

<https://doi.org/10.29001/2073-8552-2020-35-3-14-31>
УДК 616.12-008.313:615.84]-053.2

Современные подходы к электрокардиостимуляции у детей с атриовентрикулярными блокадами: обзор литературы

Б.Н. Дамбаев, О.Ю. Джаффарова, Л.И. Свинцова, И.В. Плотникова,
А.В. Сморгон, С.Н. Криволапов, А.М. Гуляев

Научно-исследовательский институт кардиологии, Томский национальный исследовательский медицинский центр
Российской академии наук,
634012, Российская Федерация, Томск, ул. Киевская, 111а

Аннотация

В настоящее время электрокардиостимуляция является основным методом лечения у детей с жизнеугрожающими брадиаритмиями. Атриовентрикулярная блокада (АВБ) высокой степени остается основным показанием для постоянной электрокардиостимуляции в детском возрасте. Факторами, определяющими специфику имплантации устройств в педиатрической популяции, являются антропометрические данные ребенка и соответствие их размерам стимулятора и электродов, необходимость длительной (пожизненной) кардиостимуляции и многократной замены электрокардиостимулятора (ЭКС), высокий уровень активности ребенка, изменение физических размеров тела в динамике (необходимость имплантации электродов «с запасом» и их замены), в ряде случаев – сопутствующие врожденные пороки сердца (ВПС), особенно при наличии внутрисердечных шунтов. Одним из спорных вопросов детской кардиостимуляции остается выбор способа имплантации (эпикардиальный или эндокардиальный). Согласно публикациям последних лет, использование методик эпикардиальной имплантации электродов находит все большее применение как в силу более серьезных осложнений трансвенозной электрокардиостимуляции, так и в связи с возможностью выбора гемодинамически оптимальной зоны стимуляции при эпикардиальной методике для предотвращения пейсмекер-индуцированной диссинхронии. Такой подход позволяет максимально оттянуть установку эндокардиальной системы стимуляции, применение которой актуализирует нерешенную на сегодняшний день не только в России, но и в мире проблему эндоваскулярной экстракции электродов у детей. В статье представлен обзор литературы по применению постоянной ЭКС у детей, рассмотрены преимущества и недостатки применения эндокардиальной и эпикардиальной систем ЭКС, обсуждаются различные способы имплантации и режимы ЭКС, наиболее часто применяемые в педиатрической практике.

Ключевые слова:	электрокардиостимуляция, атриовентрикулярная блокада, дети, эпикардиальная и эндокардиальная система электрокардиостимуляции, зоны стимуляции, одно- и двухкамерная электрокардиостимуляция.
Конфликт интересов:	авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Прозрачность финансовой деятельности:	никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.
Соответствие принципам этики:	в обзор были включены статьи, темы и исследования которых соответствуют Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации.
Для цитирования:	Дамбаев Б.Н., Джаффарова О.Ю., Свинцова Л.И., Плотникова И.В., Сморгон А.В., Криволапов С.Н., Гуляев А.М. Современные подходы к электрокардиостимуляции у детей с атриовентрикулярными блокадами: обзор литературы. <i>Сибирский журнал клинической и экспериментальной медицины</i> . 2020;35(3):14–31. https://doi.org/10.29001/2073-8552-2020-35-3-14-31 .

A review of current approaches to pacing in children with atrioventricular blocks

Bair N. Dambaev, Olga Yu. Dzhaifarova, Liliya I. Svintsova, Irina V. Plotnikova, Andrey V. Smorgon, Sergey N. Krivolapov, Avenir M. Gulyaev

Cardiology Research Institute, Tomsk National Research Medical Center, Russian Academy of Sciences, 111a, Kievskaya str., Tomsk, 634012, Russian Federation

