,716$	-2,480	-23,380–28,880
$Twist, ^{\circ}$	ЭНМТ	$-2,061 \pm 4,636$	-1,200	-8,600–5,330
	ДН	$-1,975 \pm 5,706$	-1,975	-6,010–2,060
Скорость скручивания ЛЖ, $^{\circ}/c^{-1}$	ОНМТ	$99,830 \pm 43,970$	84,000	48,000–175,000
$Twist Rate, ^{\circ}/s^{-1}$	ЭНМТ	$122,500 \pm 52,256$	133,500	48,000–181,000
	ДН	$94,000 \pm 19,790$	94,000	80,0–108,0

с данными показателями у детей, рожденных доношенными ($304,04 \pm 72,91$ мс, $P = 0,01$ и $144,00 \pm 48,72$ мс, $P = 0,02$ соответственно). Удлинение времени до пиковой ротации на уровне базальных сегментов (300 мс и более) было выявлено у 19 (59,37%) из 32 детей с очень низкой массой тела при рождении.

У детей, рожденных глубоконедоношенными, в возрасте от 1 года до 3 лет выявлена связь скручивания ЛЖ с массой тела при рождении ($r = 0,53$, $P = 0,003$), а у детей в возрасте от 3 до 5 лет скручивание ЛЖ коррелировало с индексом массы миокарда ЛЖ ($r = 0,41$, $P = 0,006$).

ОБСУЖДЕНИЕ

Ранее нами была предложена классификация типов скручивающего движения ЛЖ у детей и подростков, рожденных доношенными [18]. Следует отметить, что предложенная нами классификация типов скру-

чивания ЛЖ применима и у детей, рожденных глубоконедоношенными. Как у здоровых детей, рожденных доношенными, так и у детей, рожденных глубоконедоношенными, регистрировалось четыре типа скручивания ЛЖ. Однако распределение типов скручивания ЛЖ у детей в возрасте от 1 года до 5 лет, рожденных с очень низкой и экстремально низкой массой тела, отличалось от детей, рожденных доношенными. Первый (“взрослый”) тип скручивания ЛЖ был зарегистрирован реже у детей с экстремально низкой массой тела при рождении по сравнению с детьми, рожденными с очень низкой массой тела, и детьми, рожденными доношенными.

“Детский” тип скручивания ЛЖ, описанный впервые Y. Notomi et al. [19] и G.H. Al-Naami [20] как один из вариантов однопослупленного движения ЛЖ по часовой стрелке, был выявлен у 11,54% детей, рожденных с экстремально низкой массой тела (менее 1000 г), в возрасте от 1 года до

3 лет. Несколькими годами позже данный тип скручивания ЛЖ был зарегистрирован у здоровых детей и детей с тетрадой Фалло и дилатацией правого желудочка [21]. Природа данного феномена, на наш взгляд, связана с процессами постнатального роста и развития фиброзного остова детского сердца (фиброзного кольца митрального клапана, фиброзных треугольников, фиброзной основы устья аорты) [22–26], обеспечивающего сложную механику движения митрального клапана в систолу (в направлении к выводному тракту ЛЖ и по окружности). Можно предположить, что генез однонаправленного движения ЛЖ может быть следствием относительного снижения контрактильности эндокардиального слоя, обусловленного особенностями роста сердца в постнатальный период и гипоксическим влиянием на плод внутриутробно и интранатально. Вследствие относительного снижения контрактильности эндокардиального слоя укорочение волокон эпикардиального слоя в систолу компенсаторно повышается, что и обуславливает ротацию ЛЖ на уровне базальных сегментов против часовой стрелки. Генез возникновения третьего типа скручивания ЛЖ у детей, рожденных глубококондошенными, не совсем понятен в отношении движения ЛЖ на уровне папиллярных мышц по часовой стрелке.

