

Раскручивание левого желудочка у детей и подростков, рожденных доношенными

Павлюкова Е.Н.¹, Колосова М.В.², Унашева А.И.¹, Карпов Р.С.¹

¹ Научно-исследовательский институт (НИИ) кардиологии, Томский национальный исследовательский медицинский центр (ТНИМЦ) Российской академии наук (РАН)
Россия, 634012, г. Томск, ул. Киевская, 111а

² Сибирский государственный медицинский университет (СибГМУ)
Россия, 634050, г. Томск, Московский тракт, 2

РЕЗЮМЕ

Цель исследования. Изучение раскручивания левого желудочка (ЛЖ) у здоровых детей и подростков, рожденных доношенными.

Материалы и методы. Анализ выполнен у 108 здоровых детей в возрасте от 2 мес до 18 лет, рожденных доношенными. Раскручивание и twist ЛЖ оценено с помощью технологии «след пятна» Speckle Tracking Imaging-2D Strain на основе оценки скорости ротации ЛЖ в период ранней диастолы на уровне базальных и апикальных сегментов ($RotR_{MV}$, $RotR_{apex}$).

Результаты. Выделено четыре типа раскручивания ЛЖ у здоровых доношенных детей и подростков в возрасте от 2 мес до 18 лет. При первом типе скручивания ЛЖ значения раскручивания выше по сравнению со вторым, третьим и четвертым типами скручивания у здоровых детей и подростков, рожденных доношенными. Не установлено зависимости раскручивания от возраста, индекса сферичности и массы миокарда ЛЖ у здоровых детей и подростков, рожденных доношенными. Выявлена взаимосвязь величины раскручивания ЛЖ с ротацией ЛЖ в систолу на уровне базальных, апикальных сегментов.

Заключение. Описанные особенности раскручивания ЛЖ, по-видимому, связаны с процессами постнатального роста и созревания тканей сердца у детей и подростков.

Ключевые слова: здоровые доношенные дети и подростки, механика левого желудочка, Speckle Tracking Imaging-2D Strain.

ВВЕДЕНИЕ

Расположение мышечных волокон миокарда по спирали обуславливает ротационное движение левого желудочка (ЛЖ), благодаря чему вращение базальных сегментов направлено по часовой стрелке, а верхушечных – против часовой стрелки [1–3]. Противоположно направленное движение верхушечных и базальных сегментов в систолу приводит к скручиванию ЛЖ. Доказано, что скручивание и вращение верхушечных сегментов против часовой стрелки в систолу обеспечивают

выброс ЛЖ [4–7], а в диастолу – раскручивание, движение верхушки по часовой стрелке – снижение давления в полости и «всасывание» крови ЛЖ [8–10]. Не вызывает сомнения тот факт, что апикальное вращение в систолу и скручивание ЛЖ определяют глобальную систолическую функцию ЛЖ [11]. Установлена зависимость апикальной ротации и скручивания ЛЖ с возрастом [12–15], поэтому высказано мнение о том, что у детей и подростков по значениям показателей апикальной ротации и скручивания ЛЖ можно диагностировать ранние проявления субклинической систолической и диастолической дисфункции ЛЖ [16].

✉ Павлюкова Елена Николаевна, e-mail: pavluk@cardio-tomsk.ru, pavlyukovaelena@yandex.ru.

Согласно данным литературы, вращение верхушечных сегментов может быть направлено как против, так и по часовой стрелке [15–17]. У здоровых детей в процессе роста и развития как направление вращения базальных, верхушечных сегментов, так и их значения отличаются от величин базальной, апикальной ротации у взрослых здоровых лиц соответственно, и скручивание ЛЖ у здоровых детей будет отличаться от скручивания ЛЖ у здоровых взрослых лиц [10, 18–21]. Вращение базальных сегментов ЛЖ у детей и подростков может быть направлено как против [21, 22], так и по часовой стрелке [7, 16, 23]. Основываясь на направлении ротации ЛЖ на уровне базальных, верхушечных сегментов и папиллярных мышц (ПМ) у здоровых доношенных детей (с периода грудного возраста) и подростков (до периода совершеннолетия), выявлено несколько вариантов скручивания ЛЖ. Последние условно названы нами как первый («взрослый»), второй, третий («детский») и четвертый (направление вращения верхушки по часовой стрелке) типы, встречающиеся в различных возрастных группах у девочек (девушек) и мальчиков (юношей) [24]. Раскручивание ЛЖ у детей и подростков остается недостаточно хорошо изученным вопросом. Известно, что во время изоволюмического расслабления снижение давления в полости и раскручивание ЛЖ обуславливают всасывание и заполнение кровью полости ЛЖ [25]. В эксперименте выявлена зависимость раскручивания с релаксацией ЛЖ [26]. Установлено снижение значений раскручивания ЛЖ у взрослых пациентов с возрастом [27], при аортальном стенозе [28–30], диастолической дисфункции [31], снижении фракции выброса ЛЖ [6], гипертрофической кардиомиопатии [4] и у носителей мутации генов гипертрофической кардиомиопатии [32]. Тем не менее в литературе отсутствуют сведения, касающиеся зависимости раскручивания ЛЖ от геометрии полости, типа скручивания ЛЖ, массы миокарда у здоровых детей и подростков.

Цель данного исследования – изучить раскручивание ЛЖ в зависимости от типа скручивания у здоровых детей и подростков, рожденных доношенными, в возрасте от 2 мес до 18 лет.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследование, которое проводилось с октября 2013 по март 2017 г., были включены 108 здоровых детей в возрасте от 2 мес до 18 лет, рожденных доношенными, которые относились к группам здоровья I–II (Приказ Министер-

ства здравоохранения Российской Федерации от 30.12.2003 года № 621 «О комплексной оценке здоровья детей»). К моменту включения в исследование ни один ребенок и подросток не переносил острого респираторного вирусного заболевания за последние 6 мес. С учетом возраста дети были разделены на следующие подгруппы: от 2 мес до 3 лет (включительно), 3–6 лет (включительно), 6–11 лет (включительно) и старше 11 лет (до 18 лет). В табл. 1 приведены показатели частоты сердечных сокращений (ЧСС) и эхокардиографии (ЭхоКГ) в зависимости от возраста детей и подростков. Критериями исключения являлись: любая степень недоношенности; отклонения в физическом развитии (опережение или отставание, согласно центильным таблицам, в соответствии с возрастом); нарушения ритма сердца, изменения комплекса QRSЭКГ, открытое овальное окно и открытый артериальный проток.

ЭхоКГ с одновременной регистрацией ЭКГ и технология «след пятна» Speckle Tracking Imaging-2D Strain проведены на ультразвуковой системе Vivid E9 (GE Healthcare, США) с использованием матричного датчика M55 (1,5–4,6 МГц). ЭхоКГ выполнена из парастернальной (по короткой оси ЛЖ на уровнях базальных и верхушечных сегментов и ПМ) и из апикальной (на уровне по длинной оси ЛЖ, 4- и 2-й камер) позиций. Конечный диастолический (КДО) и конечный систолический (КСО) объемы, фракция выброса ЛЖ вычислялись по Simpson из апикальной позиции на уровне 4- и 2-й камер [33]. Индекс сферичности ЛЖ в конце систолы и диастолы определяли по отношению поперечника к длиннику ЛЖ [33]. Массу миокарда ЛЖ (ММЛЖ) рассчитывали на основании значений толщины межжелудочковой перегородки, задней стенки в диастолу и конечного диастолического размера в M-режиме [33]. Показатель отношения пиков трансмитрального потока (E_{mitr}/A_{mitr}) оценивали как отношение скоростей пиков E_{mitr} и A_{mitr} в режиме импульсной доплерографии [33]. Значение показателя E_{mitr}/E_m вычислялось на основании скорости движения фиброзного кольца митрального клапана на стороне боковой стенки ЛЖ в период ранней диастолы (E_m) по спектру тканевой импульсной доплерографии [33].

