

Ротация и скручивание левого желудочка у здоровых детей и подростков, рожденных доношенными

Е.Н. Павлюкова¹, М.В. Колосова², А.И. Унашева¹, Р.С. Карпов¹

¹ Научно-исследовательский институт кардиологии, Томский НИМЦ, г. Томск

² ФГБОУ ВО “Сибирский государственный медицинский университет”

Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Томск

Целью данного исследования явилась оценка ротации на уровне базальных, верхушечных сегментов, папиллярных мышц и скручивания левого желудочка у здоровых детей и подростков, рожденных доношенными. Анализ выполнен у 86 здоровых детей в возрасте от 2 мес до 18 лет, рожденных доношенными, которые относились к группам здоровья I–II. До включения в исследование ни один ребенок в течение последних 6 мес не переносил острых респираторных вирусных инфекций. Индивидуальный анализ ротации левого желудочка на уровне базальных, верхушечных сегментов и папиллярных мышц выявил четыре варианта скручивания левого желудочка. 1-й тип (“взрослый”) встречался у 52 (60,5%) здоровых детей и подростков в возрасте от 2 мес до 18 лет. Для этого типа скручивания характерно разнонаправленное вращение базальных и верхушечных сегментов левого желудочка, то есть ротация на уровне базальных сегментов направлена по часовой стрелке, а на

уровне верхушки – против часовой стрелки. 2-й тип (“детский”) – однонаправленное вращение против часовой стрелки на уровне базальных сегментов, папиллярных мышц и верхушки. Данный тип скручивания левого желудочка был зарегистрирован у 15 (17,4%) детей. Для 3-го типа характерно однонаправленное вращение против часовой стрелки базальных и верхушечных сегментов, а на уровне папиллярных мышц – по часовой стрелке. Данный вариант скручивания левого желудочка обнаружен у 10 (11,6%) здоровых детей. 4-й тип, выявленный в 9 (10,5%) случаях, характеризовался движением левого желудочка на уровне апикальных сегментов и папиллярных мышц по часовой стрелке, а на уровне базальных сегментов в 4 случаях – по часовой, а в 5 – против часовой стрелки. Не было обнаружено значимых различий в частоте встречаемости типов скручивания левого желудочка в зависимости от возраста и пола.

Е.Н. Павлюкова – д.м.н., профессор, ведущий научный сотрудник отделения атеросклероза и хронической ишемической болезни сердца Научно-исследовательского института кардиологии Томского НИМЦ, г. Томск. М.В. Колосова – д.м.н., профессор кафедры пропедевтики детских болезней с курсом детских инфекционных болезней и поликлинической педиатрии ФГБОУ ВО “Сибирский государственный медицинский университет” Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Томск. А.И. Унашева – аспирант отделения атеросклероза и хронической ишемической болезни сердца Научно-исследовательского института кардиологии Томского НИМЦ, г. Томск. Р.С. Карпов – д.м.н., профессор, академик РАН, главный научный сотрудник Научно-исследовательского института кардиологии Томского НИМЦ, г. Томск.

Контактная информация: 634012 г. Томск, ул. Киевская, д. 111а, НИИ кардиологии, Томский НИМЦ, отделение атеросклероза и хронической ишемической болезни сердца. Павлюкова Елена Николаевна. Тел.: +7 (960) 977-86-98. Факс: +7 (382-2) 55-50-26. E-mail: pavluk@cardio-tomsk.ru

Ключевые слова: эхокардиография, след пятна (*speckle tracking*), левый желудочек, базальные сегменты, апикальные сегменты, папиллярные мышцы, ротация, скручивание, дети и подростки.

ВВЕДЕНИЕ

Интенсивное изучение механики контрактных процессов сердца у взрослого населения происходит весьма активно [1–5]. Однако механика левого желудочка (ЛЖ) у детей и подростков в процессе онтогенеза, в частности феномен формирования ротации и скручивания ЛЖ, остается недостаточно изученным вопросом. До настоящего времени ультразвуковая микрометрия и магнитно-резонансная томография были единственными методами оценки ротации, скручивания и поворота по оси ЛЖ [6–8]. Ультразвуковая микрометрия является агрессивным методом исследования, использующимся только в эксперименте у животных, находящихся под анестезией. Использование магнитно-резонансной томографии в рутинной практике ограничено стоимостью, длительностью исследования, технической сложностью анализа данных. Ультразвуковая технология “след пятна” (*speckle tracking*) дает возможность оценить деформацию ЛЖ в продольном, радиальном направлениях и по окружности. Кроме того, эта технология позволяет исследовать ротацию (*rotation*) ЛЖ на уровне базальных, средних и верхушечных сегментов и определить скручивание (*twist*) и поворот по оси (*torsion*) ЛЖ [9–12].

Данные литературы свидетельствуют о том, что у детей направление базальной ротации ЛЖ отличается от направления движения ЛЖ на уровне базальных сегментов у лиц старше 18 лет [4]. Показано, что у детей в возрасте 10–12 лет в ответ на физическую нагрузку наблюдается меньший прирост процента скручивания и раскручивания по сравнению с лицами в возрасте старше 18 лет [13]. В настоящее время недостаточно хорошо освещены вопросы апикальной ротации и скручивания ЛЖ у детей. Эти знания необходимы для понимания механики сердца в норме и при патологии, поскольку доказано, что апикальная ротация и скручивание ЛЖ являются

индексами контрактильности ЛЖ [14–16] и могут быть предикторами ряда заболеваний сердца, в частности гипертрофической кардиомиопатии [17].

Целью данного исследования явилась оценка ротации на уровне базальных, верхушечных сегментов и папиллярных мышц и скручивания ЛЖ у здоровых детей и подростков, рожденных доношенными.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Анализ выполнен у 86 здоровых детей в возрасте от 2 мес до 18 лет, рожденных доношенными, которые относились к группам здоровья I–II согласно Приказу Министерства здравоохранения Российской Федерации от 30.12.2003 года № 621 “О комплексной оценке здоровья детей”. До включения в исследование ни один ребенок в течение последних 6 мес не переносил острых респираторных вирусных инфекций. На момент исследования ни у одного ребенка не наблюдались дефицит либо избыточный вес, какая-либо хроническая патология. В зависимости от возраста дети и подростки были разделены на следующие подгруппы: от 2 мес до 3 лет (включительно) (первая подгруппа) ($n = 25$), от 3 до 6 лет (включительно) (вторая подгруппа) ($n = 16$), от 6 до 11 лет (включительно) (третья подгруппа) ($n = 22$) и старше 11 лет (до 18 лет) (четвертая подгруппа) ($n = 23$). По половому соотношению подгруппы детей между собой достоверно не различались.

Стандартная эхокардиография и технология *speckle tracking* выполнены на ультразвуковой системе Vivid E9 (GE Healthcare, США) с использованием матричного датчика MS5 (1,5–4,6 МГц). Во время эхокардиографии регистрировалась электрокардиограмма. Эхокардиография в двухмерном режиме выполнена по стандартной методике из парастернальной (по короткой оси ЛЖ на уровнях фиброзного кольца митрального клапана, папиллярных мышц и верхушки) и апикальной (на уровне 4 и 2 камер и по длинной оси ЛЖ) позиций. Конечный диастолический (КДО) и конечный систолический (КСО) объемы, фракция выброса (ФВ) ЛЖ вычислялись с использованием метода Simpson из апикальной позиции на уровне 4 и 2 камер [18, 19].

Таблица 1. Характеристика здоровых детей и подростков в зависимости от возраста (n = 86)

