

© О.Л. БОКЕРИЯ, А.А. АХОБЕКОВ, 2016

© АННАЛЫ АРИТМОЛОГИИ, 2016

УДК 616.12-008.46-053.2-085

DOI: 10.15275/annaritmol.2016.2.7

## РЕСИНХРОНИЗИРУЮЩАЯ ТЕРАПИЯ У ДЕТЕЙ

*Тип статьи: обзорная статья*

**О.Л. Бокерия, А.А. Ахобеков**

ФГБУ «Научный центр сердечно-сосудистой хирургии им. А.Н. Бакулева» (директор – академик РАН и РАМН Л.А. Бокерия) Минздрава России, Рублевское шоссе, 135, Москва, 121552, Российская Федерация

Бокерия Ольга Леонидовна, доктор мед. наук, профессор, гл. науч. сотр., зам. заведующего отделением Ахобеков Альберт Амалиевич, кардиолог, E-mail: alber-t7@mail.ru

*Сердечная ресинхронизирующая терапия (СРТ) является эффективным методом лечения взрослых пациентов с левожелудочковой недостаточностью. Крупные рандомизированные многоцентровые исследования показали, что СРТ приводит к улучшению систолической функции левого желудочка, его ремоделированию, уменьшению количества госпитализаций по поводу сердечной недостаточности, улучшению качества жизни пациентов и снижению общей летальности. Тем не менее 30% взрослых пациентов с сердечной недостаточностью резистентны к СРТ, что диктует необходимость дальнейшего изучения электромеханической диссинхронии для определения оптимальных участков размещения электродов и оптимизации критериев отбора пациентов с целью эффективного проведения СРТ. Оценка эффективности СРТ у педиатрических больных связана с определенными трудностями из-за сложных анатомических субстратов при врожденных пороках сердца и послеоперационных рубцовых изменений, сопровождающихся более частым развитием блокады правой ножки пучка Гиса и недостаточности правого желудочка в сравнении со взрослыми пациентами. Классические критерии отбора для СРТ, представленные снижением фракции выброса левого желудочка менее 35% с блокадой левой ножки пучка Гиса, не типичны для пациентов детского возраста, в связи с чем эти критерии не могут быть к ним применены. Кроме того, ограниченное число и гетерогенность педиатрических больных, подверженных СРТ, препятствуют достоверной систематической оценке ее эффективности в отдаленном периоде.*

*Особенности использования СРТ у детей также в ряде случаев представляют большие трудности. Пациенты с такими абсолютными или относительными противопоказаниями к венозному доступу, как единственный желудочек, аномалии трикуспидального клапана, внутрисердечные шунты, нуждаются в энкардиальном подходе. Для больных со стандартными энкардиальными системами электрокардиостимуляции, нуждающихся в проведении СРТ, левожелудочковый электрод может быть добавлен через мини-стернотомию, хотя спаечный процесс вследствие предыдущего вмешательства может усложнять подход.*

*Данный обзор посвящен анализу современной литературы по использованию СРТ у педиатрических больных с сердечной недостаточностью и врожденными пороками сердца.*

*Ключевые слова: сердечная ресинхронизирующая терапия; сердечная недостаточность; врожденные пороки сердца.*

## CARDIAC RESYNCHRONIZATION THERAPY IN CHILDREN

**O.L. Bockeria, A.A. Akhobekov**

A.N. Bakoulev Scientific Center for Cardiovascular Surgery, Rublevskoe shosse, 135, Moscow, 121552, Russian Federation

Bockeria Ol'ga Leonidovna, MD, PhD, DSc, Professor, Chief Research Associate, Deputy Chief of Department Akhobekov Al'bert Amalievich, MD, Cardiologist, E-mail: alber-t7@mail.ru

*Cardiac resynchronization therapy (CRT) is an effective treatment for adult patients with left ventricular failure. Large randomized multi-center trials showed that CRT results in improving the cardiac function, left ventricular remodeling, decreased hospitalizations for heart failure, improving the quality of life, and decrease in overall mortality. Nevertheless, 30% of adult patients with heart failure are refractory to CRT, spurring further evaluation of electromechanical dyssynchrony to determine optimal pacing sites and to improve CRT selection criteria for maximal response.*

*The effectiveness of CRT in the pediatric population is difficult to evaluate because of the complex anatomic substrates of congenital heart disease and scar formation from multiple cardiac surgeries with a higher proportion of right bundle-branch block and right ventricular failure than in the adult population. The typical adult heart failure scenario of left ventricle ejection fraction  $\leq 35\%$  with a left bundle-branch block is uncommon in children; therefore, the adult selection criteria for CRT cannot be easily translated to pediatric patients. Furthermore, a small heterogeneous pediatric patients population hinders a systematic assessment of long-term benefit from CRT. Also, features of CRT use in children in some cases are very difficult. Implantation of a CRT system can be challenging in pediatric patients. Patients with relative or absolute contraindications to a transvenous approach such as abnormal venous anatomy, single ventricles, tricuspid valve abnormalities/prostheses, or intracardiac shunts require an epicardial approach. For patients who already have a traditional epicardial pacing system in place and are being upgraded to a biventricular CRT system, the epicardial left ventricular lead may be placed through a mini-sternotomy, although scarring from previous surgeries or structural abnormalities in congenital heart diseases may make access to the left ventricle difficult from this approach.*

*This review deals with the analysis of current literature on the use of CRT in pediatric patients with heart failure and congenital heart diseases.*

*Keywords: cardiac resynchronization therapy; heart failure; congenital heart diseases.*

## Введение

Сердечная ресинхронизирующая терапия (СРТ) является эффективным методом лечения взрослых пациентов с левожелудочковой недостаточностью. Крупные рандомизированные многоцентровые исследования показали, что СРТ приводит к улучшению систолической функции левого желудочка (ЛЖ), его ремоделированию, уменьшению количества госпитализаций по поводу сердечной недостаточности (СН), улучшению качества жизни и снижению общей смертности [1–5]. Тем не менее 30% взрослых пациентов с СН резистентны к СРТ, что диктует необходимость дальнейшего изучения электро-механической диссинхронии для определения оптимальных участков размещения электродов и оптимизации критериев отбора пациентов с целью эффективного проведения СРТ [6].

Высокая эффективность СРТ у взрослых пациентов с СН предполагает ее эффективное использование у педиатрических больных с СН. Однако оценка эффективности СРТ у детей связана с определенными трудностями из-за сложных анатомических субстратов при врожденных пороках сердца (ВПС) и послеоперационных рубцовых изменениях, сопровождающихся более частым развитием блокады правой ножки пучка Гиса (БПНПГ) и недостаточности правого желудочка (ПЖ) в сравнении со взрослыми пациентами. Классические критерии отбора для СРТ, представленные снижением фракции выброса (ФВ) ЛЖ менее 35% с блокадой левой ножки пучка Гиса (БЛНПГ), не типичны для больных детского возраста, в связи с чем эти критерии не могут быть к ним применены. Кроме того, ограниченное число и гетерогенность педиатрических пациентов, подвер-

женных СРТ, препятствуют достоверной систематической оценке ее эффективности в отдаленном периоде.

Данный обзор посвящен анализу современной литературы по использованию СРТ у педиатрических больных с СН и ВПС.

## Принципы проведения СРТ

В здоровом сердце распространение электрических импульсов происходит через систему Гиса–Пуркинье, которая обладает уникальной способностью быстро и объемно распространять их по желудочкам сердца. Это определяет высококоординированную электрическую активность между отдаленными участками обоих желудочков, что способствует их синхронной сократимости. Учитывая сильную зависимость между электрической возбудимостью и сократимостью, неудивительно, что нарушение электрической активации желудочков приводит к снижению их сократимости [7, 8]. При спонтанной или обусловленной электрокардиостимуляцией БЛНПГ электрическая активация ЛЖ происходит через рабочие кардиомиоциты, что может происходить до 4 раз медленнее, чем через специализированные клетки Гиса–Пуркинье [9, 10]. Это приводит к асинхронной электрической активации желудочков, в результате чего энергия, полученная за счет сокращения ранее активированных участков, рассеивается из-за релаксированного состояния противоположных участков, что обуславливает снижение сократительной способности сердца и ремоделирование желудочков [11, 12].

Различают внутрижелудочковую, предсердно-желудочковую и межжелудочковую синхронизацию [13, 14].

*Внутрижелудочковая синхронизация.* В результате синхронизации работы отдельных участков

миокарда ЛЖ систола становится более эффективной. Возрастают фракция выброса ЛЖ, сердечный выброс. Уменьшается конечный диастолический объем ЛЖ. Снижается степень митральной регургитации, что ведет к снижению давления в левом предсердии.

*Предсердно-желудочковая синхронизация.* Другой механизм ресинхронизации — это укорочение времени изоволюмического сокращения после оптимизации предсердно-желудочковой задержки. Увеличивается время эффективного наполнения ЛЖ в диастолу, что, в свою очередь, увеличивает ударный объем. Также за счет уменьшения пресистолической митральной регургитации еще больше снижается давление в левом предсердии.

*Межжелудочковая синхронизация.* Ресинхронизация работы ПЖ и ЛЖ достигается путем электрической стимуляции их сокращений в определенное, заданное программой бивентрикулярной стимуляции (БВС), время.

Около 25% больных с СН имеют БЛНПГ с механической диссинхронией желудочков [15]. СРТ нивелирует электрическую и механическую диссинхронию желудочков за счет бивентрикулярной стимуляции [16]. На фоне СРТ восстанавливается диастолическая и систолическая функции ЛЖ, а также происходит его ремоделирование [17–19].

В отличие от взрослых пациентов, лишь у 9% педиатрических больных с СН имеется БЛНПГ и уширение комплекса *QRS* более 120 мс, что, вероятно, связано с другими причинами развития СН. Так, педиатрические пациенты с СН, особенно с ВПС, имеют различные блокады проведения электрических импульсов вследствие хирургических вмешательств. В связи с этим исследователи стали использовать новые методы проведения СРТ, отличные от традиционных стратегий, для восстановления синхронного сокращения желудочков у детей.