Механика ЛЖ исследована с использованием программы Echopac PC, версия 113.1 (GE Healthcare, США) на основе технологии «след пятна» Speckle Tracking Imaging-2D Strain. Серошкальные изображения ЛЖ, зарегистрированные из парастернальной позиции по короткой

оси (при частоте кадров 60/с и более) в количестве трех циклов на уровне базальных, верхушечных сегментов и папиллярных мышц автоматически замораживались в конце систолы, затем проводилось оконтуривание границ эндокарда с последующим получением изогнутого М-режима, кривых вращения и скоростей вращения. По кривым, полученным из парастеральной позиции по короткой оси ЛЖ (рис. 1), рассчитывали вращение ЛЖ (ротацию – Rot , °) и скорость вращения (скорость ротации $RotR$, °/с⁻¹) на

уровне базальных (Rot_{MV} ; $RotR_{MV}$), верхушечных (Rot_{apex} ; $RotR_{apex}$) сегментов и ПМ (Rot_{PM} ; $RotR_{PM}$) в конце систолы и период раннего наполнения ЛЖ (на уровне базальных – $RotR_{MV}E$, верхушечных сегментов – $RotR_{apex}E$ и ПМ – $RotR_{PM}E$ соответственно) [34–36]. Раскручивание $untwist$ ЛЖ вычисляли как разность скоростей вращения ЛЖ в период раннего наполнения на уровне верхушечных ($RotR_{apex}E$) и базальных сегментов ($RotR_{MV}E$) либо автоматически по кривым (рис. 2).

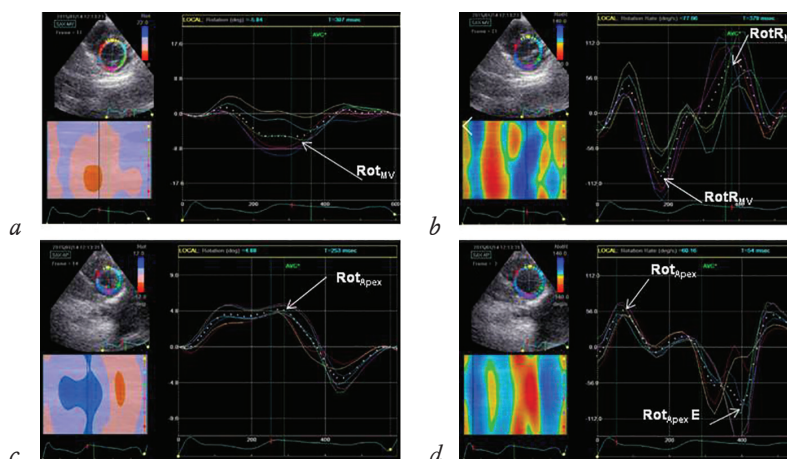


Рис. 1. Эхокардиограмма из парастеральной позиции по короткой оси ЛЖ на уровне базальных и верхушечных сегментов ребенка К., 4 лет. Технология «след пятна» (Speckle Tracking Imaging): *a* – ротация левого желудочка на уровне базальных сегментов (Rot_{MV}); *b* – скорость ротации левого желудочка на уровне базальных сегментов ($RotR_{MV}$); *c* – ротация ЛЖ на уровне верхушечных сегментов (Rot_{apex}); *d* – скорость ротации левого желудочка на уровне верхушечных сегментов ($RotR_{apex}$). Кривые ротации (Rot) и скорости ротации ($RotR$) ЛЖ – белый цвет

Fig. 1. Echocardiogram from the parasternal position along the short axis of the LV at the level of the basal and apical segments of a four-year old child K. Speckle Tracking Imaging technology: *a* – rotation of the left ventricle at the level of the basal segments (Rot_{MV}); *b* – the rate of rotation of the left ventricle at the level of the basal segments ($RotR_{MV}$); *c* – rotation of the left ventricle at the level of the apical segments (Rot_{apex}); *d* – the rate of rotation of the left ventricle at the level of the apical segments ($RotR_{apex}$). Rotation curves (Rot) and rotation speeds ($RotR$) LV – white color

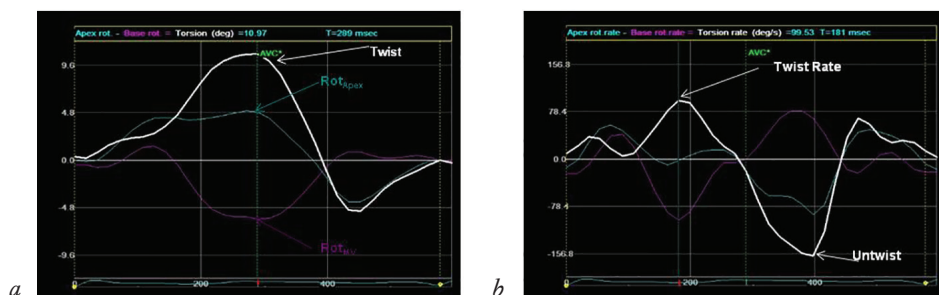


Рис. 2. Кривые ротации левого желудочка на уровне базальных (Rot_{MV}), верхушечных сегментов (Rot_{apex}) и скручивание ($twist$) ЛЖ (*a*), скорости ротации на уровне базальных ($RotR_{MV}$) и верхушечных сегментов ($RotR_{apex}$) и раскручивания ($untwist$) ЛЖ (*b*). Кривые скручивания и раскручивания ЛЖ представлены белой линией, ротации и скорости ротации на уровне базальных сегментов – голубой, ротации и скорости ротации апикальных сегментов – розовой линией

Fig. 2. Curves of rotation of the left ventricle at the level of the basal (Rot_{MV}), apical segments (Rot_{apex}) and twist ($twist$) of the LV (*a*), rotational speed at the level of the basal ($RotR_{MV}$) and apical segments ($RotR_{apex}$) and unwinding ($untwist$) of the LV (*b*). Curves of LV twisting and unwinding are represented by a white line, rotation and rotational speeds at the level of the basal segments – a blue line, rotation and rotational speeds of the apical segments – a pink line