Показатели	Первая подгруппа (от 2 мес до 3 лет) (n = 25)		Вторая подгруппа (от 3 до 6 лет) (n = 16)		Третья подгруппа (от 6 до 11 лет) (n = 22)		Четвертая подгруппа (от 11 до 18 лет) (n = 23)		Значимость различий по Kruskal- Wallis ANOVA
	M ± σ Min-Max	Медиана	M ± σ Min-Max	Медиана	M ± σ Min-Max	Медиана	M ± σ Min-Max	Медиана	
Частота сердечных сокращений, уд/мин	123,100 ± 21,300 105,000–157,000	127,000	97,800 ± 13,900 85,000–119,000	102,500	86,000 ± 12,300 75,000–130,000	86,000	78,565 ± 2,684 74,600–93,000	73,000	P = 0,0000
Масса, кг	10,000 ± 2,500 4,500–14,000	11,000	15,200 ± 1,600 12,500–18,000	15,000	24,600 ± 6,300 15,000–45,000	23,650	54,800 ± 26,000 41,500–70,000	55,000	P = 0,0000
Рост, м	76,940 ± 10,930 55,300–95,000	78,000	99,070 ± 6,840 89,000–110,00	96,000	123,860 ± 13,080 95,000–154,000	122,500	154,040 ± 29,880 78,000–180,000	161,000	P = 0,0000
КДО, мл	21,240 ± 8,280 8,000–44,000	22,000	31,000 ± 7,860 17,000–48,000	29,000	47,000 ± 11,810 26,000–74,000	51,000	72,000 ± 17,550 41,000–107,000	68,000	P = 0,0000
КДО/площадь поверхности тела, мл/м ²	46,240 ± 15,870 23,529–104,762	46,940	51,210 ± 12,130 26,154–70,492	48,490	53,090 ± 11,450 33,094–74,000	54,460	50,990 ± 18,460 26,282–118,000	45,080	P > 0,05
КСО, мл	5,190 ± 2,580 1,000–10,000	6,000	7,560 ± 3,010 2,000–13,000	8,000	12,330 ± 4,670 5,000–21,000	12,000	19,160 ± 7,100 4,000–32,000	19,000	P = 0,0000
КСО/площадь поверхности тела, мл/м ²	10,670 ± 4,850 3,333–20,513	10,340	11,820 ± 3,660 3,077–18,571	11,820	13,640 ± 4,500 6,757–21,622	13,100	13,830 ± 6,860 4,101–36,000	13,050	P > 0,05
ФВ ЛЖ, %	75,190 ± 9,590 57,143–93,182	73,330	76,300 ± 6,110 66,667–88,235	75,000	74,970 ± 1,090 68,824–87,273	78,000	73,160 ± 5,800 65,932–93,443	73,900	P > 0,05
Индекс сферичности в диастолу	0,581 ± 0,083 0,400–0,720	0,592	0,580 ± 0,069 0,464–0,708	0,579	0,566 ± 0,072 0,457–0,762	0,555	0,510 ± 0,050 0,427–0,660	0,520	P = 0,0338
Индекс сферичности в систолу	0,490 ± 0,092 0,310–0,680	0,500	0,500 ± 0,069 0,378–0,824	0,493	0,523 ± 0,142 0,400–0,700	0,467	0,450 ± 0,010 0,127–0,618	0,460	P > 0,05
Толщина межжелудоч- ковой пере- городки, мм	3,750 ± 0,072 3,000–4,000	3,200	4,000 ± 0,500 3,000–6,000	4,000	4,790 ± 0,980 3,000–6,000	5,000	5,580 ± 1,390 3,000–8,000	5,000	P = 0,0000
Толщина задней стенки ЛЖ, мм	3,800 ± 0,770 3,000–5,000	4,000	4,220 ± 0,830 3,000–6,000	4,000	5,000 ± 1,000 3,000–7,000	5,000	6,530 ± 1,390 3,000–9,000	6,000	P = 0,0000

Таблица 1 (окончание).

Показатели	Первая подгруппа (от 2 мес до 3 лет) (n = 25)		Вторая подгруппа (от 3 до 6 лет) (n = 16)		Третья подгруппа (от 6 до 11 лет) (n = 22)		Четвертая подгруппа (от 11 до 18 лет) (n = 23)		Значимость различий по Kruskal- Wallis ANOVA
	M ± σ Min-Max	Медиана	M ± σ Min-Max	Медиана	M ± σ Min-Max	Медиана	M ± σ Min-Max	Медиана	
КДР, мм	27,900 ± 4,520 20,000–36,000	28,000	33,000 ± 2,350 29,000–37,000	32,000	36,370 ± 3,610 30,000–44,000	35,000	44,840 ± 3,860 36,000–52,000	45,000	P = 0,0000
КСР, мм	15,700 ± 3,420 10,000–22,000	15,000	18,110 ± 3,330 13,000–23,000	19,000	19,500 ± 4,870 12,500–25,000	20,000	25,900 ± 3,830 18,000–32,000	26,000	P = 0,0000
ММ ЛЖ, г	20,330 ± 4,780 19,271–35,478	20,140	30,620 ± 6,090 22,452–48,883	27,720	45,830 ± 15,020 27,063–68,151	39,250	84,100 ± 26,030 68,060–145,222	82,920	P = 0,0000
ММ ЛЖ/ площадь поверхности тела, г/м ²	102,120 ± 16,360 27,268–69,565	105,700	72,420 ± 20,140 30,756–90,844	79,940	51,720 ± 18,090 29,487–86,943	50,220	45,878 ± 22,434 31,678–125,649	52,073	P > 0,05
E _{mitr} , см/с	103,000 ± 16,750 70,000–138,000	100,000	97,570 ± 18,480 74,000–120,000	97,000	99,200 ± 16,870 67,000–124,000	101,000	91,530 ± 13,340 69,000–124,000	88,000	P > 0,05
A _{mitr} , см/с	73,800 ± 18,810 35,000–110,000	78,500	58,570 ± 18,090 34,000–87,000	60,000	53,800 ± 11,990 36,000–75,000	55,000	51,220 ± 10,900 33,000–72,000	48,000	P = 0,0013
E _{mitr} /A _{mitr}	1,820 ± 0,810 1,009–3,029	1,460	1,750 ± 0,550 1,115–3,051	1,520	1,860 ± 0,340 1,353–2,531	1,640	1,900 ± 0,480 1,313–3,030	1,780	P = 0,0152
E _{mitr} /E _m	6,780 ± 1,120 3,684–9,385	6,420	5,570 ± 1,460 3,700–9,750	5,350	5,620 ± 1,470 3,826–9,462	5,570	4,640 ± 0,510 3,650–6,889	4,420	P = 0,0005
E _m , см/с	16,000 ± 2,710 12,000–22,000	16,000	18,000 ± 2,000 8,000–22,000	17,000	19,000 ± 4,180 11,000–25,000	19,000	19,900 ± 2,920 13,000–28,000	20,000	P = 0,0003
S _m , см/с	9,750 ± 2,670 6,000–15,000	9,000	11,000 ± 2,450 6,000–16,000	10,000	12,350 ± 3,040 7,000–17,000	11,000	11,080 ± 2,130 8,000–15,000	11,000	P = 0,0249
A _m , см/с	8,820 ± 5,230 3,000–21,000	7,000	6,170 ± 0,750 4,000–8,000	6,000	6,250 ± 1,550 4,000–9,000	7,000	7,570 ± 1,910 4,000–11,000	7,000	P > 0,05
E _m /A _m	2,540 ± 0,850 1,107–4,333	2,200	3,010 ± 0,550 2,000–3,800	2,830	3,580 ± 1,270 1,571–4,750	2,720	2,900 ± 0,190 1,636–5,000	2,780	P = 0,0064

Примечание: КДР – конечный диастолический объем, КСР – конечный систолический объем, ММ – масса миокарда, E_{mitr} – максимальная скорость трансмитрального кровотока в раннюю диастолу, A_{mitr} – максимальная скорость трансмитрального кровотока в систолу предсердий, E_m – скорость движения фиброзного кольца митрального клапана на стороне боковой стенки ЛЖ в раннюю диастолу, S_m – скорость движения фиброзного кольца митрального клапана на стороне боковой стенки ЛЖ в систолу, A_m – скорость движения фиброзного кольца митрального клапана на стороне боковой стенки ЛЖ в период систолы предсердий.

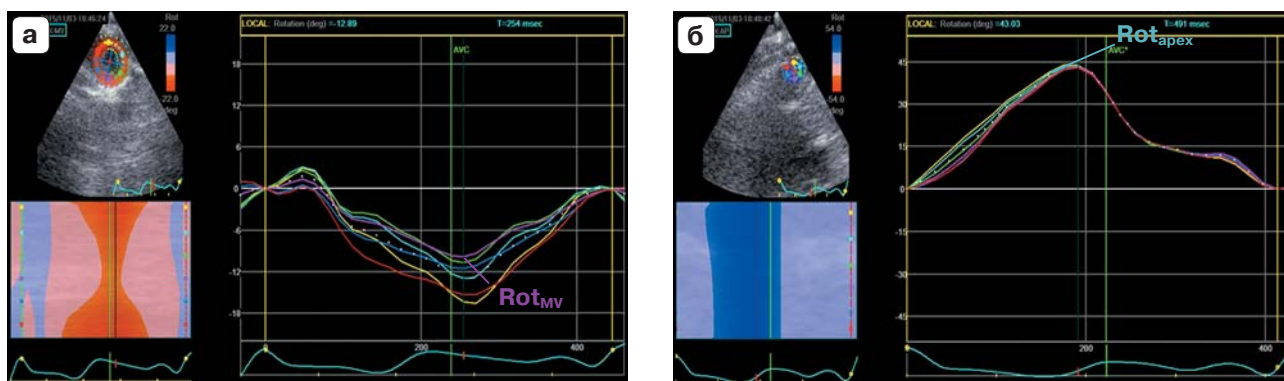


Рис. 1. Изображение ЛЖ по короткой оси на уровне базальных (а) и верхушечных (б) сегментов с использованием технологии *speckle tracking*. Кривые ротации ЛЖ.