Abstract

Pacing is currently the main method of treatment in children with life-threatening bradyarrhythmias. The high-grade atrioventricular block remains the main indication for permanent pacing in children. The factors that determine the specificity of device implantation in the pediatric population are as follows: anthropometric data of a child and their compliance with the size of a pacemaker and the electrodes, the need for long-term (lifelong) cardiac stimulation and multiple replacements of a pacemaker, high level of child's activity, changes in the physical parameters of the body over time (the need for implantation of the leads "with reserve" and their replacement), and, in some cases, the presence of concomitant congenital heart defects, especially, with intracardiac shunts. One of the controversial issues in pediatric cardiac stimulation is choosing a method of implantation (epicardial or endocardial). According to recent reports, the epicardial lead implantation techniques are increasingly being used because the transvenous pacemakers are associated with more serious complications and due to the capability to choose hemodynamically optimal stimulation zone in epicardial technique to prevent pacemaker-induced dyssynchrony. This approach allows to ultimately postpone the implantation of the endocardial stimulation system, administration of which is associated with the problem of endovascular lead extraction in children, the problem, which has not been resolved not only in Russia but also worldwide. This review article discusses recent literature on the use of permanent pacing in children, including the advantages and disadvantages of using the endocardial and epicardial pacemaker systems as well as various methods of implantation and pacemaker modes most often used in pediatric practice.

Keywords:	pacing, atrioventricular block, children, epicardial and endocardial pacing, zones of pacing, one- and two-chamber pacing.
Conflict of interest:	the authors do not declare a conflict of interest.
Financial disclosure:	no author has a financial or property interest in any material or method mentioned.
Adherence to ethical standards:	the review contains manuscripts, studies of which correspond to WMA declaration of Helsinki.
For citation:	Dambaev B.N., Dzhaifarova O.Yu., Svintsova L.I., Plotnikova I.V., Smorgon A.V., Krivolapov S.N., Gulyaev A.M. A review of current approaches to pacing in children with atrioventricular blocks. <i>Siberian Journal of Clinical and Experimental Medicine</i> . 2020;35(3):14–31. https://doi.org/10.29001/2073-8552-2020-35-3-14-31 .

Введение

Электрокардиостимуляция была введена в клиническую практику несколько десятилетий назад и все чаще используется в педиатрии [1]. У детей основной причиной имплантации электрокардиостимулятора (ЭКС) является наличие жизнеугрожающих брадиаритмий, таких как атриовентрикулярная блокада (АВБ), синдром слабости синусового узла и бинодальная патология, которые могут быть как врожденными, так и возникающими на фоне или после перенесенного миокардита, либо развивающимися как осложнения после хирургической коррекции врожденных пороков сердца (ВПС) [2].

АВБ высокой степени остается основным показанием для постоянной электрокардиостимуляции в детском возрасте. В настоящее время имплантация системы ЭКС для постоянной стимуляции является распространенной процедурой у пациентов с врожденными и приобретенными пороками сердца, после кардиохирургических операций, АВБ даже у новорожденных и детей младшего возраста [3, 4].

Introduction

Cardiac pacing has been introduced into clinical practice decades ago and its use is on the rise in pediatrics [1]. The main reason for cardiac pacemaker implantation in children is the presence of life-threatening bradyarrhythmias such as atrioventricular (AV) block, sick sinus syndrome (SSS), and bimodal pathology, all of which may be either congenital or acquired due to the ongoing or past myocarditis or a complication after surgical correction of congenital heart defects (CHD) [2]. High-degree AV block remains the main indication for permanent cardiac pacing in children. The implantation of a pacing system for permanent stimulation is a common procedure in patients with congenital and acquired heart defects, AV block, and after cardiac surgery even in newborns and young children [3, 4].

However, the use of permanent pacing in children remains a challenging task. Many pediatric issues including the anthropometric characteristics, their rapid change due to child's growth, the need for multiple

Однако применение постоянной стимуляции у детей остается сложной задачей. Многие педиатрические проблемы, такие как антропометрические характеристики, их быстрое изменение по мере роста ребенка, необходимость многократной замены системы ЭКС в течение жизни, сопутствующие ВПС, наличие остаточных внутрисердечных шунтов, активный образ жизни должны быть рассмотрены при решении вопроса об имплантации ЭКС. Выбор оптимальной системы ЭКС для ребенка требует четкого понимания основных характеристик современных аппаратов и показаний к постоянной стимуляции, преимуществ и недостатков тех или иных режимов стимуляции и способов имплантации ЭКС и электродов, интенсивного физического развития ребенка и возможных осложнений [2].