Вариант движения верхушки ЛЖ в направлении по часовой стрелке, названный в нашей классификации четвертым типом скручивания, в норме не встречающийся у взрослых людей, описан существенно чаще в группе детей, рожденных глубококондошенными (с очень низкой, экстремально низкой массой тела), в возрасте от 1 года до 5 лет. Данный вариант скручивания ЛЖ выявлен нами у 23 (26,13%) детей, что превышало количество наблюдений в группе детей, рожденных доношенными (2 клинических случая – 4,34% соответственно). В группе детей, рожденных с экстремально низкой массой тела, четвертый тип скручивания ЛЖ обнаружен в 26,92% случаев, а у детей, рожденных с очень низкой массой тела, – в 25,80% соответственно. Отрицательная апикальная ротация у детей, рожденных глубококондошенными, обусловлена не только особенностями роста и строения верхушки сердца в постнатальный период [27, 28], но и гипокси-

ческим влиянием на плод внутриутробно и интранатально, а также наличием фактора недоношенности в анамнезе [12].

Выявленная корреляционная связь скручивания ЛЖ и массы тела ребенка при рождении, по нашему мнению, подтверждает достаточную функциональную эффективность, лучшую сформированность спиральной организации миофибрилл, образующих верхушку сердца, и предполагает более зрелое состояние на тканевом уровне апикальных сегментов сердца у детей, имеющих наиболее высокую массу тела при рождении [29–31]. Это согласуется с выводами о взаимосвязи массы тела при рождении ребенка и веса ткани его сердца во время роста с количеством кардиомиоцитов в ЛЖ [32, 33].

Таким образом, масса тела у детей, рожденных глубококондошенными, является важным предиктором формирующейся контрактильности детского сердца в процессе постнатального онтогенеза: чем меньше масса тела при рождении, тем реже встречается первый (“взрослый”) тип скручивания ЛЖ, тем чаще – четвертый тип скручивания ЛЖ.

Существование различных типов механики ЛЖ, вероятно, является следствием процессов индивидуального созревания и роста тканей сердца и сосудов в постнатальный период на фоне воздействия неблагоприятных факторов риска внутриутробно и интранатально, особенностей течения неонатального периода. Вместе с тем мы не исключаем, что выявленный четвертый тип скручивания ЛЖ у данной категории детей может быть ранним проявлением формирующейся латентной субклинической дисфункции ЛЖ.

ВЫВОДЫ

1) Распределение типов скручивания ЛЖ у детей в возрасте от 1 года до 5 лет, рожденных с очень низкой и экстремально низкой массой тела, отличается от детей, рожденных доношенными. У детей, рожденных с очень низкой и экстремально низкой массой тела, в возрасте от 1 года до 5 лет первый (“взрослый”) тип скручивания ЛЖ выявлен в 46,59 и в 34,61% случаев, у детей, рожденных доношенными, – в 67,39% случаев соответственно. Четвертый тип скручивания

ЛЖ встречается достоверно чаще у детей, рожденных с очень низкой и экстремально низкой массой тела (26,13 и 26,92% случаев соответственно), по сравнению со здоровыми доношенными детьми (в 2% случаев).

2) У детей в возрасте от 1 года до 5 лет, рожденных с очень низкой и экстремально низкой массой тела, и у детей, рожденных доношенными, распределение типов скручивания ЛЖ не зависит от пола ребенка.