Показатели ЭхоКГ и ЧСС здоровых детей и подростков, рожденных доношенными, в зависимости от возраста Echocardiographic and heart rate characteristics of healthy children and adolescents born full-term, depending on age								
Показатель Characteristic	Дети до 3 лет, <i>n</i> = 25 Children under 3 years old, <i>n</i> = 25		Дети 3–6 лет, <i>n</i> = 15 Children 3–6 years old, <i>n</i> = 15		Дети 6–11 лет, <i>n</i> = 23 Children 6–11 years old, <i>n</i> = 23		Дети 11–18 лет, <i>n</i> = 23 Children 11–18 years old, <i>n</i> = 23	
	<i>M</i> ± <i>SD</i>	<i>Me</i>	<i>M</i> ± <i>SD</i>	<i>Me</i>	<i>M</i> ± <i>SD</i>	<i>Me</i>	<i>M</i> ± <i>SD</i>	<i>Me</i>
ЧСС, уд. в мин Heart rate, bpm	122,82 ± 20,82	122	96,76 ± 12,69	99,00	84,77 ± 13,35	86,00	72,19 ± 12,27	70,00
Масса, кг Weight, kg	10,029 ± 2,525	11,00	15,207 ± 1,57	15,00	24,627 ± 6,33	23,650	54,84 ± 25,96	55,00
Рост, м Height, m	76,94 ± 10,93	78,00	99,06 ± 6,84	96,00	123,86 ± 13,08	122,50	154,04 ± 29,87	161,00
KDO _(Simpson) , мл KDO _(Simpson) , ml	21,248 ± 8,27	22,00	31,00 ± 7,85	29,00	47,00 ± 11,80	48,50	72,00 ± 17,54	68,00
KSO _(Simpson) , мл KSO _(Simpson) , ml	5,19 ± 2,58	6,00	7,55 ± 3,00	8,00	12,33 ± 4,66	12,00	19,15 ± 7,09	19,00
ФВ ЛЖ, % LVEF, %	75,19 ± 9,59	73,33	76,29 ± 6,11	74,19	73,97 ± 6,49	72,83	73,16 ± 8,80	72,89
Индекс сферичности в диастолу, усл. ед. Global diastolic sphericity index, c.u.	0,58 ± 0,08	0,59	0,58 ± 0,06	0,58	0,57 ± 0,07	0,56	0,57 ± 0,08	0,53
Индекс сферичности в систоле, усл. ед. Global systolic sphericity index, c.u.	0,48 ± 0,09	0,50	0,50 ± 0,10	0,49	0,52 ± 0,01	0,47	0,47 ± 0,12	0,46
МЖП, мм Interventricular septum, mm	3,75 ± 0,71	4,00	4,00 ± 0,50	4,00	4,78 ± 0,97	5,00	5,57 ± 1,38	5,00
ЗС ЛЖ, мм Left ventricle posterior wall, mm	3,80 ± 0,76	4,00	4,22 ± 0,83	4,00	5,00 ± 1,00	5,00	6,52 ± 1,38	6,00
КДР, мм End-diastolic dimension, mm	27,90 ± 4,51	28,00	33,00 ± 2,34	32,00	36,36 ± 3,60	35,000	44,84 ± 3,86	45,00
КСР, мм End-systolic dimension, mm	15,70 ± 3,42	15,00	18,11 ± 3,33	19,00	19,50 ± 4,87	20,00	25,89 ± 3,82	26,00
ММЛЖ, г LVM, g	19,72 ± 4,78	20,13	30,62 ± 6,08	29,72	45,82 ± 15,01	39,24	84,09 ± 26,03	82,92
E_{mitr} , см/с E_{mitr} , cm/sec	103,00 ± 16,74	100,0	97,57 ± 18,48	97,00	99,20 ± 16,87	101,00	92,52 ± 13,33	88,00
A_{mitr} , см/с A_{mitr} , cm/sec	73,80 ± 18,81	78,50	58,57 ± 18,09	60,00	53,80 ± 11,98	51,00	50,22 ± 10,90	48,00
E/A_{mitr} , усл. ед. E/A_{mitr} , c.u.	1,82 ± 0,80	1,45	1,75 ± 0,77	1,43	1,86 ± 0,34	1,82	1,89 ± 0,47	1,78
E_{mitr}/E_m , усл. ед. E/A_{mitr} , c.u.	6,77 ± 2,12	6,51	5,57 ± 1,45	5,35	5,62 ± 1,47	5,57	4,64 ± 0,50	4,81
E_m , см/с E_m , cm/sec	16,00 ± 2,70	16,00	18,00 ± 2,00	17,00	19,00 ± 4,17	19,00	19,89 ± 2,92	20,00
S_m , см/с S_m , cm/sec	9,75 ± 2,76	9,00	11,00 ± 2,44	10,00	11,86 ± 2,87	11,00	10,73 ± 2,13	10,00
A_m , см/с A_m , cm/sec	8,81 ± 5,23	7,00	6,16 ± 0,75	6,00	6,25 ± 1,54	6,50	7,57 ± 1,91	7,00
E_m/A_m , усл. ед. E/A_m , c.u.	2,53 ± 1,24	2,40	3,01 ± 0,55	2,83	3,58 ± 1,26	3,71	2,89 ± 0,19	2,85

П р и м е ч а н и е. ЧСС – частота сердечных сокращений; ФВ ЛЖ – фракция выброса левого желудочка; МЖП – межжелудочковая перегородка; ЗС ЛЖ – задняя стенка левого желудочка; КДР – конечный диастолический размер; КСР – конечный систолический размер; ММЛЖ – масса миокарда левого желудочка.

N o t e. LVEF – left ventricular ejection fraction; LVM – left ventricular mass.

Статистический анализ данных. Гипотеза о гауссовском распределении по критериям Колмогорова – Смирнова в форме Лиллиефорса (Lilliefors) и Шапиро – Уилка (Shapiro – Wilk) была отвергнута, поэтому были выполнены тесты Краскела – Уоллиса (Kruskal – Wallis, ANOVA, H) и Манна – Уитни (Mann – Whitney, U-test). При использовании таблиц сопряженности вычисляли значение Пирсона (χ^2), число степеней свободы df , достигнутый уровень значимости для этого значения статистики. Для оценки силы связи двух качественных переменных определяли значения таких мер связи, как коэффициент контингенции и Phi-коэффициент. Оценка корреляционных связей между парами количественных признаков осуществлялась с использованием непараметрического рангового коэффициента Спирмена (R). Во всех процедурах статистиче-

ского анализа критический уровень значимости p принимался равным 0,05. Результаты представлены в виде $M \pm SD$, где M – среднее арифметическое, SD – среднеквадратичное отклонение, медианы Me , нижнего и верхнего квартилей Q_1 – Q_3 .

РЕЗУЛЬТАТЫ

Согласно четырем вариантам вращения ЛЖ в систолу, описанным нами ранее [24], мы предлагаем выделять четыре типа раскручивания ЛЖ (рис. 3), взяв за основу анализ направления ротации ЛЖ на уровне базальных, верхушечных сегментов и ПМ.

В табл. 2 приведены значения показателей ротации на уровне базальных, верхушечных сегментов, ПМ в систолу и диастолу, скручивания и раскручивания ЛЖ при четырех выделенных нами вариантах.