### **Результаты использования СРТ у педиатрических больных с сердечной недостаточностью и врожденными пороками сердца**

В настоящее время отсутствуют рандомизированные исследования, оценивающие эффективность СРТ у педиатрических больных с СН, и нет никаких общепринятых руководств по ее применению [20, 21]. Эффективность использования СРТ у детей с разными ВПС представлена результатами нескольких ретроспективных од-

но- (табл. 1) и многоцентровых (табл. 2) исследований [22–37].

Первое многоцентровое ретроспективное исследование по оценке эффективности СРТ у детей выполнено в 2005 г. А.М. Dubin et al. В него были включены 103 пациента из 22 кардиохирургических клиник [36]. За 4 мес наблюдения СРТ способствовала повышению ФВ системного желудочка на 13% и укорочению длительности *QRS* на 40 мс. У 11 больных не было отмечено нарастания ФВ, в связи с чем они были признаны нереспондерами. Однокамерную стимуляцию до СРТ имели 46 пациентов, и они получили наибольшую выгоду от терапии в виде нарастания ФВ системного желудочка на 14,5% и укорочения *QRS* на 46 мс. Из 18 больных, которым планировалась трансплантация сердца, 3 были удалены из листа ожидания в связи с выраженным улучшением по клинично-инструментальным данным. Единственное различие, выявленное между респондерами и нереспондерами, заключалось в более высокой базовой ФВ системного желудочка у последних.

F. Cecchin et al. впервые опубликовали самое крупное ретроспективное исследование по оценке эффективности СРТ у детей с включением 60 пациентов [34]. Стоит отметить, что у 33 больных уже имелись однокамерные электрокардиостимуляторы (ЭКС). На фоне СРТ ФВ системного желудочка увеличилась на 6%, длительность *QRS* сократилась на 29 мс. Функциональный класс СН по шкале NYHA улучшился у 38% пациентов; 13% были признаны нереспондерами в связи с отсутствием улучшения функционального класса СН по NYHA и ФВ системного желудочка. Из них 5 больных умерли, 2 пациентам произведена трансплантация сердца, у 4 были нарушения функционирования СРТ.

Многоцентровое исследование J. Janousek et al. включало 109 пациентов из 17 европейских кардиохирургических клиник [37]. Это было первое ретроспективное многоцентровое исследование, целью которого явилось определение предикторов успешной СРТ. За 7 мес наблюдения СРТ способствовала повышению ФВ системного желудочка на 11,5% и укорочению *QRS* на 30 мс, также улучшился функциональный класс СН по шкале NYHA. Большинство больных (77%) перед началом СРТ уже имели имплантированные ЭКС. Из 10 пациентов, ожидавших трансплантации сердца, 4 были удалены из листа ожидания на фоне успешной СРТ. Наличие системного ЛЖ явилось самым сильным

Таблица 1

## Одноцентровые ретроспективные исследования по применению СРТ у педиатрических больных

Параметр	J. Janousek et al. (2004 г.) [23]	M. Strieper et al. (2004 г.) [30]	J.P. Moak et al. (2006 г.) [31]	P. Khairy et al. (2006 г.) [32]	G. Jauvert et al. (2009 г.) [33]	F. Cecchin et al. (2009 г.) [34]	J.L. Perez et al. (2013 г.) [35]
Число пациентов, <i>n</i>	8	7	6	13	7	60	67
Медиана возраста (диапазон), лет	12,5 (6,9–29,2)	11 (2,3–28,0)	11,3 (0,5–23,7)	7,8 (0,8–15,5)	24,6 (15,0–50,0)	15,0 (0,4–47,0)	—
Медиана продолжительности наблюдения, мес	17,4	19,0	10,0	16,5	19,4	8,4	32,0
ВПС, <i>n</i> (%)	8 (100)	7 (100)	3 (50)	10 (76,9)	7 (100)	46 (76,7)	50 (74,6)
Системный ПЖ, <i>n</i> (%)	8 (100)	1 (14,3)	—	4 (30,8)	7 (100)	7 (11,7)	—
Системный ЛЖ, <i>n</i> (%)	—	6 (85,7)	3 (50)	6 (46,2)	—	26 (43,3)	—
Единственный желудочек, <i>n</i> (%)	—	—	—	—	—	13 (21,7)	—
Дилатационная кардиомиопатия, <i>n</i> (%)	—	—	—	2 (15,4)	—	10 (16,7)	10 (14,9)
Врожденная АВ-блокада, <i>n</i> (%)	—	—	3 (50)	1 (7,7)	—	4 (6,7)	7 (10,4)
Нарушения проводимости, <i>n</i> (%)	—	—	—	—	—	—	—
норма	—	—	4 (66,7)	—	—	—	—
БЛНПГ	—	—	—	—	—	10 (16,7)	—
БПНПГ	2 (25)	1 (14,3)	1 (16,7)	—	—	4 (6,7)	—
нарушение внутрижелудочковой проводимости	—	—	1 (16,7)	3 (23,1)	—	5 (8,3)	—
полная АВ-блокада	6 (75,0)	6 (85,7)	—	10 (76,9)	3 (42,9)	41 (68,3)	—
Правожелудочковая стимуляция до СРТ, <i>n</i> (%)	6 (75)	5 (71,4)	6 (100,0)	7 (53,8)	5 (71,4)	25 (41,7)	48 (71,6)
Тип системы СРТ, <i>n</i> (%)	—	—	—	—	—	—	—
эпикардальная	3 (37,5)	4 (57,1)	4 (66,7)	13 (100,0)	2 (28,6)	38 (63,3)	—
эндокардиальная	1 (12,5)	3 (42,9)	1 (16,7)	—	—	17 (28,3)	—
гибридная	4 (50,0)	—	1 (16,7)	—	5 (71,4)	5 (8,3)	—
Результаты после СРТ	—	—	—	—	—	—	—
изменение длительности QRS, мс (%)	↓45 (28)	↓91 (44)	↓66 (32)	—	↓40 (25)	↓29 (19)	↓27 (18)
изменение ФВ системного желудочка, %	↑4	↑20	↑26	↑19	—	↑10	↑10
изменение КДР и КДО системного желудочка (%)	—	↓1,1 см (19)	↓1,2 см (22)	—	—	—	↓38,8 мл (47)
класс СН по шкале NYHA	1,3	—	—	—	1,6	У 38% пациентов > 1	—
без эффекта, <i>n</i> (%)	—	2/7 (29)	—	—	—	13/56 (23)	—
Осложнения, <i>n</i> (%)	—	—	—	—	—	—	—
смерть	—	1 (14,0)	—	—	—	5 (8,0)	5 (7,0)
развитие СН	—	—	—	—	—	3 (5,0)	3 (4,5)
развитие фибрилляции желудочков	—	1 (14,0)	—	—	—	1 (2,0)	2 (3,0)

Примечание. Прочерк означает отсутствие данных.

Таблица 2

## Многоцентровые ретроспективные исследования по применению СРТ у педиатрических больных

Параметр	А.М. Dubin et al. (2005 г.) [36]	J. Janousek et al. (2009 г.) [37]
Число пациентов, <i>n</i>	103	109
Медиана возраста, лет (диапазон)	12,8 (3,0 мес – 55,4 года)	16,9 (2,9 мес – 73,8 года)
Медиана продолжительности наблюдения, мес	4 (22 дня – 1 год)	7,5
ВПС, <i>n</i> (%)	73 (70,9)	87 (79,8)
Системный ПЖ, <i>n</i> (%)	17 (16,5)	36 (33,0)
Системный ЛЖ, <i>n</i> (%)	49 (47,6)	47 (43,1)
Единственный желудочек, <i>n</i> (%)	7 (6,8)	4 (3,7)
Дилатационная кардиомиопатия, <i>n</i> (%)	16 (15,5)	10 (9,2)
Врожденная АВ-блокада, <i>n</i> (%)	14 (13,6)	12 (11,0)
Нарушения проводимости, <i>n</i> (%)		
норма	–	–
БЛНПГ	–	10 (9,2)
БПНПГ	–	5 (4,6)
нарушение внутрижелудочковой проводимости	–	10 (9,2)
полная АВ-блокада	–	84 (77)
Правожелудочковая стимуляция до СРТ, <i>n</i> (%)	46 (44,7)	84 (77,1)
Тип системы СРТ, <i>n</i> (%)		
эпикардальная	48 (46,6)	36 (33,0)
эндокардиальная	45 (43,7)	45 (41,3)
гибридная	10 (9,7)	28 (25,7)
Длительность <i>QRS</i> перед СРТ, мс	166 ± 33	160
ФВ системного желудочка перед СРТ, %	26,2 ± 12	27
Класс СН по NYHA до СРТ	–	2,5
I, <i>n</i> (%)	15 (14,5)	–
II, <i>n</i> (%)	–	–
III/IV, <i>n</i> (%)	39 (37,9)	–
Результаты после СРТ		
изменение длительности <i>QRS</i> , %	↓37,7 ± 30,7	↓40
изменение ФВ системного желудочка, %	↑12,8 ± 12,7	↑11,5 ± 14,3
изменение КДО системного желудочка, %	–	↓1,1
изменение класса СН по NYHA	–	↓1
без эффекта, <i>n</i> (%)	11 (10,7)	15/81 (18,5)
Осложнения, <i>n</i> (%)		
острые осложнения	20 (19,0)	10 (9,2)
дислокация электродов	12 (11,7)	8 (7,3)
смерть	5 (4,9)	7 (6,4)
развитие СН	1 (0,1)	4 (3,7)
развитие ЖТ и ФЖ	4 (3,9)	2 (1,8)

Примечание. Прочерк означает отсутствие данных.

предиктором улучшения сократительной функции сердца на фоне СРТ. Пациенты с системным ЛЖ, у которых диссинхрония развилась на фоне однокамерной стимуляции, отвечали на СРТ выраженным улучшением клинического состояния и ремоделированием сердца. Из исследования были исключены больные, которым параллельно с имплантацией БВС выполнялись

хирургические вмешательства по поводу другой сердечной патологии; 18,5% пациентов были признаны нереспондерами. Предикторами плохого ответа на СРТ признаны первичная дилатационная кардиомиопатия (ДКМП) и высокий функциональный класс СН по NYHA.