Работа выполнена в соответствии с планом НИИ кардиологии Томского НИМЦ по фундаментальной теме “Фундаментальные аспекты возникновения и развития социально значимых сердечно-сосудистых заболеваний; выявление мишеней для диагностики, лечения и улучшения прогноза, механизмы защиты” (№ АААА-А15-115123110026-3 от 31.12.2015).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Fyfe K.L., Yiallourou S.R., Wong F.Y., Horne R.S. The development of cardiovascular and cerebral vascular control in preterm infants // *Sleep Med. Rev.* 2013. V. 18. No. 4. P. 299–310. Doi: 10.1016/j.smrv.2013.06.002.
2. Mohlkert L.A., Hallberg J., Broberg O., Hellström M., Pegelow Halvorsen C., Sjöberg G., Edstedt Bonamy A.K., Liuba P., Fellman V., Domellöf M., Norman M. Preterm arteries in childhood: dimensions, intima-media thickness, and elasticity of the aorta, coronaries, and carotids in 6-y-old children born extremely preterm // *Pediatr. Res.* 2017. V. 81. No. 2. P. 299–306. Doi: 10.1038/pr.2016.212.
3. Hamilton B.E., Martin J.A., Osterman M.J., Curtin S.C., Matthews T.J. Births: final data for 2014 // *Natl. Vital. Stat. Rep.* 2015. V. 64. No. 12. P. 1–64.
4. Crump C., Winkleby M.A., Sundquist K., Sundquist J. Risk of hypertension among young adults who were born preterm: a Swedish national study of 636,000 births // *Am. J. Epidemiol.* 2011. V. 173. No. 7. P. 797–803. Doi: 10.1093/aje/kwq440.
5. Crump C., Sundquist K., Sundquist J., Winkleby M.A. Gestational age at birth and mortality in young adulthood // *JAMA.* 2011. V. 306. No. 11. P. 1233–1240. Doi: 10.1001/jama.2011.1331.
6. Crump C., Sundquist K., Winkleby M.A., Sundquist J. Early-term birth (37–38 weeks) and mortality in young adulthood // *Epidemiology.* 2013. V. 24. No. 2. P. 270–276. Doi: 10.1097/EDE.0b013e318280da0f.
7. Crump C. Birth history is forever: implications for family medicine // *J. Am. Board. Fam. Med.* 2015. V. 28. No. 1. P. 121–123. Doi: 10.3122/jabfm.2015.01.130317.
8. Lawlor D.A., Davey Smith G., Ebrahim S. Birth weight is inversely associated with coronary heart disease in post-menopausal women: findings from the British women's heart and health study // *J. Epidemiol. Community Health.* 2004. V. 58. No. 2. P. 120–125. Doi: 10.1136/jech.58.2.120.
9. Tanis B.C., Kapiteijn K., Hage R.M., Rosendaal F.R., Helmerhorst F.M. Dutch women with a low birth weight have an increased risk of myocardial infarction later in life: a case control study // *Reprod. Health.* 2005. No. 2. P. 1–4. Doi: 10.1186/1742-4755-2-1.
10. Zöller B., Sundquist J., Sundquist K., Crump C. Perinatal risk factors for premature ischemic heart disease in a Swedish national cohort // *BMJ Open.* 2015. V. 5. e007308. Doi: 10.1136/bmjopen-2014-007308.
11. Rajaleid K., Janszky I., Hallqvist J. Small birth size, adult overweight, and risk of acute myocardial infarction // *Epidemiology.* 2011. V. 22. No. 2. P. 138–147. Doi: 10.1097/EDE.0b013e3181fe1e74.
12. Gonzalez-Tendero A., Zhang C., Balicevic V., Cárdenes R., Loncaric S., Butakoff C., Paun B., Bonnin A., Garcia-Cañadilla P., Muñoz-Moreno E., Gratacós E., Crispi F., Bijnsens B. Whole heart detailed and quantitative anatomy, myofibre structure and vasculature from X-ray phase-contrast synchrotron radiation-based micro computed tomography // *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging.* 2017. V. 18. No. 7. P. 732–741. Doi: 10.1093/ehjci/jew314.
13. Tobita K., Garrison J.B., Liu L.J., Tinney J.P., Keller B.B. Three-dimensional myofiber architecture of the embryonic left ventricle during normal development and altered mechanical loads // *Anat. Rec. A. Discov. Mol. Cell. Evol. Biol.* 2005. V. 283. No. 1. P. 193–201. Doi: 10.1002/ar.a.20133.
14. Tobita K., Garrison J.B., Liu L.J., Tinney J.P., Keller B.B. Three-dimensional myofiber architecture of the embryonic left ventricle during normal development and altered mechanical loads // *Anat. Rec. A. Discov. Mol. Cell. Evol. Biol.* 2005. V. 283. No. 1. P. 193–201. Doi: 10.1002/ar.a.20133.
15. Приказ Министерства здравоохранения РФ от 21 декабря 2012 г. № 1346н “О порядке прохождения несовершеннолетними медицинских осмотров, в том числе при поступлении в образовательные учреждения и в период обучения в них”.
16. Приказ Министерства здравоохранения РФ от 10 августа 2017 г. № 514н “О порядке проведения медицинских профилактических осмотров несовершеннолетних”.
17. Lang R.M., Badano L.P., Mor-Avi V., Afilalo J., Armstrong A., Ernande L., Flachskampf F.A., Foster E., Goldstein S.A., Kuznetsova T., Lancellotti P., Muraru D., Picard M.H., Rietzschel E.R., Rudski L., Spencer K.T., Tsang W., Voigt J.U. Recommendations for cardiac chamber quantification by echocardiography in adults: an update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging // *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging.* 2015. V. 16. No. 3. P. 233–270. Doi: 10.1093/ehjci/jev014.