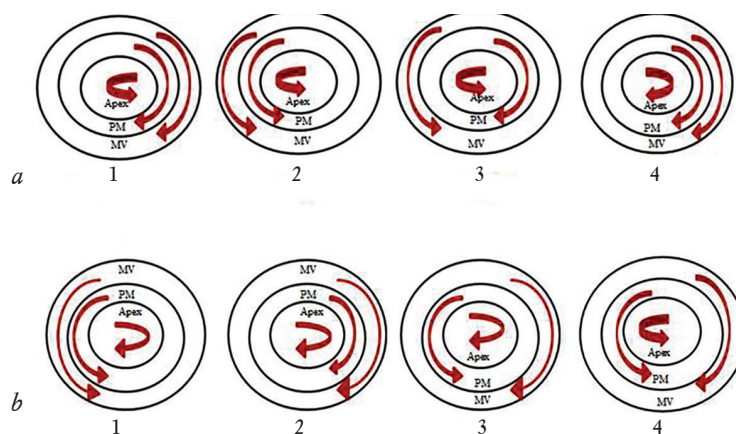


Рис. 3. Направление движения апикального, базального сегментов и сегментов на уровне папиллярных мышц при четырех типах скручивания левого желудочка (а) и четырех вариантах раскручивания левого желудочка (б) у здоровых доношенных детей и подростков

Fig. 3. The direction of movement of the apical, basal segments and segments at the level of papillary muscles in four types of left ventricular twisting (a) and four variants of left ventricular unwinding (b) in healthy full-term children and adolescents

Как видно из табл. 2, наибольшие (абсолютные значения) раскручивания ЛЖ наблюдались при первом типе скручивания ЛЖ. При этом абсолютные величины (модули значений) раскручивания значимо не различались между вторым, третьим и четвертым типами скручивания ЛЖ (рис. 4). Сопоставление скоростей скручивания и раскручивания (в абсолютных значениях) выявило, что значения $untwist$ были выше при первом типе скручивания ЛЖ ($p = 0,01$), в то время как при втором, третьем и четвертом типах скручивания ЛЖ значения скорости скручивания и раскручивания не различались (см. рис. 4).

Раскручивание ЛЖ не коррелировало с возрастом независимо от типа скручивания ЛЖ.

Отсутствовали связи раскручивания ЛЖ с массой ребенка на момент осмотра, площадью поверхности тела, показателями внутрисердечной гемодинамики и ММЛЖ. Только при третьем и четвертом типах скручивания ЛЖ значение $untwist$ коррелировало с величиной КСО (КСО/площадь тела: $r = 0,59$; $p = 0,015$ (3-й тип); $r = 0,74$; $p = 0,013$ (4-й тип).

Индекс сферичности ЛЖ, оцененный в систолу и диастолу, не взаимосвязан со значениями раскручивания ЛЖ. Выявлена взаимосвязь величины раскручивания ЛЖ с вращением базальных и апикальных сегментов у здоровых доношенных детей и подростков (табл. 3).

Ротация, скорость ротации в систолу и в период ранней диастолы на уровне базальных и апикальных сегментов, ПМ, скручивание и раскручивание ЛЖ у здоровых детей и подростков, рожденных доношенными, в возрасте от 2 мес до 18 лет
 Rotation, rotation rate in systole and early diastole at the level of basal and apical segments, PM, twisting and untwisting of the left ventricle (LV) in healthy children and adolescents born full-term, from 2 months to 18 years of age

Показатель Characteristic	Тип скручивания ЛЖ Type of LV twisting	U test (Z_{adj} ; p)	$M \pm SD$	Me	Q_1-Q_3	ANOVA (H ; p)
Rot _{MV} , °	1	-5,84; 0,0001 (1-2)	-5,17 ± 2,69	-4,98	-6,70 - (-3,09)	43,25; 0,0000
	2	-4,83; 0,000 (1-3)	5,03 ± 4,28	3,44	2,40-6,70	
	3	-2,56; 0,010 (1-4)	6,09 ± 3,85	5,33	3,70-9,11	
	4		-0,19 ± 5,07	0,24	-4,47-3,44	
RotR _{MV} , °/с ⁻¹	1	-6,08; 0,000000 (1-2)	-74,18 ± 40,34	-67,690	-89,69-(-51,41)	71,97; 0,0000
	2	-6,13; 0,00000 (1-3)	72,58 ± 44,14	59,06	44,84-86,72	
	3	13,13; 0,0017 (1-4)	82,45 ± 86,26	71,10	39,69-83,24	
	4	2,62; 0,008 (2-4) 2,56; 0,001 (3-4)	-5,48 ± 65,75	-30,63	-50,31-64,53	
RotR _{MV} E, °/с ⁻¹	1	5,538; 0,000 (1-2)	49,37 ± 36,75	45,28	27,34-57,97	72,83; 0,0000
	2	4,900; 0,000 (1-3)	-62,08 ± 44,96	-43,75	-78,38-(-24,06)	
	3	2,638; 0,008 (1-4)	-82,83 ± 70,93	-55,11	-100,63-(-38,85)	
	4	-3,085; 0,002 (2-4) -3,11; 0,001 (3-4)	4,93 ± 58,24	-6,02	-19,69-37,19	
Rot _{PM} , °	1	-3,279; 0,001 (1-2)	-3,02 ± 5,97	-3,03	-6,88-1,75	29,28; 0,0000
	2	3,82; 0,000 (1-3)	3,67 ± 2,87	2,41	1,89-4,98	
	3	3,28; 0,001 (1-4)	-3,81 ± 2,75	-3,53	-5,33-(-1,55)	
	4	5,15; 0,000000 (2-3) 4,12; 0,00018 (3-4)	-3,69 ± 2,63	-4,56	-5,67-(-2,06)	
RotR _{PM} , °/с ⁻¹	1	-4,29; 0,0000018 (1-2)	-24,69 ± 85,10	-36,09	-82,30-50,31	32,14; 0,0000
	2	2,25; 0,024 (1-3)	61,65 ± 28,34	63,44	48,12-76,56	
	3	-4,756; 0,000 (1-4)	-73,37 ± 38,71	-63,44	-88,05-(-55,78)	
	4	-5,15; 0,000000 (2-3) 3,97; 0,00007 (2-4)	-43,63 ± 52,48	-39,92	-69,56 - (-16,41)	
RotR _{PM} E, °/с ⁻¹	1	4,44; 0,000009 (1-2)	24,18 ± 62,65	28,44	-27,34-71,09	30,27; 0,0000
	2	-5,15; 0,0000000 (1-3)	-46,56 ± 23,75	-37,41	-60,16-(-28,44)	
	3	-4,16; 0,00003 (1-4)	45,18 ± 31,49	32,27	18,05-73,29	
	4		37,87 ± 33,84	42,50	19,69-70,00	
Rot _{apex} , °	1		8,45 ± 7,45	6,70	3,60-11,52	29,77; 0,0000
	2	4,44; 0,000009 (2-3)	8,14 ± 4,70	7,39	4,81-10,66	
	3	4,22; 0,0000 (3-4)	5,52 ± 3,93	3,69	2,49-8,25	
	4		-4,92 ± 5,58	-2,84	-5,67-(-1,89)	
RotR _{apex} , °/с ⁻¹	1	2,31; 0,02 (1-3)	101,79 ± 59,03	94,22	66,72-119,34	31,79; 0,0000
	2	5,04; 0,0000000 (1-4)	88,95 ± 54,20	76,56	52,50-105,00	
	3	4,44; 0,000009 (2-4)	69,56 ± 27,16	62,64	53,05-95,00	
	4	4,22; 0,00001 (3-4)	-59,62 ± 55,29	-48,13	-67,03-(-21,87)	
RotR _{AP} E, °/с ⁻¹	1	-0,974; 0,330 (1-2)	-99,29 ± 54,85	-94,41	-131,25-(-54,59)	29,98; 0,0000
	2	-0,574; 0,566 (1-3)	-80,35 ± 55,13	-73,22	-103,13-(-40,00)	
	3	-4,756; 0,000 (1-4)	-79,69 ± 55,29	-61,80	-84,77-(-49,51)	
	4	4,44; 0,000009 (2-4) -4,21; 0,00002 (3-4)	52,17 ± 77,27	16,96	6,56-68,75	
Twist, °	1	5,22; 0,000000 (1-2)	13,62 ± 8,90	11,17	8,25-15,81	63,11; 0,0000
	2	5,99; 0,000000 (1-3)	3,11 ± 5,72	1,89	-0,17-6,36	
	3	5,04; 0,000000 (1-4)	-0,57 ± 5,95	-0,86	-3,36-3,69	
	4	2,81; 0,00004 (2-4)	-4,73 ± 5,77	-5,22	-8,77-1,20	
Twist Rate, °/с ⁻¹	1	6,26; 0,00000 (1-2)	175,78 ± 80,72	164,28	122,34-197,18	72,29; 0,0000
	2	6,13; 0,000000 (1-3)	16,36 ± 61,99	8,75	-6,35-45,94	
	3	5,00; 0,000001 (1-4)	-12,89 ± 90,34	15,32	-18,82-31,57	
	4	2,03; 0,004 (2-4)	-54,14 ± 88,32	-34,07	-130,16-4,38	
Untwist, °/с ⁻¹	1	-5,96; 0,000000 (1-2)	-148,66 ± 74,03	-137,72	-179,53 - (-93,32)	69,62; 0,0000
	2	-5,65; 0,000000 (1-3)	-18,26 ± 55,18	-14,22	-51,56-24,16	
	3	5,04; 0,0000000 (1-4)	3,14 ± 77,94	-18,59	-35,92-39,38	
	4	-2,00; 0,04 (2-4)	57,09 ± 71,35	40,48	16,4-76,41	