J.L. Perera et al. представили большое одноцентровое исследование с самым продолжительным

периодом наблюдения (67 пациентов со сроком наблюдения 2,75 года) [35]; 48 (72%) больных до СРТ находились на однокамерной стимуляции. Повышение ФВ системного желудочка составило 10%, укорочение *QRS* – 27 мс, КДО уменьшился на 39 мл. Зафиксировано 5 (7%) смертельных случаев, в том числе 2 внезапные сердечные смерти, также наблюдалось общее увеличение случаев желудочковой тахикардии после начала СРТ (10% до СРТ, 25% после СРТ). У исследователей вызвало беспокойство двукратное увеличение случаев желудочковой тахикардии, однако неизвестно, с чем это связано, является ли это следствием естественного течения основного заболевания или вторичным событием по отношению к гетерогенной стимуляции от БВС.

Несмотря на отсутствие крупных рандомизированных исследований, результаты существующих ретроспективных исследований подтверждают, что СРТ может быть эффективно использована у многих пациентов детского возраста с СН и ВПС. Доля нереспондеров у педиатрических больных колеблется от 11 до 23%, что существенно меньше, чем у взрослых (30%). Есть несколько причин, объясняющих этот факт. Так, самой частой причиной развития СН у взрослых является ишемическая болезнь сердца, сопровождающаяся наличием распространенных зон ишемии и рубцовых изменений в миокарде ЛЖ, препятствующих его эффективной синхронной стимуляции и сократимости. У пациентов детского возраста СН часто обусловлена прямой хирургической травмой, связанной с локальными рубцовыми изменениями, которые приводят к нарушениям проводимости и низкой сократительной способности системного желудочка, что более эффективно корректируется с помощью СРТ. Также среди педиатрических больных отбор для СРТ ведется более тщательно, чем среди взрослых.

Существующие исследования показывают, что СРТ у детей можно использовать с частотой осложнений, аналогичной таковой у взрослых (10–29%). Неисправность и смещение электродов являются самыми частыми (8–12%) осложнениями при проведении СРТ у детей, что может быть связано с анатомическими особенностями ВПС. Общая летальность у педиатрических пациентов составляет 5–8%, что соответствует уровню летальности во взрослой популяции (5–7%).

Надлежащий отбор больных является основной задачей, решение которой может позволить увеличить долю респондеров среди больных детского возраста. Это будет возможно в результате

проведения крупномасштабных рандомизированных исследований.

### СРТ при недостаточности системного левого желудочка

По разным данным, у 45–78% педиатрических больных СН обусловлена хронической правожелудочковой стимуляцией [34]. В многоцентровом исследовании J. Janousek et al. было продемонстрировано, что пациенты с системным ЛЖ, у которых диссинхрония развилась на фоне правожелудочковой стимуляции, реагировали на СРТ выраженным улучшением клинического состояния и ремоделированием сердца [37].

В 2009 г. под руководством Л.А. Бокерия были опубликованы результаты применения СРТ для лечения СН у детей и лиц молодого возраста в НЦССХ им. А.Н. Бакулева. В исследование вошли 6 пациентов детского и молодого возраста (3 больных женского и 3 мужского пола). Средний возраст составил  $8,83 \pm 8,64$  (2,4–24,1) года. Средний период наблюдения отдаленных результатов –  $10,63 \pm 3,02$  мес. На фоне СРТ ФВ ЛЖ достоверно увеличилась с  $29,0 \pm 11,8$  до  $37,2 \pm 11,6\%$  ( $p=0,0277$ ); конечный систолический объем ЛЖ достоверно снизился с  $155,2 \pm 90,2$  до  $112,7 \pm 64,3$  мл ( $p=0,0277$ ); конечный диастолический объем ЛЖ достоверно уменьшился с  $238,7 \pm 149,6$  до  $171,7 \pm 93,4$  мл ( $p=0,0277$ ); межжелудочковая механическая задержка, по данным пульсовой доплерографии, достоверно сократилась с  $42,7 \pm 24,9$  до  $12,8 \pm 20,6$  мс ( $p=0,0431$ ); внутрижелудочковая механическая задержка, измеренная в М-режиме, достоверно снизилась с  $210,8 \pm 72,7$  до  $61,5 \pm 57,0$  мс ( $p=0,0277$ ); пиковая скорость нарастания давления в левом желудочке достоверно возросла с  $345,7 \pm 144,2$  до  $749,0 \pm 70,7$  мм рт. ст./с ( $p=0,0277$ ) [38].

Аналогичные результаты получают с помощью СРТ у взрослых [39–41].

В другой группе педиатрических больных СН обусловлена ДКМП. Поскольку у взрослых пациентов с ДКМП СРТ дает хорошие результаты (СН на фоне ДКМП значительно лучше реагирует на СРТ, чем СН на фоне ишемической болезни сердца), исследователи предполагали, что и у детей будут сопоставимые результаты. Однако на практике оказалось, что у больных детского возраста с ДКМП СРТ дает недостаточно хорошие результаты [42–44].

Различия во взаимосвязи между электрической и механической диссинхронией у педиатри-

ческих и взрослых пациентов могут объяснить эти противоречивые результаты. Так, в исследованиях С.А. Chen et al. и М.К. Fridberg et al. было продемонстрировано, что в больших группах обследованных детей механическая диссинхрония не коррелировала с длительностью *QRS* [42, 45, 46]. Средняя длительность *QRS* составляла 84 мс у больных с выраженной внутри- и межжелудочковой диссинхронией. Однако у взрослых пациентов такая корреляция в большинстве случаев прослеживается. Эти различия подчеркивают важность понимания взаимосвязи между электрической и механической диссинхронией у взрослых и педиатрических больных для правильного отбора пациентов к проведению СРТ.

### СРТ при недостаточности системного правого желудочка

Правожелудочковая недостаточность является частой причиной поздней заболеваемости при ВПС. Неудивительно, что более 30% СРТ у педиатрических больных проводится в связи с недостаточностью ПЖ [42, 43]. Причинами дисфункции ПЖ при ВПС могут быть хроническая перегрузка объемом, давлением, повреждение миокарда, связанное с искусственным кровообращением и хирургическими вмешательствами. У пациентов после хирургической коррекции тетрады Фалло часто развивается БПНПГ, связанная с пластикой дефекта межже-

лудочковой перегородки, рубцовыми изменениями правого желудочка вследствие хирургического вмешательства, его перегрузкой давлением и объемом, приводящими к правожелудочковой недостаточности. В нескольких исследованиях продемонстрировано наличие электрической и механической диссинхронии в этой популяции, что является субстратом для СРТ [47–49].

Обычная правожелудочковая стимуляция создает фронт электрической активации, который распространяется в направлении, противоположном направлению волнового фронта спонтанно возникающей электрической активации. Манипулирование атриовентрикулярной (АВ) задержкой с адекватным ее подбором способствует слиянию собственного электрического фронта с фронтом электрической активации из ПЖ, что приводит к более синхронной электрической активации обоих желудочков. Таким образом, данный принцип работы СРТ заключается в синхронизированной с предсердиями стимуляции ПЖ с адекватным подбором АВ-задержки, что отличается от концепции СРТ с использованием БВС (рис. 1).

Первые исследования этой концепции СРТ у детей проводились в ранние сроки после оперативных вмешательств [50–52]. В 2001 г. J. Janousek et al. анализировали результаты использования временной эпикардиальной стимуляции у 7 пациентов с ВПС, имеющих двухжелу-

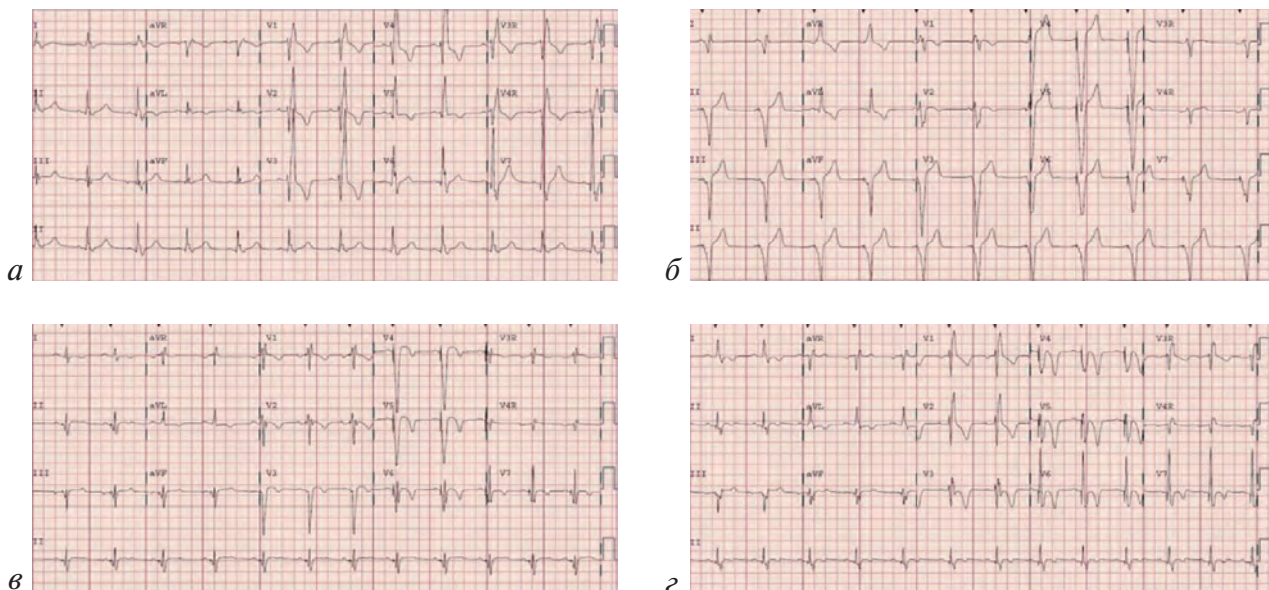


Рис. 1. Двенадцатиканальные электрокардиограммы пациента с тетрадой Фалло на фоне синхронизированной с предсердиями стимуляции правого желудочка с адекватным подбором АВ-интервала (АВ-задержка подбирается таким образом, чтобы комплекс *QRS* был узким):