18. Павлюкова Е.Н., Колосова М.В., Унашева А.И., Карпов Р.С. Ротация и скручивание левого желудочка у здоровых детей и подростков, рожденных доношенными // *Ультразвуковая и функциональная диагностика*. 2017. № 1. С. 39–53.
19. Notomi Y., Srinath G., Shiota T., Martin-Miklovic M.G., Beachler L., Howell K., Oryszak S.J., Deserranno D.G., Freed A.D., Greenberg N.L., Yunoszai A., Thomas J.D. Maturation and adaptive modulation of left ventricular torsional biomechanics: Doppler tissue imaging observation from infancy to adulthood // *Circulation*. 2006. V. 113. No. 21. P. 2534–2541. Doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.105.537639.
20. Al-Naami G.H. Torsion of young hearts: a speckle tracking study of normal infants, children, and adolescents // *Eur. J. Echocardiogr.* 2010. V. 11. No. 10. P. 853–862. Doi: 10.1093/ejehocardiography/jeq078.
21. Karnik R., Uppu S.C., Tozzi M., Doucette J., Lytrivi I.D., Geiger M., Klas B., Parness I.A., Shenoy R., Rajagopal H., Srivastava S. Abnormalities in left ventricular rotation are inherent in young children with repaired tetralogy of Fallot and are independent of right ventricular dilation // *Pediatr. Cardiol.* 2018. V. 39. No. 6. P. 1172–1180. Doi: 10.1007/s00246-018-1877-9.
22. Duplessis L.A., Marchand P. The anatomy of the mitral valve and its associated structures // *Thorax*. 1964. V. 19. P. 221–227. Doi: 10.1136/thx.19.3.221.
23. Sanchez-Quintana D., Garcia-Martinez V., Climent V., Hurler J.M. Morphological changes in the normal pattern of ventricular myoarchitecture in the developing human heart // *Anat. Rec.* 1995. V. 243. No. 4. P. 483–495. Doi: 10.1002/ar.1092430411.
24. Спирина Г.А. Морфология сердца и легких плодов человека в исследованиях на кафедре анатомии человека // *Фундаментальные исследования*. 2007. № 12. С. 173–174.
25. Спирина Г.А. Некоторые особенности морфологии сердца плодов человека // *Международный журнал экспериментального образования*. 2010. № 7. С. 63–65.
26. Saremi F., Sánchez-Quintana D., Mori S., Muresian H., Spicer D.E., Hassani C., Anderson R.H. Fibrous skeleton of the heart: anatomic overview and evaluation of pathologic conditions with CT and MR imaging // *Radiographics*. 2017. V. 37. No. 5. P. 1330–1351. Doi: 10.1148/rg.2017170004.
27. Захарова В.П., Трёмбовецкая Е.М., Савчук Т.В., Бацак Б.В., Руденко К.В., Руденко Е.В. Новые аспекты строения миокарда желудочков сердца // *Сердце и сосуды*. 2014. № 3. С. 35–43.
28. Sanchez-Quintana D., Garcia-Martinez V., Climent V., Hurler J.M. Morphological changes in the normal pattern of ventricular myoarchitecture in the developing human heart // *Anat. Rec.* 1995. V. 243. No. 4. P. 483–495. Doi: 10.1002/ar.1092430411.
29. Mekkaoui C., Porayette P., Jackowski M.P., Kostis W.J., Dai G., Sanders S., Sosnovik D.E. Diffusion MRI tractography of the developing human fetal heart // *PLoS One*. 2013. V. 8. No. 8. e72795. Doi: 10.1371/journal.pone.0072795.
30. Pervolaraki E., Dachtler J., Anderson R.A., Holden A.V. Ventricular myocardium development and the role of connexins in the human fetal heart // *Sci. Rep.* 2017. V. 7. No. 12272. Doi: 10.1038/s41598-017-11129-9.
31. Sanchez-Quintana D., Garcia-Martinez V., Climent V., Hurler J.M. Morphological changes in the normal pattern of ventricular myoarchitecture in the developing human heart // *Anat. Rec.* 1995. V. 243. No. 4. P. 483–495. Doi: 10.1002/ar.1092430411.
32. Stacy V., De Matteo R., Brew N., Sozo F., Probyn M.E., Harding R., Black M.J. The influence of naturally occurring differences in birthweight on ventricular cardiomyocyte number in sheep // *Anat. Rec. (Hoboken)*. 2009. V. 292. No. 1. P. 29–37. Doi: 10.1002/ar.20789.
33. Louey S., Jonker S.S., Giraud G.D., Kent L. Thornburg placental insufficiency decreases cell cycle activity and terminal maturation in fetal sheep cardiomyocytes // *J. Physiol.* 2007. V. 580. Pt. 2. P. 639–648. Doi: 10.1113/jphysiol.2006.122200.