Кроме того, использовали импульсно-волновую тканевую доплерографию, с помощью которой регистрировали спектр движения фиброзного кольца митрального клапана на стороне боковой стенки ЛЖ с расчетом максимальной скорости в период систолы и ранней диастолы с последующим расчетом показателя E_{mitr}/E_m [19].

Характеристика пациентов представлена в табл. 1.

В режиме кинопетли регистрировали три сердечных цикла, затем выполняли оценку деформационных свойств миокарда ЛЖ в каждом сердечном цикле с помощью двухмерной эхокардиографии в режиме *speckle tracking* с использованием программы Echopac PC, версия 113 (GE Healthcare, США). Двухмерные изображения ЛЖ, зарегистрированные из парастернальной позиции в серошкальном изображении (при частоте кадров ≥ 60 /с), автоматически замораживались в конце систолы. Проводилось

окопирование границ эндокарда, и автоматически были получены изогнутый М-режим, кривые ротации. По кривым, полученным из парастернальной позиции по короткой оси ЛЖ на уровне базальных и верхушечных сегментов (рис. 1), рассчитывали ротацию ЛЖ в градусах в конце систолы [9–12] на базальном (Rot_{MV}) и верхушечном (Rot_{apex}) уровнях. Поскольку верхушка в систолу движется против часовой стрелки, а базальные сегменты – по часовой стрелке, то кривые ротации верхушки в норме имеют положительные значения, а кривые ротации на базальном уровне в конце систолы – отрицательные значения [9–12]. Скручивание ЛЖ в конце систолы оценивали по кривой (рис. 2) или количественно: ротация в конце систолы верхушки минус ротация на базальном уровне ($Rot_{apex} - Rot_{MV}$) [9–12].

Внутриоператорская и межоператорская воспроизводимость была оценена у 10 детей в возрасте от 1 года до 3 лет с помощью расчета коэффициента внутригрупповой корреляции (intraclass correlation coefficient) (ICC) и метода Блэнда–Алтмана. Для расчета внутриоператорской и межоператорской воспроизводимости были использованы архивированные изображения (стаж более опытного врача-исследователя составил более 10 лет, другого врача-исследователя около 2 лет). Значения внутриоператорской и межоператорской воспроизводимости ротации ЛЖ на уровне базальных, верхушечных сегментов, папиллярных мышц (Rot_{PM}) и скручивания ЛЖ приведены в табл. 2. Средняя разность измерений значений ротации на всех уровнях и скру-

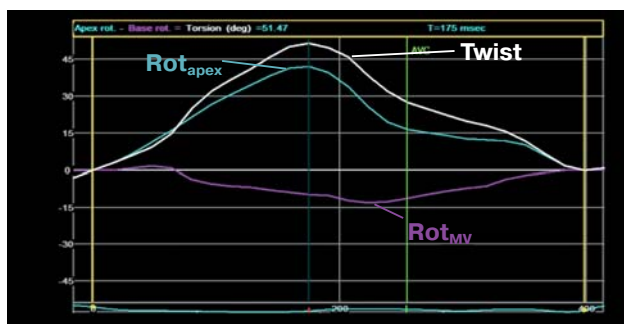


Рис. 2. Кривые ротации ЛЖ на уровне базальных сегментов, верхушки и скручивания ЛЖ при использовании технологии *speckle tracking*.

Таблица 2. Внутриоператорская и межоператорская воспроизводимость значений ротации ЛЖ на уровне базальных, верхушечных сегментов и папиллярных мышц и скручивания ($n = 10$)

Показатели	ICC	Средняя разность измерений	Стандартное отклонение разностей	Стандартная ошибка измерений
<i>Внутриоператорская воспроизводимость</i>				
Rot _{MV} , °	0,994	0,114	0,245	0,078
Rot _{PM} , °	0,997	0,109	0,428	0,135
Rot _{apex} , °	0,999	0,048	0,118	0,039
Twist, °	0,998	0,065	0,458	0,144
<i>Межоператорская воспроизводимость</i>				
Rot _{MV} , °	0,995	0,018	0,772	0,018
Rot _{PM} , °	0,985	0,062	0,915	0,289
Rot _{apex} , °	0,935	0,064	1,693	0,535
Twist, °	0,995	0,272	0,833	0,263

чивания ЛЖ между значениями двух исследователей не превышала 2%, что свидетельствовало об отсутствии систематического расхождения. Стандартное отклонение разности значений вышеуказанных показателей составило не более 1,693, что невелико по сравнению с самими значениями ротации. Разброс разностей двух измерений не выходил за пределы 95%-го доверительного интервала. Межоператорская воспроизводимость была ниже по сравнению с внутриоператорской воспроизводимостью, тем не менее ее показатели были также удовлетворительными.

Статистический анализ. Проверка гипотезы о нормальности распределения по критериям Колмогорова–Смирнова в форме Лиллиефорса (Lilliefors) и Шапиро–Уилка (Shapiro–Wilk) отвергала эту гипотезу, поэтому были выполнены тесты Крускала–Уоллиса (Kruskal–Wallis ANOVA) и Манна–Уитни (Mann–Whitney U). Кроме того, для оценки достоверности различий каче-

ственных переменных использовали критерий χ^2 . Оценка корреляционных связей между парами количественных признаков осуществлялась с использованием непараметрического рангового коэффициента Спирмена. Во всех процедурах статистического анализа критический уровень значимости P принимался равным 0,05. Результаты представлены в виде $M \pm \sigma$, медианы, нижней и верхней квартилей, минимального и максимального значений.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Индивидуальный анализ ротации ЛЖ на уровне базальных, верхушечных сегментов и папиллярных мышц выявил четыре варианта скручивания ЛЖ (рис. 3). Значения ротации ЛЖ в систолу на уровне базальных, верхушечных сегментов, папиллярных мышц и скручивания ЛЖ в зависимости от типа скручивания ЛЖ приведены в табл. 3.

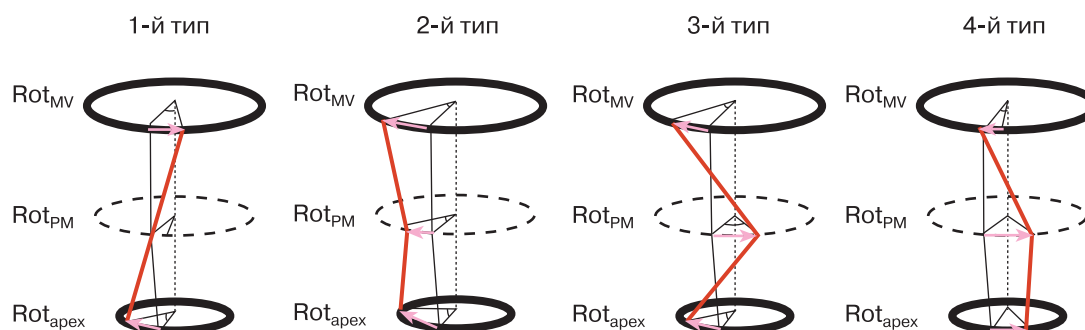
**Рис. 3.** Типы скручивания ЛЖ у практически здоровых детей и подростков, рожденных доношенными.

Таблица 3. Значения ротации на уровне базальных и верхушечных сегментов, папиллярных мышц и скручивания ЛЖ (n = 86)

Показатели	Типы скручивания	M ± σ	Медиана	Нижний – верхний квартили	Минимальное – максимальное значения	Значимость различий по Kruskal–Wallis	Значимость различий по Mann–Whitney U ANOVA
Rot _{МV} , °	1-й (n = 52)	-4,908 ± 3,548	-4,980	-7,050–-3,090	-12,890–9,630	P = 0,0000	P ₁₋₂ = 0,0001
	2-й (n = 15)	5,399 ± 4,697	3,525	1,980–7,305	1,030–15,980		P ₁₋₃ = 0,000
	3-й (n = 10)	6,514 ± 4,434	5,5	3,270–9,450	1,030–13,920		P ₁₋₄ = 0,010
	4-й (n = 9)	-0,152 ± 5,377	1,03	-4,470–3,440	-9,110–6,880		P ₂₋₄ = 0,047 P ₃₋₄ = 0,022
Rot _{ТМ} , °	1-й (n = 52)	-2,578 ± 5,935	-2,920	-6,880–2,230	-17,700–9,970	P = 0,0007	P ₁₋₂ = 0,001
	2-й (n = 15)	3,189 ± 3,994	2,32	1,445–4,985	-6,020–10,830		P ₂₋₃ = 0,000
	3-й (n = 10)	-4,538 ± 2,886	-4,125	-6,880–-2,230	-9,970–-1,030		P ₂₋₄ = 0,001
	4-й (n = 9)	-3,399 ± 2,602	-4,470	-4,810–-2,060	-6,530–2,060		
Rot _{апекс} , °	1-й (n = 52)	8,769 ± 7,559	7,05	3,950–11,520	0,340–41,770	P = 0,0000	P ₁₋₄ = 0,000
	2-й (n = 15)	8,639 ± 4,894	7,905	5,155–11,260	2,580–21,000		P ₂₋₄ = 0,000
	3-й (n = 10)	6,480 ± 4,327	6,105	2,580–9,110	1,380–14,090		P ₃₋₄ = 0,000
	4-й (n = 9)	-4,839 ± 5,907	-2,580	-5,160–-1,890	-19,660–0,340		
Twist, °	1-й (n = 52)	13,677 ± 9,564	11,51	9,110–15,810	-6,540–54,660	P = 0,0000	P ₁₋₂ = 0,000
	2-й (n = 15)	3,240 ± 5,846	1,89	-0,350–7,560	-9,960–13,090		P ₁₋₃ = 0,000
	3-й (n = 10)	-0,034 ± 6,922	0,775	-2,920–4,640	-11,860–11,000		P ₁₋₄ = 0,000
	4-й (n = 9)	-4,687 ± 6,116	-5,330	-8,770–1,200	-15,190–2,060		P ₂₋₄ = 0,013

Примечание: уровень значимости (P) представлен только при наличии достоверных различий.