а – исходная ЭКГ без стимуляции; б – АВ-задержка 120 мс; в – АВ-задержка 150 мс (оптимальна, так как дает самое эффективное укорочение комплекса *QRS*); г – АВ-задержка 170 мс

Таблица 3

## Исследования по изучению эффективности СРТ у больных с недостаточностью системного правого желудочка

Параметр	J. Janousek et al. (2004 г.) [29]	A.M. Dubin et al. (2005 г.) [36]	F. Cecchin et al. (2009 г.) [34]	J. Janousek et al. (2009 г.) [37]	G. Jauvert et al. (2009 г.) [33]
Число пациентов с системным ПЖ, <i>n</i>	8	17	9	27	7
Возраст (диапазон), лет	12,5 (6,9–9,2)	12,7 (4,9–50,0)	27 (0,5–43,0)	28,8	24,6 (15,0–50,0)
Длительность наблюдения, мес	17,4	4	8,4	7,3	19,4
Метод стимуляции при СРТ ( <i>n</i> )	БВС (7), АВ-синхронная ПЖ (1)	БВС	БВС	БВС (26), АВ-синхронная ПЖ (1)	БВС
QRS до СРТ, мс	161 ± 21	—	165	160	160 ± 31
ФВ ПЖ до СРТ, %	—	—	28	28,8 ± 10	—
ФК СН по NYHA до СРТ	2	—	—	2	3
Результаты после СРТ					
изменение QRS, мс	↓45	↓38,2 ± 29,4	↓15	↓21	↓120 ± 28
изменение ФВ, %	↑4	↑13,3 ± 11,3	↑14	↑7,2 ± 9,9	—
изменение ФК СН по NYHA	↓0,7	—	—	↓1	↓1,4
клиническое улучшение, <i>n</i> (%)	8/8 (100)	13/17 (76,5)	2/8 (25)	19 (86,4)	7 (100)
Нереспондеры, <i>n</i> (%)	—	4/17 (23,5)	6/8 (75)	3/22 (13,6)	—

Примечание. Прочерк означает отсутствие данных.

дочковую анатомию сердца и БПНПГ [50]. Внутривентрикулярная ресинхронизация была успешно достигнута благодаря АВ-синхронной стимуляции боковой стенки ПЖ. Подбор АВ-задержки проводился таким образом, чтобы правожелудочковая стимуляция происходила синхронно с собственной деполяризацией желудочков, что приводило бы к максимальному укорочению *QRS* и повышению систолического артериального давления. В 2003 г. А.М. Dubin et al. использовали трансвенные электроды для синхронной с предсердиями правожелудочковой стимуляции у 7 больных с БПНПГ и дисфункцией ПЖ [51]. Синхронная АВ-стимуляция была выполнена из трех различных участков ПЖ (верхушка, перегородка и выводной отдел) с подбором оптимальной АВ-задержки. У пациентов наблюдалось заметное увеличение сердечного выброса, сокращение длительности *QRS*. Важно отметить, что оптимальная зона стимуляции ПЖ варьировалась у каждого больного и укорочение *QRS* не зависело от участка стимуляции. На основании результатов перечисленных исследований была предложена длительная правожелудочковая стимуляция у пациентов с дисфункцией ПЖ, сочетающейся с БПНПГ. В 2008 г. А.М. Dubin et al. провели рандомизированное исследование больных с тетрадой Фалло и недостаточностью ПЖ, которым уже был имплантирован двухкамерный кардиовертер-дефибриллятор [53]: 6 пациентов обследовались исходно, через 3 мес после начала синхронной АВ-стимуляции ПЖ и через 3 мес без стимуляции. Результаты свидетельствовали об улучшении систолической функции ПЖ без ущерба для ЛЖ.

J.V. Thambo et al. оценивали краткосрочные и долгосрочные результаты СРТ с БВС у взрослых с тетрадой Фалло и дисфункцией ПЖ [54, 55]. В ближайшем периоде наблюдения СРТ была связана с улучшением сократительной способности обоих желудочков и укорочением *QRS*. Через 6 мес наблюдения отмечалось повышение толерантности к физическим нагрузкам и увеличение ФВ обоих желудочков. Таким образом, хотя имплантация БВС и является достаточно сложной процедурой, она позволяет помимо коррекции последствий БПНПГ улучшить и функцию ЛЖ, чему не может способствовать синхронная АВ-стимуляция ПЖ.

Возможности СРТ при дисфункции ПЖ на фоне корригированной и полной транспозиции магистральных сосудов оценивались J. Janousek et al. в 2004 г. по результатам лечения 8 пациен-



тов [29]. СРТ способствовала снижению межжелудочковой диссинхронии, укорочению *QRS* и улучшению сократительной функции ПЖ. Более развернутые данные о подобных исследованиях приведены в таблице 3.

### СРТ при единственном желудочке

Несмотря на успехи, достигнутые в медикаментозной терапии и хирургическом лечении пациентов с единственным желудочком, они все еще остаются в группе высокого риска послеоперационной дисфункции миокарда. Послеоперационная миокардиальная дисфункция может быть связана с неадекватной защитой миокарда, множественными рубцами, перегрузкой объемом и давлением, а также морфологией единственного желудочка. Традиционная медикаментозная терапия сердечной недостаточности не дает желаемых результатов у больных с данной патологией. СРТ у них заключается в синхронной стимуляции отдаленных участков единственного желудочка (табл. 4) [34, 36, 37].

Такая стратегия впервые была применена F.J. Zimmerman et al., а позднее E.A. Vacha et al. в ближайшем послеоперационном периоде после хирургической коррекции единственного желудочка [56, 57]. Так, три однополюсных эпикардиальных электрода накладывались на максимально отдаленные участки единственного желудочка, стимуляция которых способствовала синхронному сокращению всех его стенок. Оба исследования показали, что СРТ при данной патологии способствует улучшению контрактильной функции миокарда, индекса диссинхронии и укорочению *QRS*. Интересно отметить, что длительность *QRS* сокращалась даже у пациентов с изначально неуширенными комплексами.

Не было специальных исследований по оценке отдаленного влияния СРТ на функцию единственного желудочка, хотя 3 работы включали в себя небольшое количество таких пациентов. В исследовании, проведенном F. Cecchin et al., участвовали 13 больных с единственным желудочком, 8 из которых имели однокамерные ЭКС по поводу полной АВ-блокады [34]; 8 пациентов из 13 положительно отреагировали на СРТ, в результате чего ФВ повысилась на 10%, уменьшился функциональный класс СН по NYHA, длительность *QRS* сократилась с 129 до 116 мс, ФВ повысилась с 37 до 47%.

J. Janousek et al. также продемонстрировали повышение толерантности к физическим нагрузкам у 3 из 4 пациентов с единственным желудочком [50]. Двое из 3 респондеров имели до СРТ однокамерные ЭКС. Однако A.M. Dubin et al. определили клиническое улучшение лишь у 2 из 7 пациентов с единственным желудочком, включенных в их многоцентровое ретроспективное исследование [53].

Противоречивые результаты использования СРТ могут быть объяснены высокой структурной гетерогенностью единственного желудочка. Глубокое понимание механических и электрических особенностей функционирования единственного желудочка будет способствовать более эффективному использованию СРТ при данной патологии. Впервые этот вопрос у взрослых больных СН стал изучать D.A. Kass, который отметил, что механическая диссинхрония, выявленная у 30–70% пациентов, может отражать гетерогенность сократительных свойств миокарда, а не первичного нарушения проводимости сердца [58]. Более слабые участки миокарда (фиброзированные, ишемизированные, приле-

Таблица 4

#### Исследования, изучавшие эффективность СРТ у пациентов с единственным желудочком

Параметр	A.M. Dubin et al. (2005 г.) [36]	F. Cecchin et al. (2009 г.) [34]	J. Janousek et al. (2009 г.) [37]
Число пациентов, <i>n</i>	7	13	4
Медиана возраста, лет (диапазон)	3,1 (5 мес – 23,7 года)	17,3 (0,5–42,5 года)	10,3 (3,7–30,3 года)
Обычные ЭКС до СРТ, <i>n</i> (%)	–	8 (61,5)	3 (75)
<i>QRS</i> до СРТ, мс	–	129	–
ФВ до СРТ, %	–	37	–
Результаты после СРТ			
изменение <i>QRS</i> , мс	↓44,8 ± 26,2	↓13	–
изменение ФВ, %	Без изменений	↑11	–
клиническое улучшение, <i>n</i> (%)	2 (28,6)	10 (90,9)	3 (75)
Нереспондеры, <i>n</i> (%)	5 (71,4)	1 (9,1)	1 (25)

жащие к фиброзу) сокращаются слабее, чем более сильные участки, что приводит к диссинхронии движения стенок, и вследствие этого наблюдается парадоксальное движение слабых участков миокарда. Анатомические аномалии, фиброз после хирургических вмешательств, хроническая перегрузка системного желудочка давлением и объемом, часто наблюдающиеся при ВПС, безусловно, могут способствовать дискоординированному сокращению миокарда, без связи с электрической активацией. Таким образом, механическая диссинхрония, выявляемая у ряда педиатрических больных со сложными ВПС, не может выступать сильным предиктором положительного ответа на СРТ.

Такие новые методы исследования, как ЭКГ с трехмерным электроанатомическим отображением и трехмерная тканевая эхокардиография, позволяют детально изучить по отдельности электрическую и механическую диссинхронии, а также их взаимосвязь, что делает эти исследования незаменимыми для успешного отбора пациентов на СРТ [59].

В анатомически нормальном сердце электрический импульс охватывает сначала правый желудочек, далее дистальную треть межжелудочковой перегородки с распространением деполяризации на верхушку, затем к основанию и выводному тракту. У пациентов с гипоплазией левых отделов сердца распространение электрического импульса происходит как при нормальном сердце. При тетраде Фалло деполяризация свободной стенки ПЖ наступает в последнюю очередь.