REFERENCES

1. Fyfe K.L., Yiallourou S.R., Wong F.Y., Horne R.S. The development of cardiovascular and cerebral vascular control in preterm infants // *Sleep Med. Rev.* 2013. V. 18. No. 4. P. 299–310. Doi: 10.1016/j.smrv.2013.06.002.
2. Mohlkert L.A., Hallberg J., Broberg O., Hellström M., Pegelow Halvorsen C., Sjöberg G., Edstedt Bonamy A.K., Liuba P., Fellman V., Domellöf M., Norman M. Preterm arteries in childhood: dimensions, intima-media thickness, and elasticity of the aorta, coronaries, and carotids in 6-y-old children born extremely preterm // *Pediatr. Res.* 2017. V. 81. No. 2. P. 299–306. Doi: 10.1038/pr.2016.212.
3. Hamilton B.E., Martin J.A., Osterman M.J., Curtin S.C., Matthews T.J. Births: final data for 2014 // *Natl. Vital. Stat. Rep.* 2015. V. 64. No. 12. P. 1–64.
4. Crump C., Winkleby M.A., Sundquist K., Sundquist J. Risk of hypertension among young adults who were born preterm: a Swedish national study of 636,000 births // *Am. J. Epidemiol.* 2011. V. 173. No. 7. P. 797–803. Doi: 10.1093/aje/kwq440.
5. Crump C., Sundquist K., Sundquist J., Winkleby M.A. Gestational age at birth and mortality in young adulthood // *JAMA*. 2011. V. 306. No. 11. P. 1233–1240. Doi: 10.1001/jama.2011.1331.
6. Crump C., Sundquist K., Winkleby M.A., Sundquist J. Early-term birth (37–38 weeks) and mortality in young adulthood // *Epidemiology*. 2013. V. 24. No. 2. P. 270–276. Doi: 10.1097/EDE.0b013e318280da0f.
7. Crump C. Birth history is forever: implications for family medicine // *J. Am. Board. Fam. Med.* 2015. V. 28. No. 1. P. 121–123. Doi: 10.3122/jabfm.2015.01.130317.