1-й тип скручивания (назван нами “взрослый”, так как он наблюдается в норме у практически здоровых лиц старше 18 лет [9]) встречался у 52 (60,5%) здоровых детей и подростков в возрасте от 2 мес до 18 лет. Для этого типа скручивания было характерно разнонаправленное вращение базальных и верхушечных сегментов ЛЖ, то есть ротация на уровне базальных сегментов была направлена по часовой стрелке, а ротация на уровне верхушки – против часовой стрелки (рис. 4).

2-й тип – однонаправленное вращение ЛЖ против часовой стрелки на уровне базальных сегментов, папиллярных мышц и верхушки (рис. 5). Данный тип скручивания ЛЖ мы назвали “детским”, поскольку ранее этот вариант скручивания был описан Y. Notomi et al. у детей [5]. Этот тип скручивания ЛЖ был зарегистрирован у 15 (17,4%) из 86 детей и, вероятно, обусловлен следствием незрелости фиброзного кольца и фиброзных треугольников митрального клапана и фиброзного кольца аортального клапана.

Для 3-го типа было характерно однонаправленное вращение ЛЖ против часовой стрелки на уровне базальных и верхушечных сегментов, а на уровне папиллярных мышц – по часовой стрелке (рис. 6). Данный вариант скручивания ЛЖ был обнаружен у 10 (11,6%) из 86 детей.

4-й тип, выявленный в 9 (10,5%) из 86 случаев, характеризовался движением ЛЖ на уровне апикальных сегментов и папиллярных мышц по часовой стрелке, а на уровне базальных сегментов в 4 случаях – по часовой (рис. 7), а в 5 – против часовой стрелки. Этот вариант скручивания был выявлен только у одного из 9 детей в возрасте до 12 мес.

Следует отметить, что в выделенных вариантах скручивания ЛЖ не было выявлено значимых различий по половому соотношению (табл. 4). Не было обнаружено значимых различий в частоте встречаемости типов скручивания ЛЖ и в зависимости от возраста (табл. 5).

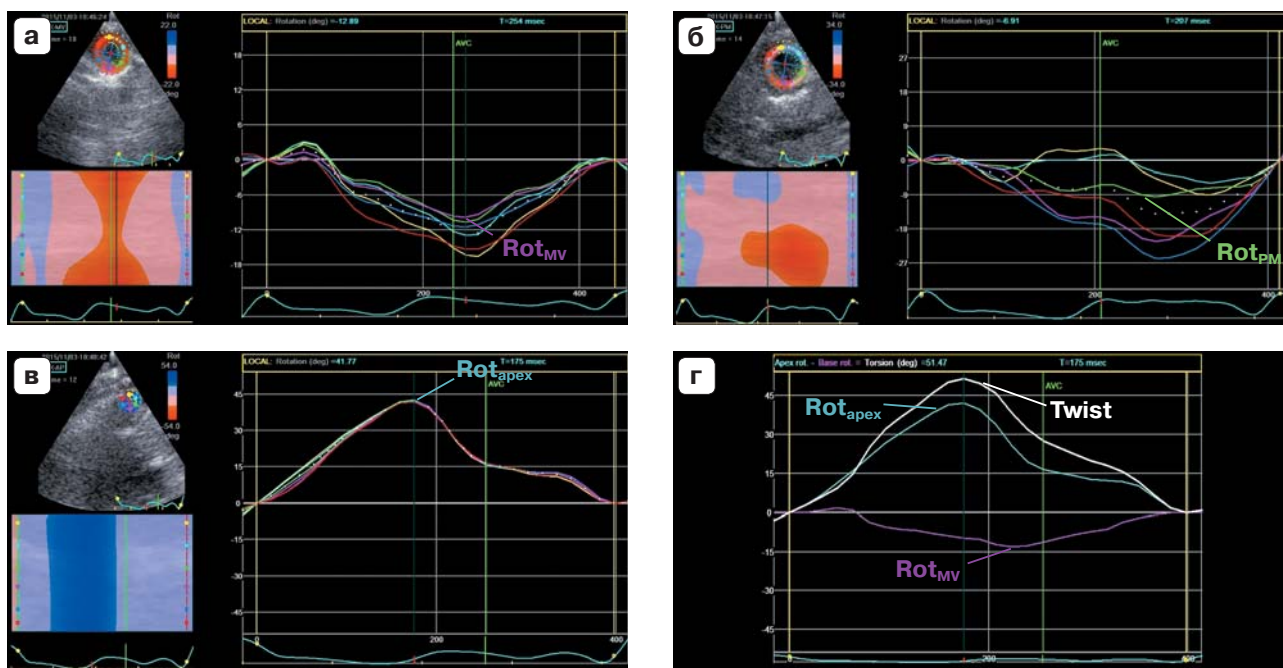


Рис. 4. Ребенок Р., 3 мес. Изображение ЛЖ по короткой оси на уровне базальных сегментов (а), папиллярных мышц (б) и верхушечных сегментов (в) с использованием технологии *speckle tracking*. Кривые ротации ЛЖ на уровне базальных сегментов, папиллярных мышц и верхушечных сегментов соответственно. Кривые ротации ЛЖ на уровне базальных сегментов направлены вниз от изолинии и имеют отрицательное значение, верхушки – вверх от изолинии и имеют положительное значение. 1-й тип скручивания (“взрослый”) (г).

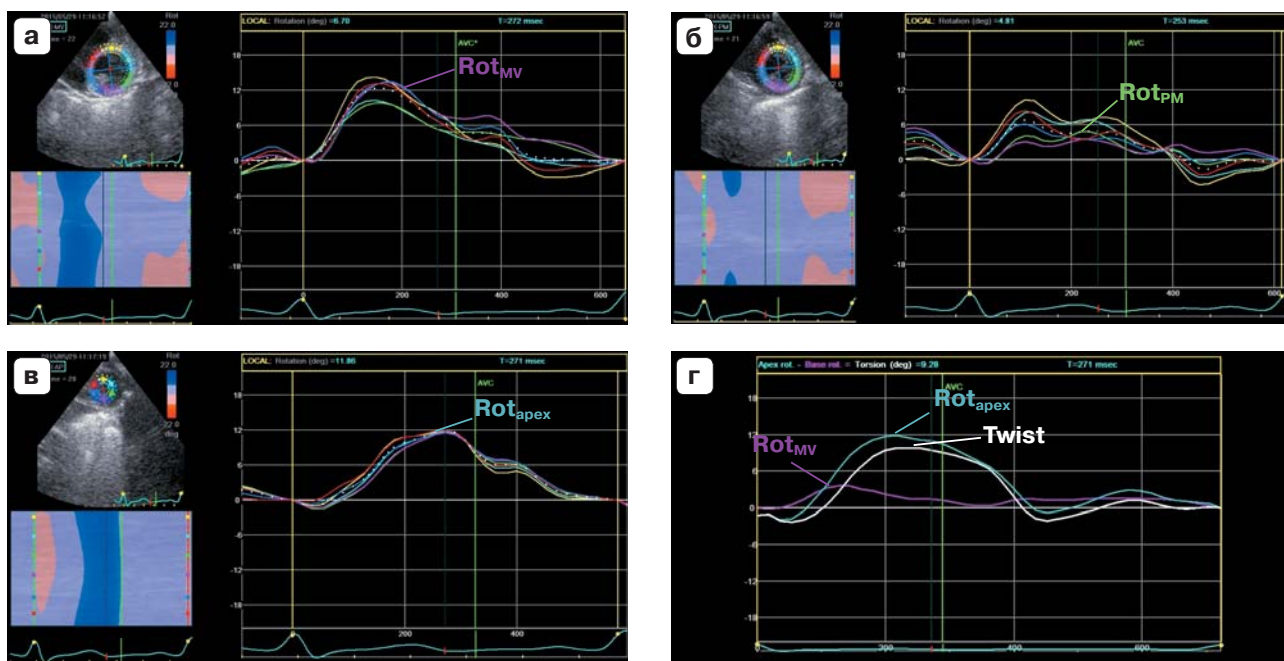


Рис. 5. Ребенок Я., 5 лет. Изображение ЛЖ по короткой оси на уровне базальных сегментов (а), папиллярных мышц (б) и верхушечных сегментов (в) с использованием технологии *speckle tracking*. Кривые ротации ЛЖ на уровне базальных сегментов, папиллярных мышц и верхушечных сегментов направлены вверх от изолинии и имеют положительные значения. 2-й тип скручивания (“детский”) (г).