### СРТ в сочетании с ИКД

Использование СРТ с имплантируемыми кардиовертерами-дефибрилляторами (ИКД) у педиатрических больных с ВПС и без них представляет собой очень сложный вопрос, учитывая неоднородность заболеваний, вызывающих СН. Сложность заключается в том, что нет исследований, сравнивающих результаты использования СРТ и СРТ с ИКД. Тем не менее хорошо известно, что есть определенные группы больных с ВПС, которые имеют высокий риск развития внезапной сердечной смерти. Выбор типа имплантируемых устройств должен осуществляться в индивидуальном порядке, хотя четкие руководства по этому вопросу отсутствуют. Индивидуальный риск развития жизнеугрожающих аритмий и внезапной сердечной смерти должен быть тщательно взвешен с учетом возможных необоснованных электрических шоков,

которые наблюдались у 20% педиатрических больных в крупном ретроспективном исследовании. С другой стороны, результаты ретроспективного исследования J.L. Perera et al. свидетельствуют об увеличении количества желудочковых тахикардий после начала СРТ, и, если предположить, что причиной является СРТ, то использование СРТ с ИКД у данной категории пациентов будет более эффективным и безопасным [35]. Для полного разрешения этого вопроса необходимы крупные рандомизированные исследования.

### Проблемы имплантации бивентрикулярных стимуляторов у детей

Имплантация системы БВС в ряде случаев представляет серьезные трудности. Пациенты с такими абсолютными или относительными противопоказаниями к венозному доступу, как единственный желудочек, аномалии трикуспидального клапана, внутрисердечные шунты, нуждаются в эпикардиальном подходе [4]. Для больных со стандартными эпикардиальными системами ЭКС, нуждающихся в проведении СРТ, левожелудочковый электрод может быть добавлен через мини-стернотомию (рис. 2), хотя спаянный процесс вследствие предыдущего вмешательства может усложнять подход. Альтернативным методом имплантации левожелудочкового эпикардиального электрода является боковая торакотомия.

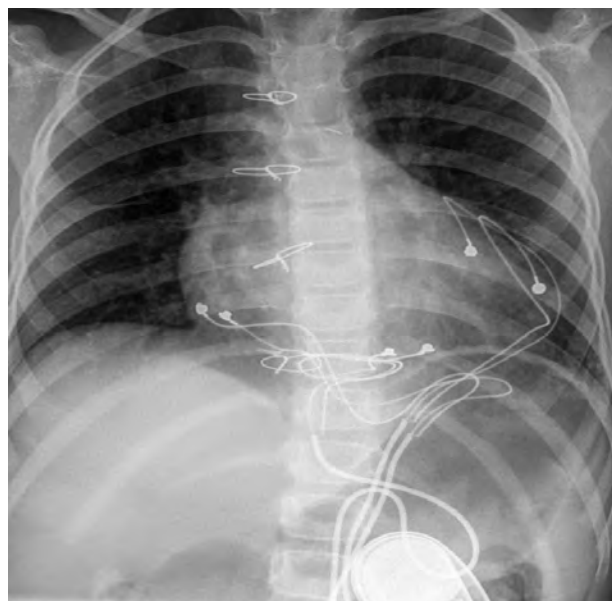


Рис. 2. Рентгенограмма грудной клетки пациента с эпикардиальной системой бивентрикулярной стимуляции, имплантированной через срединную мини-стернотомию

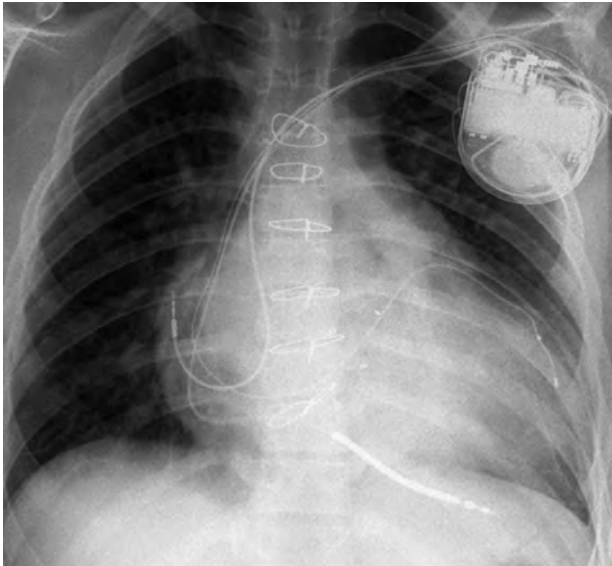


Рис. 3. Рентгенограмма грудной клетки с гибридной системой бивентрикулярной стимуляции: электроды в правом предсердии и правом желудочке имплантированы эндоваскулярно, электрод к левому желудочку размещен эпикардиально

Для пациентов с обычными ЭКС и нормальной внутрисердечной анатомией с достаточными размерами коронарного синуса СРТ может быть налажена установкой левожелудочкового электрода в коронарный синус. В случае невозможности венозного доступа потребуются доступ через мини-стернотомию или боковую торакотомию для создания гибридной системы БВС (рис. 3).

У больных без ранее имплантированных систем ЭКС выбор между трансвенозным и эпикардиальным доступами должен осуществляться персонализированно. При невозможности использования трансвенозного доступа потребуются эпикардиальный доступ. Однако стоит учитывать, что размещение эпикардиальной системы БВС может осложниться поломками электродов или спаечным процессом после ранее выполненной стернотомии, высокими порогами стимуляции, что приводит к быстрому истощению батареи и дисфункции БВС.

Не стоит забывать и о возможных проблемах, возникающих при трансвенозном доступе: диссекция и тромбоз крупных вен, дисфункция трикуспидального клапана, перелом электрода из-за несоответствия его длины и размеров пациента. Также следует учитывать, что у педиатрического больного подразумеваются неоднократные смены систем ЭКС, что означает необходимость прогнозирования выполнения этих операций на несколько десятилетий вперед [60, 61].

## Заключение

СРТ является достаточно мощным методом лечения СН у педиатрических пациентов и больных с ВПС. На фоне СРТ в большинстве случаев улучшаются показатели диссинхронии, сократительная функция системного желудочка, уменьшается функциональный класс СН по шкале NYHA. Однако отсутствуют общепринятые руководства по отбору таких больных для проведения СРТ. Неоднозначные результаты использования СРТ у пациентов детского возраста с разными первичными заболеваниями подводят к более глубокому изучению взаимосвязи между электрической и механической диссинхрониями у таких больных. Современные методы исследования (ЭКГ с трехмерным электроанатомическим отображением и трехмерная тканевая эхокардиография) позволяют провести детальный анализ диссинхронии, что, несомненно, будет способствовать более грамотному отбору больных для СРТ. Следует отметить, что на современном этапе развития данной проблемы необходим индивидуальный подход к каждому пациенту в связи с достаточно большим разнообразием заболеваний, приводящих к сердечной недостаточности.

### Конфликт интересов

Конфликт интересов не заявляется.

### Библиографический список

1. Abraham W.T., Fisher W.G., Smith A.L., Delurgio D.B., Leon A.R., Loh E. et al. Cardiac resynchronization in chronic heart failure. *N. Engl. J. Med.* 2002; 346 (24): 1845–53.
2. Linde C., Ellenbogen K., McAlister F.A. Cardiac resynchronization therapy (CRT): clinical trials, guidelines, and target populations. *Heart Rhythm.* 2012; 9 (8 Suppl.): S3–13.
3. Бокерия Л.А. Актуальные вопросы диагностики и лечения терминальной сердечной недостаточности. В кн.: Бокерия Л.А., Голухова Е.З. (ред.) Лекции по кардиологии. Т. 3. М.: НЦССХ им. А.Н. Бакулева РАМН; 2001: 146–67.
4. Бокерия Л.А., Бокерия О.Л., Ким А.И., Кислицина О.Н., Кулага О.И. Имплантация кардиоресинхронизирующего устройства с эпикардиальной системой электродов у детей с дилатационной кардиомиопатией. *Анналы аритмологии.* 2010; 7 (1): 43–54.
5. Бокерия О.Л. Немедикаментозные методы лечения сердечной недостаточности у детей. *Анналы хирургии.* 2009; 6: 43–51.
6. Young J.B., Abraham W.T., Smith A.L., Leon A.R., Lieberman R., Wilkoff B. et al. Combined cardiac resynchronization and implantable cardioversion defibrillation in advanced chronic heart failure: the MIRACLE ICD Trial. *JAMA.* 2003; 289 (20): 2685–94.
7. Lister J.W., Klotz D.H., Jomain S.L., Stuckey J.H., Hoffman B.F. Effect of pacemaker site on cardiac output and ventricular activation in dogs with complete heart block. *Am. J. Cardiol.* 1964; 14: 494–503.
8. Badke F.R., Boinay P., Covell J.W. Effects of ventricular pacing on regional left ventricular performance in the dog. *Am. J. Physiol.* 1980; 238: 858–67.
9. Myerburg R.J., Nilsson K., Gelband H. Physiology of canine intraventricular conduction and endocardial excitation. *Circ. Res.* 1972; 30: 217–43.