8. Lawlor D.A., Davey Smith G., Ebrahim S. Birth weight is inversely associated with coronary heart disease in post-menopausal women: findings from the British women's heart and health study // *J. Epidemiol. Community Health*. 2004. V. 58. No. 2. P. 120–125. Doi: 10.1136/jech.58.2.120.
9. Tanis B.C., Kapiteijn K., Hage R.M., Rosendaal F.R., Helmerhorst F.M. Dutch women with a low birth weight have an increased risk of myocardial infarction later in life: a case control study // *Reprod. Health*. 2005. No. 2. P. 1–4. Doi: 10.1186/1742-4755-2-1.
10. Zöller B., Sundquist J., Sundquist K., Crump C. Perinatal risk factors for premature ischemic heart disease in a Swedish national cohort // *BMJ Open*. 2015. V. 5. e007308. Doi: 10.1136/bmjopen-2014-007308.
11. Rajaleid K., Janszky I., Hallqvist J. Small birth size, adult overweight, and risk of acute myocardial infarction // *Epidemiology*. 2011. V. 22. No. 2. P. 138–147. Doi: 10.1097/EDE.0b013e3181fe1e74.
12. Gonzalez-Tendero A., Zhang C., Balicevic V., Cárdenes R., Loncaric S., Butakoff C., Paun B., Bonnin A., Garcia-Cañadilla P., Muñoz-Moreno E., Gratacós E., Crispi F., Bijmens B. Whole heart detailed and quantitative anatomy, myofibre structure and vasculature from X-ray phase-contrast synchrotron radiation-based micro computed tomography // *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging*. 2017. V. 18. No. 7. P. 732–741. Doi: 10.1093/ehjci/jew314.
13. Tobita K., Garrison J.B., Liu L.J., Tinney J.P., Keller B.B. Three-dimensional myofiber architecture of the embryonic left ventricle during normal development and altered mechanical loads // *Anat. Rec. A. Discov. Mol. Cell. Evol. Biol.* 2005. V. 283. No. 1. P. 193–201. Doi: 10.1002/ar.a.20133.
14. Tobita K., Garrison J.B., Liu L.J., Tinney J.P., Keller B.B. Three-dimensional myofiber architecture of the embryonic left ventricle during normal development and altered mechanical loads // *Anat. Rec. A. Discov. Mol. Cell. Evol. Biol.* 2005. V. 283. No. 1. P. 193–201. Doi: 10.1002/ar.a.20133.
15. Order of the Ministry of Health of the Russian Federation of December 21, 2012 No. 1346n *On the procedure for minors to undergo medical examinations, including upon admission to educational institutions and during the period of study in them.* (Document in Russian)
16. Order of the Ministry of Health of the Russian Federation of August 10, 2017 No. 514n *On the procedure for conducting preventive medical examinations of minors.* (Document in Russian)
17. Lang R.M., Badano L.P., Mor-Avi V., Afilalo J., Armstrong A., Ernande L., Flachskampf F.A., Foster E., Goldstein S.A., Kuznetsova T., Lancellotti P., Muraru D., Picard M.H., Rietzschel E.R., Rudski L., Spencer K.T., Tsang W., Voigt J.U. Recommendations for cardiac chamber quantification by echocardiography in adults: an update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging // *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging*. 2015. V. 16. No. 3. P. 233–270. Doi: 10.1093/ehjci/jev014.