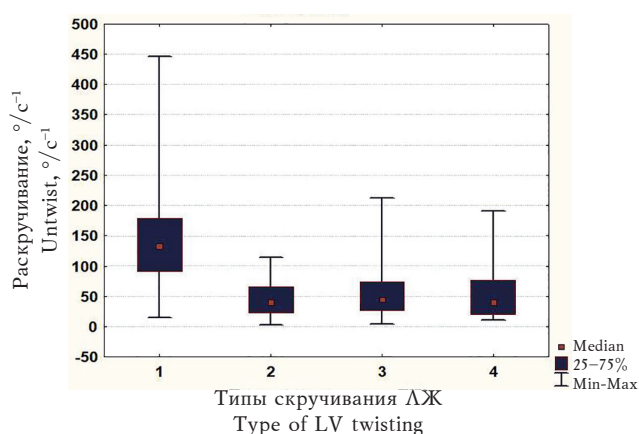


Рис. 4. Распределение абсолютных значений раскручивания ЛЖ при четырех типах скручивания левого желудочка у здоровых детей и подростков, рожденных доношенными

Fig. 4. The distribution of the absolute values of the unwinding of the left ventricle (untwist) in four types of twisting of the left ventricle in healthy children and adolescents born full-term

Т а б л и ц а 3
T a b l e 3

Взаимосвязь раскручивания (untwist) ЛЖ с ротацией на уровне базальных и верхушечный сегментов в систолу у здоровых детей и подростков, рожденных доношенными в возрасте от 2 мес до 18 лет, $n = 108$
The relationship of LV Untwist with rotation at basal and apical segments in systole in healthy children and adolescents born full-term at the age from 2 months to 18 years, $n = 108$

Показатель Characteristic	Beta	B	p
Rot _{MV}	0,43	9,57	0,000000
Rot _{apex}	-0,28	-3,85	0,00023
RotR _{apex}	-0,40	-0,51	0,000020

П р и м е ч а н и е. Линейный регрессионный анализ: $p = 0,0000001$; $df = 3,96$; $F = -103,86$; $R = 0,87$; $R^2 = 0,76$.
N o t e. Linear Regression Analysis: $p = 0,0000001$; $df = 3,96$; $F = -103,86$; $R = 0,87$; $R^2 = 0,76$.

ОБСУЖДЕНИЕ

Впервые в настоящем исследовании представлены выделенные нами четыре типа раскручивания ЛЖ у здоровых детей от периода грудного возраста до совершеннолетия. Раскручивание ЛЖ является важным элементом в цикле сокращения детского сердца. По мнению ряда исследователей [7, 37], процесс «скручивание – раскручивание» ЛЖ развивается с возрастом. Ускорение скру-

чивания ЛЖ во время физических упражнений снижено у детей по сравнению с приростом скручивания ЛЖ у взрослых здоровых добровольцев, что, вероятно, и обуславливает более низкий прирост величины раскручивания ЛЖ в диастолу у детей [37]. По мнению J. Voissière и соавт. [37], «релаксация ЛЖ в период изоволюмического расслабления обеспечивает адекватное заполнение ЛЖ вне зависимости от дополнительного эффекта всасывания как в покое, так и при физической нагрузке».

Значения untwist были выше при первом варианте скручивания («взрослом» типе), в то время как при втором, третьем и четвертом вариантах скручивания ЛЖ значения раскручивания были ниже. Полученные нами данные о статистически значимом преобладании абсолютных значений раскручивания ЛЖ при первом варианте скручивания, возможно, подтверждают тот факт, что механика торсионных механизмов при «взрослом» типе скручивания ЛЖ, встречающемся наиболее часто в группах здоровых доношенных детей и подростков, отличается от аналогичных процессов при втором, третьем и четвертом вариантах скручивания ЛЖ и, вероятно, обусловлена постнатальным созреванием и ростом тканей сердца, в том числе и верхушки сердца [7, 38, 39].

Наличие взаимосвязи раскручивания ЛЖ с вращением базальных и верхушечных сегментов является логичным, поскольку в настоящее время доказано, что апикальное вращение ЛЖ в диастолу обуславливает быстрое снижение давления в ЛЖ и «всасывание» крови ЛЖ [8, 9]. Соответственно, раскручивание ЛЖ взаимосвязано со значениями скручивания ($r = -0,77$; $p = 0,0000001$) и скорости скручивания ЛЖ ($r = -0,74$; $p = 0,0000001$), что согласуется с данными литературы [8, 9]. Выявленная нами зависимость раскручивания ЛЖ с величиной скручивания ЛЖ у здоровых детей и подростков, рожденных доношенными, не противоречит результатам, ранее описанным Y. Notomi и соавт. [22].

Различия в значениях раскручивания ЛЖ между взрослыми лицами и детьми, вероятно, обусловлены тем фактом, что у подростков и взрослых людей раскручивание ЛЖ происходит в основном в фазу изоволюмического расслабления, а у детей раннего возраста – в период быстрого наполнения и с меньшей скоростью по сравнению со взрослыми лицами. Данный феномен получил название «неэффективное раскручивание» [7]. Различия в значениях раскручивания ЛЖ между детьми и взрослыми лицами могут

быть обусловлены, с одной стороны, «незрелым» скручиванием ЛЖ, а с другой – «незрелым» активным транспортом кальция в саркоплазматическом ретикулуме, изменениями в соединительной ткани и титине» [7]. Уместно отметить, что титин существует в виде двух изоформ N2В и N2ВА. В период жизни от плода к зрелости отношение двух изоформ титина изменяется от преобладания N2ВА к преобладанию N2В. Существует мнение, что увеличение значений раскручивания ЛЖ в период жизни от плода до зрелости связано со сменой изоформ титина с N2В к N2ВА [7].