10. Spach M.S., Barr R.C. Analysis of ventricular activation and repolarization from intramural and epicardial potential distributions for ectopic beats in the intact dog. *Circ. Res.* 1975; 37: 830–43.
11. Prinzen F., Vernooy K., DeBoeck B., Delhaas T. Mechanoenergetics of the asynchronous and resynchronized heart. *Heart Fail Rev.* 2011; 16 (3): 215–24.
12. Vernooy K., Verbeek X.A., Peschar M., Crijns H.J., Arts T., Cornelussen R.N., Prinzen F.W. Left bundle branch block induces ventricular remodeling and functional septal hypoperfusion. *Eur. Heart J.* 2005; 26 (1): 91–8.
13. Бокерия Л.А., Бокерия О.Л., Кулага О.И. Применение ресинхронизирующей терапии при лечении сердечной недостаточности у детей и лиц молодого возраста: современное состояние проблемы. *Анналы аритмологии.* 2009; 6 (3): 5–14.
14. Бокерия О.Л. Ресинхронизирующая терапия в лечении сердечной недостаточности у детей. *Анналы аритмологии.* 2008; 3: 50–7.
15. Baldasseroni S., Opasich C., Gorini M., Lucci D., Marchionni N., Marini M. et al. Left bundle-branch block is associated with increased 1-year sudden and total mortality rate in 5517 outpatients with congestive heart failure: a report from the Italian network on congestive heart failure. *Am. Heart J.* 2002; 143 (3): 398–405.
16. Verbeek X.A., Vernooy K., Peschar M., Cornelussen R.N., Prinzen F.W. Intra-ventricular resynchronization for optimal left ventricular function during pacing in experimental left bundle branch block. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2003; 42 (3): 558–67.
17. Yu C.M., Chau E., Sanderson J.E., Fan K., Tang M.O., Fung W.H. et al. Tissue Doppler echocardiographic evidence of reverse remodeling and improved synchronicity by simultaneously delaying regional contraction after biventricular pacing therapy in heart failure. *Circulation.* 2002; 105 (4): 438–45.
18. Klimusina J., De Boeck B.W., Leenders G.E., Faletta F.F., Prinzen F., Averaimo M. et al. Redistribution of left ventricular strain by cardiac resynchronization therapy in heart failure patients. *Eur. J. Heart Fail.* 2011; 13 (2): 186–94.
19. Van Gelder B.M., Bracke F.A., Meijer A., Lakerveld L.J., Pijls N.H. Effect of optimizing the VV interval on left ventricular contractility in cardiac resynchronization therapy. *Am. J. Cardiol.* 2004; 93 (12): 1500–3.
20. Alexander M.E., Berul C.I., Fortescue E.B., Blume E., Brown D., Triedman J.K. et al. Who is eligible for cardiac resynchronization therapy in pediatric cardiology [abstract]? *Heart Rhythm.* 2004; 1: S122–3.
21. Stahlberg M., Lund L.H., Zabarovskaja S., Gadler F., Braunschweig F., Linde C. Cardiac resynchronization therapy: a breakthrough in heart failure management. *J. Intern. Med.* 2012; 272: 330–43.
22. Rodriguez-Cruz E., Karpawich P.P., Lieberman R.A., Tantengco M.V. Biventricular pacing as alternative therapy for dilated cardiomyopathy associated with congenital heart disease. *Pacing Clin. Electrophysiol.* 2001; 24: 235–7.
23. Janousek J., Tomek V., Chaloupecky V., Gebauer R.A. Dilated cardiomyopathy associated with dual-chamber pacing in infants: improvement through either left ventricular cardiac resynchronization or programming the pacemaker off allowing intrinsic normal conduction. *J. Cardiovasc. Electrophysiol.* 2004; 15: 470–4.
24. Kakavand B., Douglas W.I., Manfredi J.A., Di Sessa T.G. Successful management of acute failure of the systemic right ventricle with cardiac resynchronization therapy. *Pediatr. Cardiol.* 2006; 27 (5): 612–3.
25. Chen C.A., Wang S.S., Chiu S.N., Wu E.T., Lin M.T., Wang J.K., Wu M.H. Left ventricular reverse remodeling after successful cardiac resynchronization therapy in a 3-year-old girl with idiopathic dilated cardiomyopathy. *Int. J. Cardiol.* 2007; 117 (1): e7–9.
26. Gonzalez M.B., Schweigel J., Kostelka M., Janousek J. Cardiac resynchronization in a child with dilated cardiomyopathy and borderline QRS duration: speckle tracking guided lead placement. *Pacing Clin. Electrophysiol.* 2009; 32: 683–7.
27. Ortega M., Merino J.L., Blanco F.V., Gutierrez-Larraya F. Cardiac resynchronization therapy in an infant with double outlet right ventricle and mechanical dyssynchrony. *J. Cardiovasc. Electrophysiol.* 2012; 23: 781–3.
28. Hauser J., Michel-Behnke I., Khazen C., Laufer G., Pees C. Successful cardiac resynchronization therapy in a 1.5-year-old girl with dilated cardiomyopathy and functional mitral regurgitation. *Int. J. Cardiol.* 2013; 167: e83–4.
29. Janousek J., Tomek V., Chaloupecky V.A., Reich O., Gebauer R.A., Kautzner J., Hucin B. Cardiac resynchronization therapy: a novel adjunct to the treatment and prevention of systemic right ventricular failure. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2004; 44 (9): 1927–31.
30. Strieper M., Karpawich P., Frias P., Gooden K., Ketchum D., Fyfe D., Campbell R. Initial experience with cardiac resynchronization therapy for ventricular dysfunction in young patients with surgically operated congenital heart disease. *Am. J. Cardiol.* 2004; 94 (10): 1352–4.
31. Moak J.P., Hasbani K., Ramwell C., Freedenberg V., Berger J.T., DiRusso G., Callahan P. Dilated cardiomyopathy following right ventricular pacing for AV block in young patients: resolution after upgrading to biventricular pacing systems. *J. Cardiovasc. Electrophysiol.* 2006; 17 (10): 1068–71.
32. Khairy P., Fournier A., Thibault B., Dubuc M., Therien J., Vobecky S.J. Cardiac resynchronization therapy in congenital heart disease. *Int. J. Cardiol.* 2006; 109: 160–8.
33. Jauvert G., Rousseau-Paziaud J., Villain E., Iserin L., Hidden-Lucet F., Ladouceur M., Sidi B.B. Effects of cardiac resynchronization therapy on echocardiographic indices, functional capacity, and clinical outcomes of patients with a systemic right ventricle. *Europace.* 2009; 11 (2): 184–90.
34. Cecchin F., Frangini P.A., Brown D.W., Fynn-Thompson F., Alexander M.E., Triedman J.K. et al. Cardiac resynchronization therapy (and multisite pacing) in pediatrics and congenital heart disease: five years experience in a single institution. *J. Cardiovasc. Electrophysiol.* 2009; 20: 58–65.
35. Perera J.L., Motonaga K.S., Miyake C.Y., Avasarala K., Punn R., Tierney E.S. et al. Does pediatric CRT increase the risk of ventricular tachycardia [abstract]? *Heart Rhythm.* 2013; 10: 210–1.
36. Dubin A.M., Janousek J., Rhee E., Strieper M.J., Cecchin F., Law I.H. et al. Resynchronization therapy in pediatric and congenital heart disease patients: an international multicenter study. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2005; 46 (12): 2277–83.
37. Janousek J., Gebauer R.A., Abdul-Khalik H., Turner M., Kornyei L., Grollmu O. et al. Cardiac resynchronization therapy in paediatric and congenital heart disease: differential effects in various anatomical and functional substrates. *Heart.* 2009; 95 (14): 1165–71.
38. Бокерия Л.А., Бокерия О.Л., Базаев В.А., Кислицина О.Н., Соболева Н.Н., Кулага О.И. Результаты применения ресинхронизирующей терапии для лечения сердечной недостаточности у детей и лиц молодого возраста в НИЦССХ им. А.Н. Бакулева РАМН. *Анналы аритмологии.* 2011; 8 (2): 10–6.
39. Valls-Bertault V., Fatemi M., Gilard M., Pennec P.Y., Etienne Y., Blanc J.J. Assessment of upgrading to biventricular pacing in patients with right ventricular pacing and congestive heart failure after atrioventricular junctional ablation for chronic atrial fibrillation. *Europace.* 2004; 6 (5): 438–43.
40. Leon A.R., Greenberg J.M., Kanuru N., Baker C.M., Mera F.V., Smith A.L. et al. Cardiac resynchronization in patients with congestive heart failure and chronic atrial fibrillation: effect of upgrading to biventricular pacing after chronic right ventricular pacing. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2002; 39 (8): 1258–63.
41. Бокерия О.Л., Глушко Л.А. Обзор современных рандомизированных контролируемых испытаний по применению ресинхронизирующей терапии у пациентов с сердечной недостаточностью. *Анналы аритмологии.* 2011; 8 (4): 29–35.
42. Chen C.A., Hsiao C.H., Wang J.K., Lin M.T., Wu E.T., Chiu S.N. et al. Implication of QRS prolongation and its relation to mechanical dyssynchrony in idiopathic dilated cardiomyopathy in childhood. *Am. J. Cardiol.* 2009; 103: 103–9.
43. Gasparini M., Mantica M., Galimberti P., Genovese L., Pini D., Faletta F. et al. Is the outcome of cardiac resynchronization therapy related to the underlying etiology? *Pacing Clin. Electrophysiol.* 2003; 26 (pt 2): 175–80.
44. McLeod C.J., Shen W.K., Rea R.F., Friedman P.A., Hayes D.L., Wokhlu A. et al. Differential outcome of cardiac resynchronization therapy in ischemic cardiomyopathy and idiopathic dilated cardiomyopathy. *Heart Rhythm.* 2011; 8 (3): 377–82.
45. Friedberg M.K., Silverman N.H., Dubin A.M., Rosenthal D.N. Mechanical dyssynchrony in children with systolic dysfunction secondary to cardiomyopathy: a Doppler tissue and vector velocity imaging study. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2007; 20: 756–63.
46. Friedberg M.K., Roche S.L., Balasingam M., Stephenson E., Slorach C., Fackoury C., Kantor P.F. Evaluation of mechanical dyssynchrony in children with idiopathic dilated cardiomyopathy