18. Pavlyukova E.N., Kolosova M.V., Unasheva A.I., Karpov R.S. Left ventricle rotation and twist in children and adolescents born full-term // *Ultrasound and Functional Diagnostics*. 2017. No. 1. P. 39–53. (Article in Russian)
19. Notomi Y., Srinath G., Shiota T., Martin-Miklovic M.G., Beachler L., Howell K., Oryszak S.J., Deserranno D.G., Freed A.D., Greenberg N.L., Younoszai A., Thomas J.D. Maturational and adaptive modulation of left ventricular torsional biomechanics: Doppler tissue imaging observation from infancy to adulthood // *Circulation*. 2006. V. 113. No. 21. P. 2534–2541. Doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.105.537639.
20. Al-Naami G.H. Torsion of young hearts: a speckle tracking study of normal infants, children, and adolescents // *Eur. J. Echocardiogr.* 2010. V. 11. No. 10. P. 853–862. Doi: 10.1093/ejehocardi/jeq078.
21. Karnik R., Uppu S.C., Tozzi M., Doucette J., Lytrivi I.D., Geiger M., Klas B., Parness I.A., Shenoy R., Rajagopal H., Srivastava S. Abnormalities in left ventricular rotation are inherent in young children with repaired tetralogy of Fallot and are independent of right ventricular dilation // *Pediatr. Cardiol.* 2018. V. 39. No. 6. P. 1172–1180. Doi: 10.1007/s00246-018-1877-9.
22. Duplessis L.A., Marchand P. The anatomy of the mitral valve and its associated structures // *Thorax*. 1964. V. 19. P. 221–227. Doi: 10.1136/thx.19.3.221.
23. Sanchez-Quintana D., Garcia-Martinez V., Climent V., Hurlé J.M. Morphological changes in the normal pattern of ventricular myoarchitecture in the developing human heart // *Anat. Rec.* 1995. V. 243. No. 4. P. 483–495. Doi: 10.1002/ar.1092430411.
24. Spirina G.A. Morphology of the heart and lungs of a person in studies at the Department of Human Anatomy // *Fundamental Research*. 2007. No. 12. P. 173–174. (Article in Russian)
25. Spirina G.A. Some features of the morphology of the heart of human fruits // *International Journal an Experiment Education*. 2010. No. 7. P. 63–65. (Article in Russian)
26. Saremi F., Sánchez-Quintana D., Mori S., Muresian H., Spicer D.E., Hassani C., Anderson R.H. Fibrous skeleton of the heart: anatomic overview and evaluation of pathologic conditions with CT and MR imaging // *Radiographics*. 2017. V. 37. No. 5. P. 1330–1351. Doi: 10.1148/rg.2017170004.
27. Zakharova V.P., Trembovetskaya E.M., Savchuk T.V., Batsak B.V., Rudenko K.V., Rudenko E.V. New aspects of the structure of the myocardium ventricles of the heart // *Heart and Blood Vessels*. 2014. No. 3. P. 35–43. (Article in Russian)
28. Sanchez-Quintana D., Garcia-Martinez V., Climent V., Hurlé J.M. Morphological changes in the normal pattern of ventricular myoarchitecture in the developing human heart // *Anat. Rec.* 1995. V. 243. No. 4. P. 483–495. Doi: 10.1002/ar.1092430411.
29. Mekkaoui C., Porayette P., Jackowski M.P., Kostis W.J., Dai G., Sanders S., Sosnovik D.E. Diffusion MRI tractography of the developing human fetal heart // *PLoS One*. 2013. V. 8. No. 8. e72795. Doi: 10.1371/journal.pone.0072795.