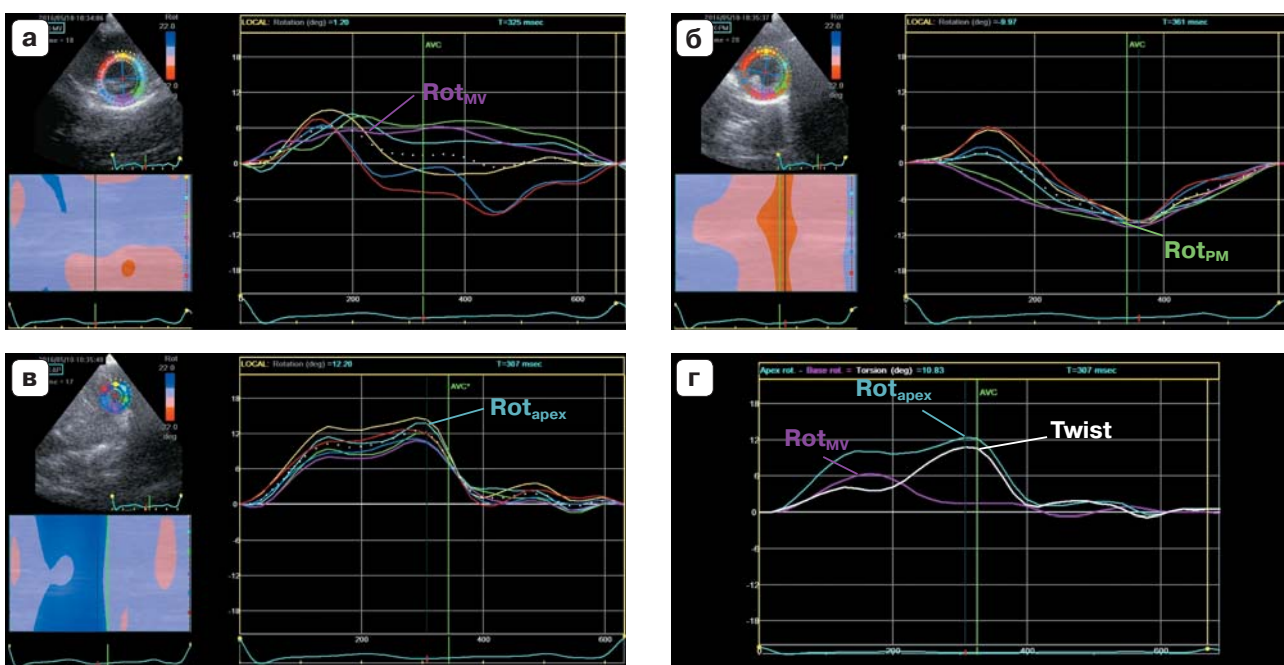


Рис. 6. Ребенок Б., 5 лет. Изображение ЛЖ по короткой оси на уровне базальных сегментов (а), папиллярных мышц (б) и верхушечных сегментов (в) с использованием технологии *speckle tracking*. Кривые ротации ЛЖ на уровне базальных и верхушечных сегментов направлены вверх от изолинии и имеют положительные значения, кривые ротации ЛЖ на уровне папиллярных мышц направлены вниз от изолинии и имеют отрицательное значение. 3-й тип скручивания (г).

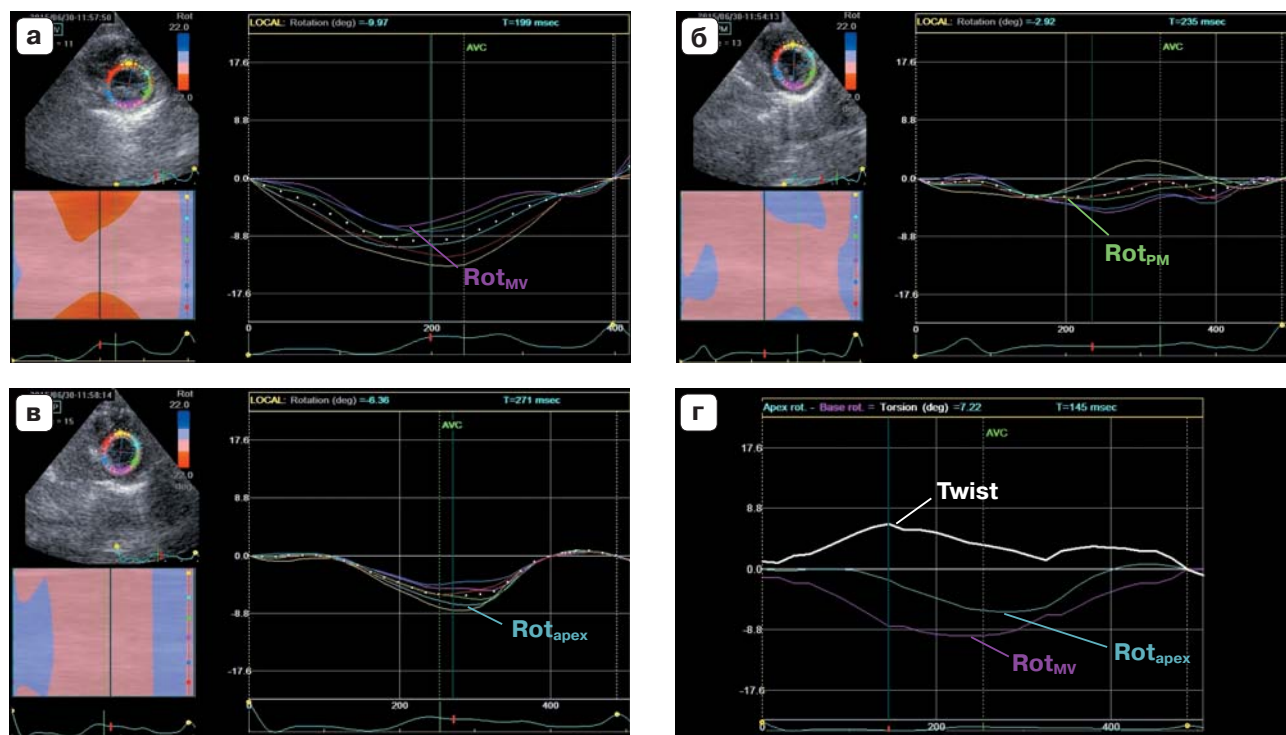


Рис. 7. Ребенок Т., 1 года. Изображение ЛЖ по короткой оси на уровне базальных сегментов (а), папиллярных мышц (б) и верхушечных сегментов (в) с использованием технологии *speckle tracking*. Кривые ротации ЛЖ на уровне базальных сегментов, папиллярных мышц и верхушечных сегментов направлены вниз от изолинии и имеют отрицательные значения. 4-й тип скручивания (г).

Таблица 4. Частота типов скручивания ЛЖ в зависимости от пола (n = 86)

Пол	Типы скручивания			
	1-й (n = 52)	2-й (n = 15)	3-й (n = 10)	4-й (n = 9)
Мальчики	26 (50,0%)	11 (73,3%)	6 (60,0%)	5 (56,6%)
Девочки	26 (50,0%)	4 (26,7%)	4 (40,0%)	4 (44,4%)

Таблица 5. Частота типов скручивания ЛЖ в зависимости от возраста (n = 86)

Типы скручивания	Первая подгруппа (от 2 мес до 3 лет) (n = 25)	Вторая подгруппа (от 3 до 6 лет) (n = 16)	Третья подгруппа (от 6 до 11 лет) (n = 22)	Четвертая подгруппа (от 11 до 18 лет) (n = 23)
1-й (n = 52)	16 (64,0%)	12 (75,0%)	9 (40,9%)	15 (65,2%)
2-й (n = 15)	3 (12,0%)	1 (6,3%)	7 (31,8%)	4 (17,4%)
3-й (n = 10)	4 (16,0%)	2 (12,5%)	3 (13,6%)	1 (4,4%)
4-й (n = 9)	2 (8,0%)	1 (6,3%)	3 (13,6%)	3 (13,0%)

ОБСУЖДЕНИЕ

Спиральная ориентация миофибрилл ЛЖ является структурной основой вращательного движения, при котором движение верхушки направлено против часовой стрелки, а на уровне базальных сегментов – по часовой стрелке [20–22]. Ротация верхушки по отношению к основанию приводит к скручиванию ЛЖ [9]. Доказано, что скручивание ЛЖ не зависит от пред- и постнагрузки [11, 23–25], а апикальная ротация ЛЖ является эффективным неинвазивным индексом глобальной контрактильности ЛЖ [14]. Разнонаправленное вращение верхушки и базальных отделов ЛЖ является необходимым компонентом эффективной насосной функции, утрата которой может свидетельствовать о тяжелой систолической дисфункции, наблюдаемой при дилатационной и ишемической кардиомиопатии [26–28], у пациентов с компактным миокардом [29, 30], при полной блокаде левой ножки пучка Гиса [31, 32].