Отсутствие значимых различий в значениях раскручивания при втором, третьем и четвертом вариантах скручивания ЛЖ в нашем исследовании, по-видимому, может свидетельствовать о незрелости ротационных механизмов ЛЖ у детей и подростков, рожденных доношенными. Согласно данным В.М. Van Dalen и соавт. (2010) [40], индекс сферичности ЛЖ взаимосвязан с апикальной ротацией и скручиванием ЛЖ. В связи с вышесказанным нами были проанализированы связи раскручивания ЛЖ с индексом сферичности ЛЖ в конце систолы и диастолы. Обращает на себя внимание отсутствие зависимости раскручивания ЛЖ от индекса сферичности ЛЖ в систолу и диастолу у здоровых детей и подростков.

Согласно данным литературы, процессы созревания миокарда у ребенка подразумевают повышение способности миокарда сокращаться вследствие увеличения количества и организации миофиламентов, созревания саркоплазматического ретикулума, активизации Ca^{2+} -АТФазы, повышения чувствительности к кальцию, оптимизации состояния рианодиновых рецепторов, изменения функции сарколемных насосов, каналов в сократительных белках [41, 42], а также оптимальное состояние сердечного внеклеточного матрикса, процессов синтеза, созревания и деградации коллагена [43, 44]. В клинических исследованиях описана корреляционная связь между содержанием изоформы N2В титина и параметрами апикального раскручивания у человека [7, 45].

Можно предположить, что увеличение массы миокарда ребенка после рождения, происходящее при реализации ряда механизмов (гипертрофии кардиомиоцитов, образованных в пренатальный период; пролиферации и гипертрофии кардиомиоцитов, присутствующих при рождении; генерации новых кардиомиоцитов путем активации стволовых клеток сердца, локализованных преимущественно в области верхушки и предсердий [46–53] и сочетание данных процессов) и лежит в

основе формирования описанных выше и впервые выделенных нами основных типов скручивания и раскручивания ЛЖ у здоровых детей и подростков, рожденных доношенными.

ВЫВОДЫ

Выделено четыре типа раскручивания ЛЖ у здоровых доношенных детей и подростков в возрасте от 2 мес до 18 лет, рожденных доношенными. При первом типе скручивания значения раскручивания выше по сравнению со вторым, третьим и четвертым типами скручивания ЛЖ. Раскручивание ЛЖ не коррелирует с возрастом у здоровых детей и подростков, рожденных доношенными, и не зависит от типа скручивания ЛЖ. Индекс сферичности полости ЛЖ, оцененный в систолу, диастолу и ММЛЖ, не взаимосвязан со значениями раскручивания ЛЖ. Особенности раскручивания ЛЖ, впервые описанные в настоящем исследовании, по-видимому, обусловлены постнатальным онтогенезом тканей сердца в детском и подростковом возрасте.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Данная работа выполнена в рамках фундаментальной темы «Фундаментальные аспекты возникновения и развития социально значимых сердечно-сосудистых заболеваний; выявление мишеней для диагностики, лечения и улучшения прогноза; механизмы защиты» (№ АААА-А15-1151123110026-3 от 31.12.2015; в автоматизированной системе ФАНО России: № 0550-2014-0118; сроки выполнения 2016–2018 гг.) и в рамках темы «Разработка и внедрение новых высокотехнологичных подходов к диагностике, персонализированной профилактике и терапии социально значимой кардиологической патологии» (№ АААА-А17-117052310073-6 от 23.05.2017; в автоматизированной системе ФАНО России: № 0550-2017-0009; сроки выполнения 2015–2019 гг.).

СООТВЕТСТВИЕ ПРИНЦИПАМ ЭТИКИ

Исследование одобрено лечебно-экспертной комиссией по биомедицинской этике НИИ кардиологии (протокол № 124 от 06.11.2014).

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Henson R.E., Song S.K., Pastorek J.S. Left ventricular torsion is equal in mice and humans. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*. 2000; 278: 1117–1123. doi.org/10.1152/ajpheart.2000.278.4.H1117.

2. 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; 21 (10): 1121–1128. DOI: 10.1016/j.echo.2008.06.012
3. 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. *Thoracic and Cardiovascular Surgery.* 2001; 13 (4): 301–319.
4. Sengupta P.P., Tajik A.J., Chandrasekaran K., Khandheria B.K. Twist mechanics of the left ventricle: Principles and application. *J. Am. Coll. Cardiol. Imaging.* 2008; 1 (3): 366–376. DOI: 10.1016/j.jcmg.2008.02.006.
5. Shaw S.M., Fox D.J., Williams S.G. The development of left ventricular torsion and its clinical relevance. *Int. J. Cardiol.* 2008; 130 (3): 319–325. DOI: 10.1016/j.ijcard.2008.05.061.
6. Wang J., Khoury D.S., Yue Y., Torre-Amione G., Nagueh S.F. Left ventricular untwisting rate by speckle tracking echocardiography. *Circulation.* 2007; 116 (22): 2580–2586.
7. Notomi Y., Shiota T., Popović Z.B., Weaver J.A., Oryszak S.J., Greenberg N.L., Martin-Miklovic M.G. Measurement of ventricular torsion by two-dimensional ultrasound speckle tracking imaging. *Journal of the American College of Cardiology.* 2005 ; 45 (12): 2034–2041.
8. Steine K., Stugaard M., Smiseth O.A. Mechanisms of retarded apical filling in acute ischemic left ventricular failure. *Circulation.* 1999; 99 (15): 2048–2054.
9. Davis K.L., Mehlhorn U., Schertel E.R., Geissler H.J., Trevas D., Laine G.A., Allen S.J. Variation in tau, the time constant for isovolumic relaxation, along the left ventricular base-to-apex axis. *Basic Res. Cardiol.* 1999; 94 (1): 41–48.
10. Notomi Y., Martin-Miklovic M.G., Oryszak S.J., Shiota T., Deserranno D., Popovic Z.B., Garcia M.J., Greenberg N.L., Thomas J.D. Enhanced ventricular untwisting during exercise: a mechanistic manifestation of elastic recoil described by Doppler tissue imaging. *Circulation.* 2006; 113 (21): 2524–2533.
11. 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; 2 (2): 123–131. DOI: 10.1161/CIRCIMAGING.108.794719.
12. Tavakoli V., Sahba N., Tavakoli V. Assessment of age-related changes in left ventricular twist by 3-dimensional speckle-tracking echocardiography. *Journal of Ultrasound in Medicine.* 2013; 32 (8): 1435–1441. DOI: 10.7863/ultra.32.8.1435.
13. Kocabay G., Muraru D., Peluso D., Cucchini U., Mihaila S., Padayattil-Jose S., Badano L.P. Normal left ventricular mechanics by two-dimensional speckle-tracking echocardiography. Reference values in healthy adults. *Rev. Esp. Cardiol.* (Engl. Ed.). 2014; Aug. 67 (8): 651–658. DOI: 10.1016/j.rec.2013.12.009.
14. Maharaj N., Peters F., Khandheria B.K., Libhaber E., Essop M.R. Left ventricular twist in a normal African adult population. *Eur. Heart J. Cardiovasc Imaging.* 2013; 14 (6): 526–533. DOI: 10.1093/ehjci/jes208.
15. Stöhr E.J., Shave R.E., Baggish A.L., Weiner R.B. Left ventricular twist mechanics in the context of normal physiology and cardiovascular disease: a review of studies using speckle tracking echocardiography. *Am. J. Physiol. Heart. Circ. Physiol.* 2016; 311 (3): H633–644. DOI: 10.1152/ajpheart.00104.2016.
16. Laser K.T., Haas N.A., Jansen N., Schäffler R., Argueta J.R.P., Zittermann A., Kececioglu D. Is torsion a suitable echocardiographic parameter to detect acute changes in left ventricular afterload in children? *Journal of the American Society of Echocardiography.* 2009; 22 (10): 1121–1128. DOI: 10.1016/j.echo.2009.06.014.
17. Павлюкова Е.Н., Кужель Д.А., Матюшин Г.В., Савченко Е.А., Филиппова С.А. Ротация, скручивание и раскручивание левого желудочка: физиологическая роль и значение в клинической практике. *Рациональная фармакотерапия в кардиологии.* 2015; 11 (1): 68–78. [Pavlyukova E.N., Kuzhel D.A., Matyushin G.V., Savchenko E.A., Filippova S.A. Rotation, twisting and unwinding of the left ventricle: the physiological role and value in clinical practice. *Rational Pharmacotherapy in Cardiology.* 2015; 11 (1): 68–78 (in Russ.)].
18. 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; 27 (1): 55–64. DOI: 10.1016/j.echo.2013.10.002.
19. 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.* 2016; Jul. 18, 11 (7): e0158679. DOI: 10.1371/journal.pone.0158679.
20. Park S., Eun L.Y. Myocardial rotation and torsion in child growth. *J. Cardiovasc. Ultrasound.* 2016; 24 (3): 223–228.
21. Al-Naami G.H. Torsion of young hearts: a speckle tracking study of normal infants, children, and adolescents. *Eur. J. Echocardiogr.* 2010; 11 (10): 853–862. DOI: 10.1093/ejechocard/jeq078.
22. Notomi Y., Srinath G., Shiota T., Martin-Miklovic M. G., Beachler L., Howell K., Younoszai A. Maturation and adaptive modulation of left ventricular torsional biomechanics: Doppler tissue imaging observation from infancy to adulthood. *Circulation.* 2006; 113 (21): 2534–2541.
23. James A., Corcoran J.D., Mertens L., Franklin O., El-Khuffash A. Left ventricular rotational mechanics in preterm infants less than 29 weeks' gestation over the