30. Pervolaraki E., Dachtler J., Anderson R.A., Holden A.V. Ventricular myocardium development and the role of connexins in the human fetal heart // *Sci. Rep.* 2017. V. 7. No. 12272. Doi: 10.1038/s41598-017-11129-9.
31. Sanchez-Quintana D., Garcia-Martinez V., Climent V., Hurle J.M. Morphological changes in the normal pattern of ventricular myoarchitecture in the developing human heart // *Anat. Rec.* 1995. V. 243. No. 4. P. 483–495. Doi: 10.1002/ar.1092430411.
32. Stacy V., De Matteo R., Brew N., Sozo F., Probyn M.E., Harding R., Black M.J. The influence of naturally occurring differences in birthweight on ventricular cardiomyocyte number in sheep // *Anat. Rec. (Hoboken)*. 2009. V. 292. No. 1. P. 29–37. Doi: 10.1002/ar.20789.
33. Louey S., Jonker S.S., Giraud G.D., Kent L. Thornburg placental insufficiency decreases cell cycle activity and terminal maturation in fetal sheep cardiomyocytes // *J. Physiol.* 2007. V. 580. Pt. 2. P. 639–648. Doi: 10.1113/jphysiol.2006.122200.

Left ventricular mechanics in children aged from one to five years old with very low and extremely low birth weight

E.N. Pavlyukova¹, M.V. Kolosova², G.V. Neklyudova¹, R.S. Karpov¹

¹ Cardiology Research Institute, Tomsk National Research Medical Center of the Russian Academy of Sciences, Tomsk

² Siberian State Medical University, Tomsk

E.N. Pavlyukova – M.D., Ph.D., Professor, Head of Atherosclerosis and Chronic Ischemic Heart Disease Department, Cardiology Research Institute, Tomsk National Research Medical Center of the Russian Academy of Sciences, Tomsk. M.V. Kolosova – M.D., Ph.D., Professor, Pediatric Division, Siberian State Medical University, Tomsk. G.V. Neklyudova – M.D., Ph.D. fellow, Cardiology Research Institute, Tomsk National Research Medical Center of the Russian Academy of Sciences, Tomsk. R.S. Karpov – M.D., Ph.D., Professor, Academician of RAS, Scientific Director, Cardiology Research Institute, Tomsk National Research Medical Center of the Russian Academy of Sciences, Tomsk.

Objective: To assess the left ventricular mechanics during postnatal ontogenesis in preterm children with very low and extremely low birth weight.

Material and methods: 88 children aged from one to five years old, born extremely prematurely with very low and extremely low body weight (the main group), were examined. The control group consisted of 46 healthy children of the same age, born full-term. Left ventricular mechanics was studied by evaluating left ventricular rotation at level of basal segment, papillary muscle, and apex and left ventricular twist using two-dimensional speckle-tracking echocardiography.

Results: There are four types of left ventricular twist both in healthy full-term children and in children born extremely premature. The distribution of left ventricular twist types in main and control group was different. The first type (adult type) of left ventricular twist was detected in 46.59% of children born with extreme prematurity and in 67.39% of healthy full-term children. There were no significant differences in incidence of children's types of left ventricular twist (second and third types) between the groups (11.36 and 15.91% vs 13.04 and 15.22%, respectively). Incidence of the fourth type of left ventricular twist (negative apical rotation) was significantly higher in infants born extremely prematurely in comparison to full-term infants (26.14% vs 4.37%; $P = 0.01$). There were no differences in incidence of different types of left ventricular twist according to gender among children born extremely premature. The significant correlations between left ventricular twist types and birth weight ($r = 0.53$; $P = 0.003$) were found among children born with extreme prematurity aged from one to three years old.

Key words: 2D speckle tracking echocardiography (imaging), left ventricular rotation, left ventricular twist, left ventricular mechanics, premature infants, children with very low birth weight, children with extremely low birth weight.

Citation: Pavlyukova E.N., Kolosova M.V., Neklyudova G.V., Karpov R.S. Left ventricular mechanics in children aged from one to five years old with very low and extremely low birth weight // *Ultrasound and Functional Diagnostics*. 2020. No. 3. P. 74–90. DOI: 10.24835/1607-0771-2020-3-74-90. (Article in Russian)