Выявленные варианты скручивания ЛЖ связаны, с нашей точки зрения, с процессами роста и развития сердца у здоровых детей и подростков. Выявленный 2-й тип (однонаправленное движение против часовой стрелки базальных, апикальных сегментов и на уровне папиллярных мышц) ранее был описан в литературе [4, 5, 33]. Мы предполагаем, что данный вариант скручивания есть следствие незавершенного процесса формирования фиброзных колец и центрального фиброзного тела, которые не являются достаточным каркасом прикрепления пучков миокарда ЛЖ [34]. Вследствие того что апикальная ротация доминирует над базальной и над уровнем папиллярных мышц, мы наблюдали данный вариант скручивания.

Обращает на себя внимание 4-й тип скручивания. При дилатации ЛЖ и тяжелой систолической дисфункции отрицательную апикальную ротацию можно объяснить увеличением угла между субэпикардальным и субэндокардиальным слоями, более выраженными морфологическими изменениями мышечных волокон в субэпикардальном слое и потерей “винтовой структуры миофибрилл” [16]. Это и приводит к резкому снижению ротации верхушки, вплоть до ее потери. Учитывая тот факт, что ротация ЛЖ на уровне базальных сег-

ментов хотя и снижена, но сохраняет свое направление, верхушка ЛЖ в этих случаях подвергается пассивному движению за движением базальных сегментов. Однако данным фактом нельзя объяснить наличие движения верхушки по часовой стрелке у здоровых детей.

Механизм феномена аномального движения верхушки по часовой стрелке у здоровых детей не совсем ясен. По мнению Н.Ж. Kim et al. [35], движение верхушки по часовой стрелке, вероятно, обусловлено особенностью электрической активации эндокардиального и эпикардиального слоев ЛЖ, в результате которой происходит преждевременное укорочение волокон эндокардиального слоя, относящихся к правосторонней спирали, и растяжением эпикардиальных волокон, относящихся к левосторонней спирали. В данной статье мы не можем дать ясного объяснения механизма 3-го и 4-го типов скручивания ЛЖ, поскольку необходимы проспективное наблюдение за детьми, имевшими эти типы скручивания, и исследования генетических мутаций на носительство кардиомиопатий, болезней накопления.

Следует отметить, что отсутствие скручивания ЛЖ описано у 3,5% детей, проживающих в странах Юго-Восточной Азии [35]. Согласно публикации Н.Ж. Kim et al. [35], у 34 (42,5%) из 80 здоровых детей движение верхушки было направлено по часовой стрелке. Данный факт отрицательной апикальной ротации, описанный авторами, согласуется с результатами нашего исследования, поскольку у 9 (10,5%) детей нами было выявлено движение верхушки по часовой стрелке.

Интересна публикация С.С. Kim et al. [3], которые при сравнении детей дошкольного возраста (от 2 до 6 лет; n = 20) с детьми школьного возраста (от 7 до 12 лет; n = 20) не получили различий в величине апикальной, базальной ротации и поворота по оси ЛЖ.

L. Zhang et al. [2] не обнаружили значимых корреляционных связей апикальной ротации и скручивания ЛЖ с возрастом, весом, ростом и ЧСС у здоровых детей с момента рождения до 18 лет.