- first week after birth. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2015; 28 (7): 808–817. DOI: 10.1016/j.echo.2015.02.015.
24. 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: 39–53.
 25. Nogami Y., Ishizu T., Atsumi A., Yamamoto M., Nakamura A., Machino-Ohtsuka T., Kawamura R., Seo Y., Aonuma K. Diastolic suction in heart failure: impact of left ventricular geometry, untwist, and flow mechanics. *Life Sci.* 2014; May 2, 102 (2): 111–117. DOI: 10.1016/j.lfs.2014.03.016.
 26. Dong S.J., Hees P.S., Siu C.O., Weiss J.L., Shapiro E.P. MRI assessment of LV relaxation by untwisting rate: a new isovolumic phase measure of tau. *Am. J. Physiol. Heart. Circ. Physiol.* 2001; 281: H2002–H2009.
 27. Van Dalen B.M., Soliman O.I., Kauer F., Vletter W.B., Zwaan H.B., Cate F.J., Geleijnse M.L. Alterations in left ventricular untwisting with ageing. *Circ. J.* 2009; 74: 101–108.
 28. Van Dalen B.M., Tzikas A., Soliman O.I., Kauer F., Heuvelman H.J., Vletter W.B., ten Cate F.J., Geleijnse M.L. Left ventricular twist and untwist in aortic stenosis. *Int. J. Cardiol.* 2011; 148 (3): 319–324. DOI: 10.1016/j.ijcard.2009.11.022.
 29. Nagel E., Stuber M., Burkhard B., Fischer S.E., Scheidegger M.B., Boesiger P., Hess O.M. Cardiac rotation and relaxation in patients with aortic valve stenosis. *Eur. Heart J.* 2000; 21: 582–589.
 30. Popescu B.A., Calin A., Beladan C.C., Muraru D., Rosca M., Deleanu D., Lancellotti P., Antonini-Canterin F., Nicolosi G.L., Ghingina C. Left ventricular torsional dynamics in aortic stenosis: relationship between left ventricular untwisting and filling pressures. A two-dimensional speckle tracking study. *Eur. J. Echocardiogr.* 2010; 11: 406–413. DOI: 10.1093/ejehocardiography/jep224.
 31. Burns A.T., La Gerche A., Prior D.L., Macisaac A.I. Left ventricular untwisting is an important determinant of early diastolic function. *JACC Cardiovasc. Imaging.* 2009; 2: 709–716. DOI: 10.1016/j.jcmg.2009.01.015.
 32. Kauer F., van Dalen B.M., Michels M., Schinkel A.F., Vletter W.B., van Slegtenhorst M., Soliman O.I., Geleijnse M.L. Delayed and decreased LV untwist and unstrain rate in mutation carriers for hypertrophic cardiomyopathy. *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging.* 2017; Apr. 1, 18 (4): 383–389. DOI: 10.1093/ehjci/jew213.
 33. 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; 28 (1): 1–39. DOI: 10.1016/j.echo.2014.10.003.
 34. 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; 112 (20): 3149–3156.
 35. Notomi Y., Lysyansky P., Setser R.M., Shiota T., Popovic Z.B., Martin-Miklovic M.G., Weaver J.A., Orszak 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; 45 (12): 2034–2041.
 36. 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; 21 (10): 1129–1137. DOI: 10.1016/j.echo.2008.04.002.
 37. Boissière J., Maufrais C., Baquet G., Schuster I., Dauzat M., Doucende G., Obert P., Berthoin S., Nottin S. Specific left ventricular twist-untwist mechanics during exercise in children. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2013; 26 (11): 1298–1305. DOI: 10.1016/j.echo.2013.07.007.
 38. Захарова В.П., Трёмбовецкая Е.М., Савчук Т.В., Бацак Б.В., Руденко К.В., Руденко Е.В. Новые аспекты строения миокарда желудочков сердца. *Серце – судини.* 2014; 3 (47): 35–43. [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 of the ventricles of the heart. *Sertse and Sudini.* 2014; 3 (47): 35–43 (in Russ.).]
 39. Peters N.S., Severs N.J., Rothery S.M., Lincoln C., Yacoub M.H., Green C.R. Spatiotemporal relation between gap junctions and fascia adherens junctions during postnatal development of human ventricular myocardium. *Circulation.* 1994; 90 (2): 713–725.
 40. Van Dalen B.M., Kauer F., Vletter W.B., Soliman O.I., van der Zwaan H.B., ten Cate F.J., Geleijnse M.L. Influence of cardiac shape on left ventricular twist. *J. Appl. Physiol. (1985).* 2010; 108 (1): 146–151. DOI: 10.1152/jappphysiol.00419.2009.
 41. Anderson P.A. Maturation and cardiac contractility. *Cardiol. Clin.* 1989; May 7 (2): 209–225.
 42. Anderson P.A. The heart and development. *Semin. Perinatol.* 1996; 20 (6): 482–509.
 43. Horn M.A. Cardiac physiology of aging: extracellular considerations. *Compr. Physiol.* 2015; 5 (3): 1069–1121. DOI: 10.1002/cphy.c140063.
 44. Brower G.L., Gardner J.D., Forman M.F., Murray D.B., Voloshenyuk T., Levick S.P., Janicki J.S. The relationship between myocardial extracellular matrix remodeling and ventricular function. *Eur. J. Cardiothorac. Surg.* 2006; 30(4): 604–610. DOI: 10.1016/j.ejcts.2006.07.006.
 45. Cordero-Reyes A.M., Youker K., Estep J.D., Torre-Amione G., Nagueh S.F. Molecular and cellular correlates of cardiac function in end-stage DCM: a study using speckle