Краткая история электрокардиостимуляции и ее исторические аспекты в детской практике

Электрокардиостимуляция применяется с конца 50-х гг. прошлого столетия. Прогресс детской кардиохирургии способствовал значительному развитию электрокардиостимуляции, поскольку безупречно выполненные внутрисердечные коррекции ВПС часто сопровождались развитием АВБ сердца [1].

Первые опыты применения ЭКС

1932 г. – А. Хайман (Albert Hyman) продемонстрировал собственный аппарат artificial pacemaker (искусственный водитель ритма – ИВР).

В начале 1950-х гг. создан первый портативный ЭКС с питанием от сети. К сожалению, первые устройства для ЭКС были громоздкими, из-за чего их приходилось катать на тележках (каталках).

В истории электрокардиостимуляции конец 1950-х – начало 1960-х гг. были ознаменованы важными событиями. Всемирно известный кардиохирург У. Лиллехей (Walton Lillehei) обратился в компанию Medtronic с просьбой придумать «что-нибудь получше» с целью усовершенствования физических параметров ЭКС. Так, в 1957 г. Эрл Баккен (Earl E. Bakken), являвшийся соучредителем Medtronic Inc., выпустил первый переносной ЭКС с питанием от батареи, который после четырех недель экспериментов уже использовался в клинической практике. Однако часто возникали инфекционные осложнения, связанные с электродами, и было очевидно, что необходимо создание полностью имплантируемого ЭКС.

8 октября 1958 г. считается основной отправной точкой в истории электрокардиостимуляции по всему миру. В этот день хирург А. Сеннинг (Ake Senning) посредством левосторонней торакотомии имплантировал пациенту по имени А. Ларсон (Arne Larsson) два миокардиальных электрода и первый имплантируемый ЭКС, созданный Р. Элмквистом (R. Elmquist), рисунок 1.

К концу 1970-х гг. были произведены первые двухкамерные системы ЭКС, позволявшие достигнуть синхронного сокращения между предсердиями и желудочками. В 1980-х гг. были созданы первые электроды со стероидным покрытием.

Аппараты ЭКС за свой непродолжительный период применения в клинической практике претерпели значительные усовершенствования: уменьшение размеров; увеличение продолжительности срока службы батареи; создание двухкамерных (секвенциальных) моделей; разработка различных вариантов частотно-адаптивных аппаратов [1].

replacements of a pacing system over a lifetime, concomitant CHD, the presence of residual intracardiac shunts, and active lifestyle should be considered while making a decision regarding an implantation of pacing system. The choice of pacing system for a child requires a clear understanding of the main characteristics of cutting-edge devices, indications for permanent pacing, advantages and disadvantages of stimulation, approaches to implantation of a cardiac pacing system and the leads, physical growth and development of a child, and potential complications [2].

Brief history and historical aspects of cardiac pacing in pediatric practice

Cardiac pacing has been used since the late 1950s. The progress in pediatric cardiac surgery contributed to a significant development of cardiac pacing because the impeccably performed intracardiac corrections of CHD were frequently associated with the development of AV block [1].

Early experience of implementing pacing systems

1932: Albert Hyman demonstrated the self-designed artificial pacemaker apparatus.

In the beginning of 1950s, the first portable mains-powered pacemaker system was created. Unfortunately, the first devices for cardiac pacing were bulky so they required to be driven about on carts.

The time from the late 1950s to early 1960s was marked by significant events in the history of cardiac pacing. World-famous cardiac surgeon Walton Lillehei contacted the Medtronic company and requested to invent something better to improve physical parameters of cardiac pacemakers. Indeed, in 1957, Earl E. Bakken, a cofounder of the Medtronic Inc., produced the first portable pacemaker with battery power, which was used in clinical practice as early as four weeks after the experiments. However, the infectious complications associated with the leads were quite common so it became evident that the creation of a fully implantable pacemaker system is necessary.