Таким образом, у здоровых детей и подростков, рожденных доношенными, выяв-

лено четыре типа скручивания ЛЖ: 1-й тип (“взрослый”) встречается в 60,5% случаев, 2-й тип (“детский”) (однонаправленное вращение ЛЖ против часовой стрелки) – у 17,4% детей, 3-й тип (однонаправленное вращение на уровне базальных и верхушечных сегментов против часовой стрелки, на уровне папиллярных мышц – по часовой) – у 11,6% детей, 4-й тип (движение по часовой стрелке на уровне верхушечных сегментов и папиллярных мышц) – у 10,5% детей. Не было обнаружено значимых различий в частоте встречаемости типов скручивания ЛЖ в зависимости от возраста и пола пациентов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Kaku K., Takeuchi M., Tsang W., Yasukochi S., Patel A.R., Mor-Avi V., Lang R.M., Otsuji Y. Age-related normal range of left ventricular strain and torsion using three-dimensional speckle-tracking echocardiography // *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2014. V. 27. No. 1. P. 55–64.
- Zhang L., Zhang J., Han W., Gao J., He L., Yang Y., Yin P., Xie M., Ge S. Three dimensional relation, twist and torsion analyses using real-time 3D speckle tracking imaging: feasibility, reproducibility, and normal ranges in pediatric population // *PLOS ONE*. July 18, 2016. Режим доступа: // <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0158679>, свободный. Загл. с экрана. 20.12.2016.
- Kim C.S., Park S., Eun L.Y. Myocardial rotation and torsion in child growth // *J. Cardiovasc. Ultrasound*. 2016. V. 24. No. 3. P. 223–228.
- 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.
- Notomi Y., Srinath G., Shiota T., Martin-Miklovic M.G., Beachler L., Oryszak S.J., Deserranno D.G., Freed A.D., Greenberg N.L., 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.
- Axel L., Dougherty L. MR imaging of motion with spatial modulation of magnetization // *Radiology*. 1989. V. 171. No. 3. P. 841–845.
- Sandstede J.J.W., Johnson T., Harre K., Beer M., Hofmann S., Pabst T., Hess O.M. Cardiac systolic rotation and contraction before and after valve replacement for aortic stenosis: a myocardial tagging study using MR imaging // *Am. J. Roentgenol.* 2002. V. 178. No. 3. P. 953–958.
- Buchalter M.B., Weiss J.L., Rogers W.J., Zerhouni E.A., Weisfeldt M.L., Beyar R., Shapiro E.P. Noninvasive quantification of left ventricular rotational deformation in normal humans using magnetic resonance imaging myocardial tagging // *Circulation*. 1990. V. 81. No. 4. P. 1236–1244.
- Helle-Valle T., Crosby J., Edvardsen T., Lyseggen E., Amundsen B.H., Smith H.J., Rosen B.D., Lima J.A., Torp H., Ihlen H., Smiseth O.A. New noninvasive method for assessment of left ventricular rotation: speckle tracking echocardiography // *Circulation*. 2005. V. 112. No. 20. P. 3149–3156.
- Notomi Y., Lysyansky P., Setser R.M., Shiota T., Popovic Z.B., Martin-Miklovic M.G., Weaver J.A., Oryszak S.J., Greenberg N.L., White R.D., Thomas J.D. Measurement of ventricular torsion by two-dimensional ultrasound speckle tracking imaging // *J. Am. Coll. Cardiol.* 2005. V. 45. No. 12. P. 2034–2041.
- Sengupta P.P., Tajik A.J., Chandrasekaran K., Khandheria B.K. Twist mechanics of the left ventricle: principles and application // *JACC. Cardiovasc. Imaging*. 2008. V. 1. No. 3. P. 366–376.
- Park S.J., Miyazaki C., Bruce C.J., Ommen S., Miller F.A., Oh J.K. Left ventricular torsion by two-dimensional speckle tracking echocardiography in patients with diastolic dysfunction and normal ejection fraction // *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2008. V. 21. No. 10. P. 1129–1137.
- Boissiere J., Maufrais C., Baquet G., Schuster I., Dautat M., Doucende G., Obert P., Berthoin S., Nottin S. Specific left ventricular twist-untwist mechanics during exercise in children // *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2013. V. 26. No. 11. P. 1298–1305.
- Kim W.J., Lee B.H., Kim Y.J., Kang J.H., Jung Y.J., Song J.M., Kang D.H., Song J.K. Apical rotation assessed by speckle-tracking echocardiography as an index of global left ventricular contractility // *Circ. Cardiovasc. Imaging*. 2009. V. 2. No. 2. P. 123–131.
- Marcelli E., Plicchi G., Cercenelli L., Bortolami F. First experimental evaluation of cardiac apex rotation with an epicardial coriolis force sensor // *ASAIO J.* 2005. V. 51. No. 6. P. 696–701.
- Seo J.S., Kim D.H., Kim W.J., Song J.M., Kang D.H., Song J.K. Peak systolic velocity of mitral annular longitudinal movement measured by pulsed tissue Doppler imaging as an index of global left ventricular contractility // *Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol.* 2010. V. 298. No. 5. P. H1608–H1615.
- Forsey J., Benson L., Rozenblyum E. Early changes in apical rotation in genotype positive children with hypertrophic cardiomyopathy mutations without hypertrophic changes on two-dimensional imaging // *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2014. V. 27. No. 2. P. 215–221.
- Lai W.W., Geva T., Shirali G.S., Frommelt P.C., Humes R.A., Brook M.M., Pignatelli R.H., Rychik J.; Task Force of the Pediatric Council of the American Society of Echocardiography; Pediatric Council of the American Society of Echocardiography. Guidelines and standards for performance of a pediatric echocardiogram: a report from the Task Force of the Pediatric Council of the American Society of Echocardiography // *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2006. V. 19. No. 12. P. 1413–1430.
- 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 // *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2015. V. 28. No. 1. P. 1–39.
20. Henson R.E., Song S.K., Pastorek J.S., Ackerman J.J., Lorenz C.H. Left ventricular torsion is equal in mice and humans // *Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol.* 2000. V. 278. No. 4. P. H1117–H1123.
21. Opdahl A., Helle-Valle T., Remme E.W., Vartdal T., Pettersen E., Lunde K., Edvardsen T., Smiseth O.A. Apical rotation by speckle tracking echocardiography: a simplified bedside index of left ventricular twist // *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2008. V. 21. No. 10. P. 1121–1128.
22. Torrent-Guasp F., Buckberg G.D., Clemente C., Cox J.L., Coghlan H.C., Gharib M. The structure and function of the helical heart and its buttress wrapping. I. The normal macroscopic structure of the heart // *Semin. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 2001. V. 13. No. 4. P. 301–319.
23. Beladan C.C., Calin A., Rosca M., Gingham C., Popescu B.A. Left ventricular twist dynamics: principles and applications // *Heart.* 2014. V. 100. No. 9. P. 731–740.
24. A'roch R., Gustafsson U., Poelaert J., Johansson G., Haney M. Left ventricular twist is load-dependent as shown in a large animal model with controlled cardiac load // *Cardiovasc. Ultrasound.* 2012. V. 25. Doi: 10.1186/1476-7120-10-26.
25. Gibbons Kroeker C.A., Tyberg J.V., Beyar R. Effects of load manipulations, heart rate, and contractility on left ventricular apical rotation. An experimental study in anesthetized dogs // *Circulation.* 1995. V. 92. No. 1. P. 130–141.
26. Павлюкова Е.Н., Трубина Е.В., Карпов Р.С. Ротация, скручивание и поворот по оси левого желудочка у больных ишемической и дилатационной кардиомиопатией // *Ультразвуковая и функциональная диагностика.* 2013. № 1. С. 44–53.
27. Toumanidis S.T., Kaladaridou A., Bramos D., Skaltsiotis E., Agrios J.N., Vasiladiotis N., Pamboucas C., Kottis G., Mouloupoulos S.D. Apical rotation as an early indicator of left ventricular systolic dysfunction in acute anterior myocardial infarction: experimental study // *Hellenic J. Cardiol.* 2013. V. 54. No. 4. P. 264–272.
28. Jin S.M., Noh C.I., Bae E.J., Choi J.Y., Yun Y.S. Decreased left ventricular torsion and untwisting in children with dilated cardiomyopathy // *J. Korean Med. Sci.* 2007. V. 22. No. 4. P. 633–640.
29. Van Dalen B.M., Caliskan K., Soliman O.I., Kauer F., van der Zwaan H.B., Vletter W.B., van Vark L.C., Ten Cate F.J., Geleijnse M.L. Diagnostic value of rigid body rotation in non-compaction cardiomyopathy // *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2011. V. 24. No. 5. P. 548–555.
30. Udink ten Cate F.E., Schmidt B.E., Lagies R., Brockmeier K., Sreeram N. Reversed apical rotation and paradoxical increased left ventricular torsion in children with left ventricular non-compaction // *Int. J. Cardiol.* 2010. V. 145. No. 3. P. 558–559.
31. Павлюкова Е.Н., Кужель Д.А., Матюшин Г.В., Лыткина В.С. Блокада левой ножки пучка Гиса и скручивание левого желудочка при низкой фракции выброса // *Клиническая медицина.* 2015. Т. 93. № 11. С. 15–21.
32. Павлюкова Е.Н., Кужель Д.А., Матюшин Г.В., Веселкова Н.С., Авдеева О.В., Метелица В.С., Самохвалов Е.В., Савченко Е.А. Деформация миокарда и полная блокада левой ножки пучка Гиса // *Рациональная фармакотерапия в кардиологии.* 2012. Т. 8. № 6. С. 781–787.
33. Zhang Y., Zhou Q.C., Pu D.R., Zou L., Tan Y. Differences in left ventricular twist related to age: speckle tracking echocardiographic data for healthy volunteers from neonate to age 70 years // *Echocardiography.* 2010. V. 27. No. 10. P. 1205–1210.
34. Спирина Г.А. Некоторые особенности морфологии сердца плодов человека // *Международный журнал экспериментального образования.* 2010. № 7. С. 63–65.
35. Kim H.J., Yoon J.H., Lee E.J., Oh J.H., Lee J.Y., Lee S.J., Han J.W. Normal left ventricular torsion mechanics in healthy children: age related changes of torsion parameters are closely related to changes in heart rate // *Korean Circ. J.* 2015. V. 43. No. 2. P. 131–140.

REFERENCES

1. Kaku K., Takeuchi M., Tsang W., Yasukochi S., Patel A.R., Mor-Avi V., Lang R.M., Otsuji Y. Age-related normal range of left ventricular strain and torsion using three-dimensional speckle-tracking echocardiography // *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2014. V. 27. No. 1. P. 55–64.
2. Zhang L., Zhang J., Han W., Gao J., He L., Yang Y., Yin P., Xie M., Ge S. Three dimensional relation, twist and torsion analyses using real-time 3D speckle tracking imaging: feasibility, reproducibility, and normal ranges in pediatric population // *PLOS ONE.* July 18, 2016. Режим доступа: // <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0158679>, свободный. Загл. с экрана. 20.12.2016.
3. Kim C.S., Park S., Eun L.Y. Myocardial rotation and torsion in child growth // *J. Cardiovasc. Ultrasound.* 2016. V. 24. No. 3. P. 223–228.
4. 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.
5. Notomi Y., Srinath G., Shiota T., Martin-Miklovic M.G., Beachler L., Oryszak S.J., Deserranno D.G., Freed A.D., Greenberg N.L., 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.
6. Axel L., Dougherty L. MR imaging of motion with spatial modulation of magnetization // *Radiology.* 1989. V. 171. No. 3. P. 841–845.