- and associated clinical outcomes. *Am. J. Cardiol.* 2008; 101 (8): 1191–5.
47. Vogel M., Sponring J., Cullen S., Deanfield J.E., Redington A.N. Regional wall motion and abnormalities of electrical depolarization and repolarization in patients after surgical repair of tetralogy of Fallot. *Circulation.* 2001; 103 (12): 1669–73.
  48. Uebing A., Gibson D.G., Babu-Narayan S.V., Diller G.P., Dimopoulos K., Goktekin O. et al. Right ventricular mechanics and QRS duration in patients with repaired tetralogy of Fallot: implications of infundibular disease. *Circulation.* 2007; 116 (14): 1532–9.
  49. Abd El Rahman M.Y., Hui W., Yigitbasi M., Dsebissowa F., Schubert S., Hetzer R. et al. Detection of left ventricular asynchrony in patients with right bundle branch block after repair of tetralogy of Fallot using tissue-Doppler imaging-derived strain. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2005; 45 (6): 915–21.
  50. Janousek J., Vojtovic P., Hucin B., Tlaskal T., Gebauer R.A., Gebauer R. et al. Resynchronization pacing is a useful adjunct to the management of acute heart failure after surgery for congenital heart defects. *Am. J. Cardiol.* 2001; 88: 145–52.
  51. Dubin A.M., Feinstein J.A., Reddy V.M., Hanley F.L., Van Hare G.F., Rosenthal D.N. Electrical resynchronization: a novel therapy for the failing right ventricle. *Circulation.* 2003; 107: 2287–9.
  52. Stephenson E.A., Cecchin F., Alexander M.E., Triedman J.K., Walsh E.P., Berul C.I. Relation of right ventricular pacing in tetralogy of Fallot to electrical resynchronization. *Am. J. Cardiol.* 2004; 93 (11): 1449–52.
  53. Dubin A.M., Hanisch D., Chin C., Van Hare G.F., Collins K.K., Frandies C. et al. A prospective pilot study of right ventricular resynchronization [abstract]. *Heart Rhythm.* 2008; 5: 42.
  54. Thambo J.B., De Guillebon M., Xhaet O., Dos Santos P., Roubertie F., Labrousse L. et al. Biventricular pacing in patients with tetralogy of Fallot: non-invasive epicardial mapping and clinical impact. *Int. J. Cardiol.* 2013; 163 (2): 170–4.
  55. Thambo J.B., Dos Santos P., De Guillebon M., Roubertie F., Labrousse L., Sacher F. et al. Biventricular stimulation improves right and left ventricular function after tetralogy of Fallot repair: acute animal and clinical studies. *Heart Rhythm.* 2010; 7: 344–50.
  56. Zimmerman F.J., Starr J.P., Koenig P.R., Smith P., Hijazi Z.M., Bacha E.A. Acute hemodynamic benefit of multisite ventricular pacing after congenital heart surgery. *Ann. Thorac. Surg.* 2003; 75 (6): 1775–80.
  57. Bacha E.A., Zimmerman F.J., Mor-Avi V., Weinert L., Starr J.P., Sugeng L., Lang R.M. Ventricular resynchronization by multisite pacing improves myocardial performance in the postoperative single-ventricle patient. *Ann. Thorac. Surg.* 2004; 78 (5): 1678–83.
  58. Kass D.A. An epidemic of dyssynchrony: but what does it mean? *J. Am. Coll. Cardiol.* 2008; 51 (1): 12–7.
  59. Ryu K., D'Avila A., Heist E.K., Rosenberg S.P., Chou J., Yang M., Singh J.P. Simultaneous electrical and mechanical mapping using 3D cardiac mapping system: novel approach for optimal cardiac resynchronization therapy. *J. Cardiovasc. Electrophysiol.* 2010; 21 (2): 219–22.
  60. Fortescue E.B., Berul C.I., Cecchin F., Walsh E.P., Triedman J.K., Alexander M.E. Patient, procedural, and hardware factors associated with pacemaker lead failures in pediatrics and congenital heart disease. *Heart Rhythm.* 2004; 1 (2): 150–9.
  61. Sachweh J.S., Vazquez-Jimenez J.F., Schöndube F.A., Daebritz S.H., Dörge H., Mühler E.G., Messmer B.J. Twenty years experience with pediatric pacing: epicardial and transvenous stimulation. *Eur. J. Cardiothorac. Surg.* 2000; 17 (4): 455–61.
- epicardial electrode system in children with dilatation cardiomyopathy. *Annaly Aritmologii.* 2010; 7 (1): 43–54 (in Russ.).
5. Bockeria O.L. Nonmedicament techniques for heart failure in children. *Annaly Khirurgii.* 2009; 6: 43–51 (in Russ.).
  6. Young J.B., Abraham W.T., Smith A.L., Leon A.R., Lieberman R., Wilkoff B. et al. Combined cardiac resynchronization and implantable cardioversion defibrillation in advanced chronic heart failure: the MIRACLE ICD Trial. *JAMA.* 2003; 289 (20): 2685–94.
  7. Lister J.W., Klotz D.H., Jomain S.L., Stuckey J.H., Hoffman B.F. Effect of pacemaker site on cardiac output and ventricular activation in dogs with complete heart block. *Am. J. Cardiol.* 1964; 14: 494–503.
  8. Badke F.R., Boinay P., Covell J.W. Effects of ventricular pacing on regional left ventricular performance in the dog. *Am. J. Physiol.* 1980; 238: 858–67.
  9. Myerburg R.J., Nilsson K., Gelband H. Physiology of canine intraventricular conduction and endocardial excitation. *Circ. Res.* 1972; 30: 217–43.
  10. Spach M.S., Barr R.C. Analysis of ventricular activation and repolarization from intramural and epicardial potential distributions for ectopic beats in the intact dog. *Circ. Res.* 1975; 37: 830–43.
  11. Prinzen F., Vernoooy K., DeBoeck B., Delhaas T. Mechanoenergetics of the asynchronous and resynchronized heart. *Heart Fail Rev.* 2011; 16 (3): 215–24.
  12. Vernoooy K., Verbeek X.A., Peschar M., Crijns H.J., Arts T., Cornelussen R.N., Prinzen F.W. Left bundle branch block induces ventricular remodeling and functional septal hypoperfusion. *Eur. Heart J.* 2005; 26 (1): 91–8.
  13. Bockeria L.A., Bockeria O.L., Kulaga O.I. The use of resynchronization therapy in the treatment of heart failure in children and young adults: current state of the problem. *Annaly Aritmologii.* 2009; 6 (3): 5–14 (in Russ.).
  14. Bockeria O.L. Resynchronization in the treatment of heart failure in children. *Annaly Aritmologii.* 2008; 3: 50–7 (in Russ.).
  15. Baldasseroni S., Opasich C., Gorini M., Lucci D., Marchionni N., Marini M. et al. Left bundle-branch block is associated with increased 1-year sudden and total mortality rate in 5517 outpatients with congestive heart failure: a report from the Italian network on congestive heart failure. *Am. Heart J.* 2002; 143 (3): 398–405.
  16. Verbeek X.A., Vernoooy K., Peschar M., Cornelussen R.N., Prinzen F.W. Intra-ventricular resynchronization for optimal left ventricular function during pacing in experimental left bundle branch block. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2003; 42 (3): 558–67.
  17. Yu C.M., Chau E., Sanderson J.E., Fan K., Tang M.O., Fung W.H. et al. Tissue Doppler echocardiographic evidence of reverse remodeling and improved synchronicity by simultaneously delaying regional contraction after biventricular pacing therapy in heart failure. *Circulation.* 2002; 105 (4): 438–45.
  18. Klimusina J., De Boeck B.W., Leenders G.E., Faletra F.F., Prinzen F., Averaimo M. et al. Redistribution of left ventricular strain by cardiac resynchronization therapy in heart failure patients. *Eur. J. Heart Fail.* 2011; 13 (2): 186–94.
  19. Van Gelder B.M., Bracke F.A., Meijer A., Lakerveld L.J., Pijls N.H. Effect of optimizing the VV interval on left ventricular contractility in cardiac resynchronization therapy. *Am. J. Cardiol.* 2004; 93 (12): 1500–3.
  20. Alexander M.E., Berul C.I., Fortescue E.B., Blume E., Brown D., Triedman J.K. et al. Who is eligible for cardiac resynchronization therapy in pediatric cardiology [abstract]? *Heart Rhythm.* 2004; 1: S122–3.
  21. Stahlberg M., Lund L.H., Zabarovskaja S., Gadler F., Braunschweig F., Linde C. Cardiac resynchronization therapy: a breakthrough in heart failure management. *J. Intern. Med.* 2012; 272: 330–43.
  22. Rodriguez-Cruz E., Karpawich P.P., Lieberman R.A., Tantengco M.V. Biventricular pacing as alternative therapy for dilated cardiomyopathy associated with congenital heart disease. *Pacing Clin. Electrophysiol.* 2001; 24: 235–7.
  23. Janousek J., Tomek V., Chaloupecky V., Gebauer R.A. Dilated cardiomyopathy associated with dual-chamber pacing in infants: improvement through either left ventricular cardiac resynchronization or programming the pacemaker off allowing intrinsic normal conduction. *J. Cardiovasc. Electrophysiol.* 2004; 15: 470–4.
  24. Kakavand B., Douglas W.I., Manfredi J.A., Di Sessa T.G. Successful management of acute failure of the systemic right ventricle with cardiac resynchronization therapy. *Pediatr. Cardiol.* 2006; 27 (5): 612–3.

## References

1. Abraham W.T., Fisher W.G., Smith A.L., Delurgio D.B., Leon A.R., Loh E. et al. Cardiac resynchronization in chronic heart failure. *N. Engl. J. Med.* 2002; 346 (24): 1845–53.
2. Linde C., Ellenbogen K., McAlister F.A. Cardiac resynchronization therapy (CRT): clinical trials, guidelines, and target populations. *Heart Rhythm.* 2012; 9 (8 Suppl.): S3–13.
3. Bockeria L.A. Topical issues of diagnosis and treatment of terminal heart failure. In: Bockeria L.A., Golukhova E.Z. (eds) Lectures on cardiology. Vol. 3. Moscow: *Nauchnyy Tsentr Serdechno-Sosudistoy Khirurgii imeni A.N. Bakuleva RAMN*; 2001: 146–67 (in Russ.).
4. Bockeria L.A., Bockeria O.L., Kim A.I., Kisilitsina O.N., Kulaga O.I. Implantation of cardio-synchronized device with