- tracking echocardiography. *JACC Cardiovasc. Imaging*. 2014; 7 (5): 441–452. DOI: 10.1016/j.jcmg.2013.11.010.
46. Di Nardo P., Pagliari F. Cardiac progenitor cell extraction from human auricles. *Methods Mol. Biol.* 2017; 1553: 145–154. DOI: 10.1007/978-1-4939-6756-8_11.
47. Urbanek K., Cesselli D., Rota M., Nascimbene A., De Angelis A., Hosoda T., Bearzi C., Boni A., Bolli R., Kajstura J., Anversa P., Leri A. Stem cell niches in the adult mouse heart. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 2006; 103 (24): 9226–9231.
48. Urbanek K., Cabral-da-Silva M.C., Ide-Iwata N., Maestroni S., Delucchi F., Zheng H., Ferreira-Martins J., Ogyrek B., D'Amario D., Bauer M., Zerbini G., Rota M., Hosoda T., Liao R., Anversa P., Kajstura J., Leri A. Inhibition of notch1-dependent cardiomyogenesis leads to a dilated myopathy in the neonatal heart novelty and significance. *Circ. Res.* 2010; 107 (3): 429–441. DOI: 10.1161/CIRCRESAHA.110.218487.
49. Uchida S., De Gaspari P., Kostin S., Jenniches K., Klic A., Izumiya Y., Shiojima I., Grosse Kreymborg K., Renz H., Walsh K., Braun T. Scn1-derived cells are a source of myocardial renewal in the murine adult heart. *Stem Cell Reports*. 2013; 1 (5): 397–410. DOI: 10.1016/j.stemcr.2013.09.004.
50. Mollova M., Bersell K., Walsh S., Savla J., Das L.T., Park S.Y., Kühn B. Cardiomyocyte proliferation contributes to heart growth in young humans. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 2013; 110 (4): 1446–1451. DOI: 10.1073/pnas.1214608110.
51. Leri A. Human cardiac stem cells: the heart of a truth. *Circulation*. 2009; 120 (25): 2515–2528. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.109.911107.
52. Leri A., Rota M., Pasqualini F.S., Goichberg P., Anversa, P. Origin of cardiomyocytes in the adult heart. *Circulation Research*. 2015; 116 (1): 150–166. DOI: 10.1161/CIRCRESAHA.116.303595.
53. Le T.Y., Thavapalachandran S., Kizana E., Chong J. J. New developments in cardiac regeneration. *Heart Lung Circ.* 2017; 26 (4): 316–322. DOI: 10.1016/j.hlc.2016.11.002 .

Поступила в редакцию 26.08.2018

Подписана в печать 09.11.2018

Павлюкова Елена Николаевна, д-р мед. наук, профессор, вед. научный сотрудник, отделение атеросклероза и хронической ИБС, НИИ кардиологии, ТНИМЦ РАН, г. Томск.

Колосова Марина Владимировна, д-р мед. наук, профессор, кафедра пропедевтики детских болезней с курсом детских инфекционных болезней и поликлинической педиатрии, СибГМУ, г. Томск.

Унашева Аниса Исламгалиевна, аспирант, НИИ кардиологии, ТНИМЦ РАН, г. Томск.

Карпов Ростислав Сергеевич, д-р мед. наук, профессор, академик РАН, науч. руководитель НИИ кардиологии, ТНИМЦ РАН, г. Томск.

(✉) Павлюкова Елена Николаевна, e-mail: pavluk@cardio-tomsk.ru, pavlyukovaelena@yandex.ru.

УДК 612.172:616.124.2-007.59]-053.32/.6

[https://doi.org/ 10.20538/1682-0363-2018-4-110–121](https://doi.org/10.20538/1682-0363-2018-4-110-121)

For citation: Pavlyukova E.N., Kolosova M.V., Unasheva A.I., Karpov R.S. Left ventricular untwist in healthy children and adolescents born full-term. *Bulletin of Siberian Medicine*. 2018; 17 (2): 110–121.

Left ventricular untwist in healthy children and adolescents born full-term

Pavlyukova E.N.¹, Kolosova M.V.², Unasheva A.I.¹, Karpov R.S.¹

¹ Cardiology Research Institute, Tomsk National Research Medical Center (TNRMC) of Russian Academy of Sciences (RAS) 111a, Kievskaya Str., Tomsk, 634012, Russian Federation

² Siberian State Medical University (SSMU) 2, Moscow Trakt, Tomsk, 634050, Russian Federation

ABSTRACT

The aim of the study is to assess the left ventricle (LV) untwist in healthy children and adolescents born full-term.

Materials and methods. The analysis was carried out in 108 healthy children aged 2 months to 18 years, born full-term. LV untwist is assessed using Speckle Tracking Imaging at the basal and apical level.

Results. Four types of LV untwist were identified in children and adolescents. We did not find relation between LV untwist and age, nor with LV index spherical in systole and diastole, LV myocardial mass. The relationship between LV untwisting and LV rotation in systole at basal and apical segments was revealed.

Conclusion. The described features of LV loosening are apparently associated with processes of postnatal growth and maturation of heart tissues in children and adolescents.

Key words: healthy full-term children and adolescents, left ventricular mechanics, left ventricular untwist, Speckle Tracking Imaging-2D Strain.

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

SOURCE OF FINANCING

This paper was carried out as a part of the fundamental program “Fundamental aspects of the emergence and development of socially significant cardiovascular diseases; identification of targets for diagnosis, treatment and improvement of the prognosis; protection mechanisms ”(№ AAAA-A15-1151123110026-3 from 12/31/2015; in the automated system of the Federal Agency of Scientific Organi-

zations of Russia: № 0550-2014-0118; deadlines 2016–2018) and under the program “Development and implementation of new high-tech approaches to diagnostics, personalized prophylaxis and treatment of socially significant cardiological pathology” (№ AAAA-A17-117052310073-6 dated May 23, 2017; in the automated system of FANO of Russia: № 0550-2017-0009; implementation period 2015–2019).

CONFORMITY WITH THE PRINCIPLES OF ETHICS

The study was approved by the local ethics committee under Cardiology Research Institute (Protocol No. of 124 or 06.11.2014).

Received 26.08.2018

Accepted 09.11.2018

Pavlyukova Elena N., DM, Professor, Leading Researcher, Department of Atherosclerosis and Ischemic Heart Disease, Cardiology Research Institute, TNRMC, RAS, Tomsk, Russian Federation.

Kolosova Marina V., DM, Professor, SSMU, Tomsk, Russian Federation.

Unasheva Anisa I., PhD Student, Cardiology Research Institute, TNRMC, RAS, Tomsk, Russian Federation.

Karpov Rostislav S., DM, Professor, Academician of RAS, Cardiology Research Institute, TNRMC, RAS, Tomsk, Russian Federation.

(✉) Pavlyukova Elena N., e-mail: pavluk@cardio-tomsk.ru, pavlyukovaelena@yandex.ru.