7. Sandstede J.J.W., Johnson T., Harre K., Beer M., Hofmann S., Pabst T., Hess O.M. Cardiac systolic rotation and contraction before and after valve replacement for aortic stenosis: a myocardial tagging study using MR imaging // *Am. J. Roentgenol.* 2002. V. 178. No. 3. P. 953–958.
8. Buchalter M.B., Weiss J.L., Rogers W.J., Zerhouni E.A., Weisfeldt M.L., Beyar R., Shapiro E.P. Noninvasive quantification of left ventricular rotational deformation in normal humans using magnetic resonance imaging myocardial tagging // *Circulation.* 1990. V. 81. No. 4. P. 1236–1244.
9. Helle-Valle T., Crosby J., Edvardsen T., Lyseggen E., Amundsen B.H., Smith H.J., Rosen B.D., Lima J.A., Torp H., Ihlen H., Smiseth O.A. New noninvasive method for assessment of left ventricular rotation: speckle tracking echocardiography // *Circulation.* 2005. V. 112. No. 20. P. 3149–3156.
10. Notomi Y., Lysyansky P., Setser R.M., Shiota T., Popovic Z.B., Martin-Miklovic M.G., Weaver J.A., Oryszak S.J., Greenberg N.L., White R.D., Thomas J.D. Measurement of ventricular torsion by two-dimensional ultrasound speckle tracking imaging // *J. Am. Coll. Cardiol.* 2005. V. 45. No. 12. P. 2034–2041.
11. Sengupta P.P., Tajik A.J., Chandrasekaran K., Khandheria B.K. Twist mechanics of the left ventricle: principles and application // *JACC. Cardiovasc. Imaging.* 2008. V. 1. No. 3. P. 366–376.
12. Park S.J., Miyazaki C., Bruce C.J., Ommen S., Miller F.A., Oh J.K. Left ventricular torsion by two-dimensional speckle tracking echocardiography in patients with diastolic dysfunction and normal ejection fraction // *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2008. V. 21. No. 10. P. 1129–1137.
13. Boissiere J., Maufrais C., Baquet G., Schuster I., Dautzat M., Doucende G., Obert P., Berthoin S., Nottin S. Specific left ventricular twist-untwist mechanics during exercise in children // *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2013. V. 26. No. 11. P. 1298–1305.
14. Kim W.J., Lee B.H., Kim Y.J., Kang J.H., Jung Y.J., Song J.M., Kang D.H., Song J.K. Apical rotation assessed by speckle-tracking echocardiography as an index of global left ventricular contractility // *Circ. Cardiovasc. Imaging.* 2009. V. 2. No. 2. P. 123–131.
15. Marcelli E., Plicchi G., Cercenelli L., Bortolami F. First experimental evaluation of cardiac apex rotation with an epicardial coriolis force sensor // *ASAIO J.* 2005. V. 51. No. 6. P. 696–701.
16. Seo J.S., Kim D.H., Kim W.J., Song J.M., Kang D.H., Song J.K. Peak systolic velocity of mitral annular longitudinal movement measured by pulsed tissue Doppler imaging as an index of global left ventricular contractility // *Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol.* 2010. V. 298. No. 5. P. H1608–H1615.
17. Forsey J., Benson L., Rozenblyum E. Early changes in apical rotation in genotype positive children with hypertrophic cardiomyopathy mutations without hypertrophic changes on two-dimensional imaging // *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2014. V. 27. No. 2. P. 215–221.
18. Lai W.W., Geva T., Shirali G.S., Frommelt P.C., Humes R.A., Brook M.M., Pignatelli R.H., Rychik J.; Task Force of the Pediatric Council of the American Society of Echocardiography; Pediatric Council of the American Society of Echocardiography. Guidelines and standards for performance of a pediatric echocardiogram: a report from the Task Force of the Pediatric Council of the American Society of Echocardiography // *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2006. V. 19. No. 12. P. 1413–1430.
19. 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 // *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2015. V. 28. No. 1. P. 1–39.
20. Henson R.E., Song S.K., Pastorek J.S., Ackerman J.J., Lorenz C.H. Left ventricular torsion is equal in mice and humans // *Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol.* 2000. V. 278. No. 4. P. H1117–H1123.
21. Opdahl A., Helle-Valle T., Remme E.W., Vartdal T., Pettersen E., Lunde K., Edvardsen T., Smiseth O.A. Apical rotation by speckle tracking echocardiography: a simplified bedside index of left ventricular twist // *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2008. V. 21. No. 10. P. 1121–1128.
22. Torrent-Guasp F., Buckberg G.D., Clemente C., Cox J.L., Coghlan H.C., Gharib M. The structure and function of the helical heart and its buttress wrapping. I. The normal macroscopic structure of the heart // *Semin. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 2001. V. 13. No. 4. P. 301–319.
23. Beladan C.C., Calin A., Rosca M., Ghingina C., Popescu B.A. Left ventricular twist dynamics: principles and applications // *Heart.* 2014. V. 100. No. 9. P. 731–740.
24. A'roch R., Gustafsson U., Poelaert J., Johansson G., Haney M. Left ventricular twist is load-dependent as shown in a large animal model with controlled cardiac load // *Cardiovasc. Ultrasound.* 2012. V. 25. Doi: 10.1186/1476-7120-10-26.
25. Gibbons Kroeker C.A., Tyberg J.V., Beyar R. Effects of load manipulations, heart rate, and contractility on left ventricular apical rotation. An experimental study in anesthetized dogs // *Circulation.* 1995. V. 92. No. 1. P. 130–141.
26. Pavlyukova E.N., Trubina E.V., Karpov R.S. Left ventricle rotation, twist and torsion in patients with dilated and ischemic cardiomyopathy // *Ultrasound and Functional Diagnostics.* 2013. No. 1. P. 44–53. (Article in Russian)
27. Toumanidis S.T., Kaladaridou A., Bramos D., Skaltsiotis E., Agrios J.N., Vasiladiotis N., Pamboucas C., Kottis G., Mouloupoulos S.D. Apical rotation as an early indicator of left ventricular systolic dysfunction in acute anterior myocardial infarction: experimental study // *Hellenic J. Cardiol.* 2013. V. 54. No. 4. P. 264–272.

28. Jin S.M., Noh C.I., Bae E.J., Choi J.Y., Yun Y.S. Decreased left ventricular torsion and untwisting in children with dilated cardiomyopathy // *J. Korean Med. Sci.* 2007. V. 22. No. 4. P. 633–640.
29. Van Dalen B.M., Caliskan K., Soliman O.I., Kauer F., van der Zwaan H.B., Vletter W.B., van Vark L.C., Ten Cate F.J., Geleijnse M.L. Diagnostic value of rigid body rotation in noncompaction cardiomyopathy // *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2011. V. 24. No. 5. P. 548–555.
30. Udink ten Cate F.E., Schmidt B.E., Lagies R., Brockmeier K., Sreeram N. Reversed apical rotation and paradoxical increased left ventricular torsion in children with left ventricular non-compaction // *Int. J. Cardiol.* 2010. V. 145. No. 3. P. 558–559.
31. Pavlyukova E.N., Kuzhel D.A., Matyushin G.V., Lytkina V.S. Left His bundle branch block associated with left ventricular torsion and reduced ejection fraction // *Clinical Medicine (Klinicheskaya Meditsina)*. 2015. V. 93. No. 11. P. 15–21. (Article in Russian)
32. Pavlyukova E.N., Kuzhel D.A., Matyushin G.V., Veselkova N.S., Avdeeva O.V., Metelitsa V.S., Samokhvalov E.V., Savchenko E.A. Myocardial deformation and complete left bundle branch block // *Rational Pharmacotherapy in Cardiology*. 2012. V. 8. No. 6. P. 781–787. (Article in Russian)
33. Zhang Y., Zhou Q.C., Pu D.R., Zou L., Tan Y. Differences in left ventricular twist related to age: speckle tracking echocardiographic data for healthy volunteers from neonate to age 70 years // *Echocardiography*. 2010. V. 27. No. 10. P. 1205–1210.
34. Spirina G.A. Morphology of fetal human heart // *International journal of experimental education*. 2010. No. 7. P. 63–65. (Article in Russian)
35. Kim H.J., Yoon J.H., Lee E.J., Oh J.H., Lee J.Y., Lee S.J., Han J.W. Normal left ventricular torsion mechanics in healthy children: age related changes of torsion parameters are closely related to changes in heart rate // *Korean Circ. J.* 2015. V. 43. No. 2. P. 131–140.

Left ventricle rotation and twist in children and adolescents born full-term

E.N. Pavlyukova¹, M.V. Kolosova², A.I. Unasheva¹, R.S. Karpov¹

¹ Cardiology Research Institute, Tomsk

² Siberian State Medical University, Tomsk

E.N. Pavlyukova – M.D., Ph.D., Professor, Leading Researcher, Department of Atherosclerosis and Coronary Artery Disease, Cardiology Research Institute, Tomsk. M.V. Kolosova – M.D., Ph.D., Professor, Division of Pediatrics, Siberian State Medical University, Tomsk. A.I. Unasheva – M.D., Ph.D. fellow, Department of Atherosclerosis and Coronary Artery Disease, Cardiology Research Institute, Tomsk. R.S. Karpov – M.D., Ph.D., Professor, Academician, Russian Academy of Sciences; Chief Researcher, Cardiology Research Institute, Tomsk.

The aim of the study was to evaluate rotation at level of basal and apical segments, papillary muscles and twisting of left ventricle in healthy children and adolescents born full-term. 86 healthy children aged from 2 months up to 18 years old born full-term were included in to the study. None of children had any respiratory tract infection within last 6 months. Individual analysis of left ventricle rotation at level of basal, apical segments, and papillary muscles revealed four types of left ventricle twist. The 1st type (“adult type”) was diagnosed in 52 (60.5%) healthy children and adolescents aged from 2 months up to 18 years old. This type of twist was characterized by multidirectional rotation of left ventricle basal and apical segments. It was clockwise at level of basal segments and counterclockwise at level of apex. The 2nd type (“children type”) was characterized by unidirectional counterclockwise rotation at level of basal segments, papillary muscles, and apex. This type of twist was diagnosed in 15 (17.4%) children. The 3rd type was characterized by unidirectional counterclockwise rotation at level of basal and apical segments and clockwise at level of papillary muscles. This type of left ventricle twist was revealed in 10 (11.6%) healthy children. The 4th type revealed in 9 (10.5%) cases was characterized by left ventricle clockwise motion at level of apical segments and papillary muscles, clockwise motion at level of basal segments in 4 cases, counterclockwise motion at level of basal segments in 5 cases. There were not any significant differences in prevalence of left ventricle twist depending on gender and age.

Key words: echocardiography, speckle tracking, left ventricle, basal segments, apical segments, papillary muscles, rotation, twist, children and adolescents.