25. Chen C.A., Wang S.S., Chiu S.N., Wu E.T., Lin M.T., Wang J.K., Wu M.H. Left ventricular reverse remodeling after successful cardiac resynchronization therapy in a 3-year-old girl with idiopathic dilated cardiomyopathy. *Int. J. Cardiol.* 2007; 117 (1): e7–9.
26. Gonzalez M.B., Schweigel J., Kostelka M., Janousek J. Cardiac resynchronization in a child with dilated cardiomyopathy and borderline QRS duration: speckle tracking guided lead placement. *Pacing Clin. Electrophysiol.* 2009; 32: 683–7.
27. Ortega M., Merino J.L., Blanco F.V., Gutierrez-Larraya F. Cardiac resynchronization therapy in an infant with double outlet right ventricle and mechanical dyssynchrony. *J. Cardiovasc. Electrophysiol.* 2012; 23: 781–3.
28. Hauser J., Michel-Behnke I., Khazen C., Laufer G., Pees C. Successful cardiac resynchronization therapy in a 1.5-year-old girl with dilated cardiomyopathy and functional mitral regurgitation. *Int. J. Cardiol.* 2013; 167: e83–4.
29. Janousek J., Tomek V., Chaloupecky V.A., Reich O., Gebauer R.A., Kautzner J., Hucin B. Cardiac resynchronization therapy: a novel adjunct to the treatment and prevention of systemic right ventricular failure. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2004; 44 (9): 1927–31.
30. Strieper M., Karpawich P., Frias P., Gooden K., Ketchum D., Fyfe D., Campbell R. Initial experience with cardiac resynchronization therapy for ventricular dysfunction in young patients with surgically operated congenital heart disease. *Am. J. Cardiol.* 2004; 94 (10): 1352–4.
31. Moak J.P., Hasbani K., Ramwell C., Freedenberg V., Berger J.T., DiRusso G., Callahan P. Dilated cardiomyopathy following right ventricular pacing for AV block in young patients: resolution after upgrading to biventricular pacing systems. *J. Cardiovasc. Electrophysiol.* 2006; 17 (10): 1068–71.
32. Khairy P., Fournier A., Thibault B., Dubuc M., Therien J., Vobecky S.J. Cardiac resynchronization therapy in congenital heart disease. *Int. J. Cardiol.* 2006; 109: 160–8.
33. Jauvert G., Rousseau-Paziaud J., Villain E., Iserin L., Hidden-Lucet F., Ladouceur M., Sidi D. Effects of cardiac resynchronization therapy on echocardiographic indices, functional capacity, and clinical outcomes of patients with a systemic right ventricle. *Europace.* 2009; 11 (2): 184–90.
34. Cecchin F., Frangini P.A., Brown D.W., Fynn-Thompson F., Alexander M.E., Triedman J.K. et al. Cardiac resynchronization therapy (and multisite pacing) in pediatrics and congenital heart disease: five years experience in a single institution. *J. Cardiovasc. Electrophysiol.* 2009; 20: 58–65.
35. Perera J.L., Motonaga K.S., Miyake C.Y., Avasarala K., Punnett R., Tierney E.S. et al. Does pediatric CRT increase the risk of ventricular tachycardia [abstract]? *Heart Rhythm.* 2013; 10: 210–1.
36. Dubin A.M., Janousek J., Rhee E., Strieper M.J., Cecchin F., Law I.H. et al. Resynchronization therapy in pediatric and congenital heart disease patients: an international multicenter study. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2005; 46 (12): 2277–83.
37. Janousek J., Gebauer R.A., Abdul-Khaliq H., Turner M., Kornyei L., Grollmu O. et al. Cardiac resynchronization therapy in paediatric and congenital heart disease: differential effects in various anatomical and functional substrates. *Heart.* 2009; 95 (14): 1165–71.
38. Bockeria L.A., Bockeria O.L., Bazaev V.A., Kisilitsina O.N., Soboleva N.N., Kulaga O.I. Results of resynchronized therapy application for heart failure treatment in children and young patients in A.N. Bakoulev SCCVS, RAMS. *Annaly Aritmologii.* 2011; 8 (2): 10–6 (in Russ.).
39. Valls-Bertault V., Fatemi M., Gilard M., Pennec P.Y., Etienne Y., Blanc J.J. Assessment of upgrading to biventricular pacing in patients with right ventricular pacing and congestive heart failure after atrioventricular junctional ablation for chronic atrial fibrillation. *Europace.* 2004; 6 (5): 438–43.
40. Leon A.R., Greenberg J.M., Kanuru N., Baker C.M., Mera F.V., Smith A.L. et al. Cardiac resynchronization in patients with congestive heart failure and chronic atrial fibrillation: effect of upgrading to biventricular pacing after chronic right ventricular pacing. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2002; 39 (8): 1258–63.
41. Bockeria O.L., Glushko L.A. Review of contemporary randomized controlled trials of resynchronized therapy application in patients with heart failure. *Annaly Aritmologii.* 2011; 8 (4): 29–35 (in Russ.).
42. Chen C.A., Hsiao C.H., Wang J.K., Lin M.T., Wu E.T., Chiu S.N. et al. Implication of QRS prolongation and its relation to mechanical dyssynchrony in idiopathic dilated cardiomyopathy in childhood. *Am. J. Cardiol.* 2009; 103: 103–9.
43. Gasparini M., Mantica M., Galimberti P., Genovese L., Pini D., Faletta F. et al. Is the outcome of cardiac resynchronization therapy related to the underlying etiology? *Pacing Clin. Electrophysiol.* 2003; 26 (pt 2): 175–80.
44. McLeod C.J., Shen W.K., Rea R.F., Friedman P.A., Hayes D.L., Wokhlu A. et al. Differential outcome of cardiac resynchronization therapy in ischemic cardiomyopathy and idiopathic dilated cardiomyopathy. *Heart Rhythm.* 2011; 8 (3): 377–82.
45. Friedberg M.K., Silverman N.H., Dubin A.M., Rosenthal D.N. Mechanical dyssynchrony in children with systolic dysfunction secondary to cardiomyopathy: a Doppler tissue and vector velocity imaging study. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2007; 20: 756–63.
46. Friedberg M.K., Roche S.L., Balasingam M., Stephenson E., Slo-rach C., Fackoury C., Kantor P.F. Evaluation of mechanical dyssynchrony in children with idiopathic dilated cardiomyopathy and associated clinical outcomes. *Am. J. Cardiol.* 2008; 101 (8): 1191–5.
47. Vogel M., Sponring J., Cullen S., Deanfield J.E., Redington A.N. Regional wall motion and abnormalities of electrical depolarization and repolarization in patients after surgical repair of tetralogy of Fallot. *Circulation.* 2001; 103 (12): 1669–73.
48. Uebing A., Gibson D.G., Babu-Narayan S.V., Diller G.P., Dimopoulos K., Goktekin O. et al. Right ventricular mechanics and QRS duration in patients with repaired tetralogy of Fallot: implications of infundibular disease. *Circulation.* 2007; 116 (14): 1532–9.
49. Abd El Rahman M.Y., Hui W., Yigitbasi M., Dsebissowa F., Schubert S., Hetzer R. et al. Detection of left ventricular asynchrony in patients with right bundle branch block after repair of tetralogy of Fallot using tissue-Doppler imaging-derived strain. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2005; 45 (6): 915–21.
50. Janousek J., Vojtovic P., Hucin B., Tlaskal T., Gebauer R.A., Gebauer R. et al. Resynchronization pacing is a useful adjunct to the management of acute heart failure after surgery for congenital heart defects. *Am. J. Cardiol.* 2001; 88: 145–52.
51. Dubin A.M., Feinstein J.A., Reddy V.M., Hanley F.L., Van Hare G.F., Rosenthal D.N. Electrical resynchronization: a novel therapy for the failing right ventricle. *Circulation.* 2003; 107: 2287–9.
52. Stephenson E.A., Cecchin F., Alexander M.E., Triedman J.K., Walsh E.P., Berul C.I. Relation of right ventricular pacing in tetralogy of Fallot to electrical resynchronization. *Am. J. Cardiol.* 2004; 93 (11): 1449–52.
53. Dubin A.M., Hanisch D., Chin C., Van Hare G.F., Collins K.K., Frandics C. et al. A prospective pilot study of right ventricular resynchronization [abstract]. *Heart Rhythm.* 2008; 5: 42.
54. Thambo J.B., De Guillebon M., Xhaet O., Dos Santos P., Roubertie F., Labrousse L. et al. Biventricular pacing in patients with tetralogy of Fallot: non-invasive epicardial mapping and clinical impact. *Int. J. Cardiol.* 2013; 163 (2): 170–4.
55. Thambo J.B., Dos Santos P., De Guillebon M., Roubertie F., Labrousse L., Sacher F. et al. Biventricular stimulation improves right and left ventricular function after tetralogy of Fallot repair: acute animal and clinical studies. *Heart Rhythm.* 2010; 7: 344–50.
56. Zimmerman F.J., Starr J.P., Koenig P.R., Smith P., Hijazi Z.M., Bacha E.A. Acute hemodynamic benefit of multisite ventricular pacing after congenital heart surgery. *Ann. Thorac. Surg.* 2003; 75 (6): 1775–80.
57. Bacha E.A., Zimmerman F.J., Mor-Avi V., Weinert L., Starr J.P., Sugeng L., Lang R.M. Ventricular resynchronization by multisite pacing improves myocardial performance in the postoperative single-ventricle patient. *Ann. Thorac. Surg.* 2004; 78 (5): 1678–83.
58. Kass D.A. An epidemic of dyssynchrony: but what does it mean? *J. Am. Coll. Cardiol.* 2008; 51 (1): 12–7.
59. Ryu K., D'Avila A., Heist E.K., Rosenberg S.P., Chou J., Yang M., Singh J.P. Simultaneous electrical and mechanical mapping using 3D cardiac mapping system: novel approach for optimal cardiac resynchronization therapy. *J. Cardiovasc. Electrophysiol.* 2010; 21 (2): 219–22.
60. Fortescue E.B., Berul C.I., Cecchin F., Walsh E.P., Triedman J.K., Alexander M.E. Patient, procedural, and hardware factors associated with pacemaker lead failures in pediatrics and congenital heart disease. *Heart Rhythm.* 2004; 1 (2): 150–9.
61. Sachweh J.S., Vazquez-Jimenez J.F., Schöndube F.A., Daebritz S.H., Dörge H., Mühler E.G., Messmer B.J. Twenty years experience with pediatric pacing: epicardial and transvenous stimulation. *Eur. J. Cardiothorac. Surg.* 2000; 17 (4): 455–61.

Поступила 28.04.2016

Принята к печати 19.05.2016