October 8, 1958 is known as a new departure in the worldwide history of pacing. At that day, a surgeon Ake Senning implanted, through the left thoracotomy, two miniature electrodes and the first implantable cardiac pacemaker, created by R. Elmquist, to a patient whose name was Arne Larsson (Fig. 1).

In the late 1970s, two-chamber cardiac pacemakers were created for the first time allowing to achieve synchronous contractions between the atria and ventricles. The first steroid-eluting epicardial pacing leads were developed in 1980s.

During a short period of being used in clinical practice, cardiac pacing devices underwent significant improvements, namely: size reduction, increase in duration of battery life, creation of two-chamber models, and development of diverse variants of rate-responsive pacing [1].



Рис. 1. Р. Элмквист, А. Сеннинг и А. Ларсон (слева направо)
Fig. 1. R. Elmqvist, A. Senning, and A. Larsson (from left to right)

Показания к имплантации ЭКС у детей

Ежегодно отмечается рост числа детей и пациентов молодого возраста с постоянными ЭКС, но количество имплантируемых ЭКС в детском возрасте, включая новорожденных, составляет не более 1% всех ЭКС в мире [5]. В связи с этим компании-производители ИВР не предусматривают дальнейшую разработку специальных детских систем ЭКС, отчего применение ЭКС у детей требует высокого профессионализма специалистов, сталкивающихся с данной проблемой в клинической практике. Технические усовершенствования стимулирующих систем привели к появлению современных физиологических ЭКС, которые по своим размерам и возможностям достаточно безопасно применяются у детей любого возраста [6–9]. Все достижения как в техническом, так и в программном обеспечении кардиостимуляторов служат основной цели – адекватной электрической коррекции нарушений ритма и проводимости сердца таким образом, чтобы моделировать естественную, свойственную сердцу электрическую функцию.

Естественно, научно-технический прогресс позволил разрешить ряд проблем, к примеру, высокий порог стимуляции при эпикардиальной системе ЭКС удалось преодолеть путем создания новых эпикардиальных электродов со стероидным покрытием, что дает возможность снизить воспалительный процесс в раннем послеоперационном периоде [1, 10]. Более того, продолжающаяся техническая революция физики электричества способствует созданию более усовершенствованных систем ЭКС и минимизации их размеров, соответственно, улучшилось качество стимулирующих систем. Примером тому являются ЭКС нового поколения без электродов – Medtronic Micra и Nanostim. Эти устройства характеризуются малыми размерами (не больше колпачка ручки) и устанавливаются прямо в сердце. Значительный объем самого ЭКС занимает батарейка. По мере истощения срока службы батареи необходимо провести хирургическую операцию по ее замене, хотя в настоящее время многие специалисты ищут пути разрешения данной проблемы посредством беспроводной электромагнитной подзарядки. К сожалению, опыт клинического применения данных девайсов недостаточен, из-за чего на сегодняшний день они не могут использоваться в детской практике, к тому же у них имеются свои недостатки при использовании в клинической практике [11, 12].

Indications to cardiac pacemaker implantation in children

Evidence suggests that the number of children and young-age patients with permanent cardiac pacemakers is increased annually, but the number of implanted pacemakers in children including newborns does not exceed 1% of all pacemakers in the world [5]. In this regard, the companies producing pacemakers do not intend a further development of special pediatric pacemaker systems so the administration of pacemakers in children requires high professionalism from the specialists facing this problem in clinical practice. The technological improvements of pacing systems has resulted in the development of state-of-the-art physiological cardiac pacemakers, which are safely used in children of any age due to their sizes and abilities [6–9]. All achievements of both technological and software provision of cardiac pacemakers serve to the ultimate aim of adequate electrical correction of heart rhythm and conduction disorders through the modeling of natural electrical function native to the heart.

It is natural that the scientific-technological progress provided a way to solve some problems, for example, a high threshold of stimulation in case of epicardial pacemaker system. This issue was overcome through the creation of new steroid-eluting epicardial pacing leads, which allow to decrease the inflammatory process in the early postoperative period [1, 10]. Moreover, the continuing technological revolution in the physics of electricity contributes to the creation of more advanced cardiac pacemaker systems and to the minimization of their sizes. Therefore, the quality of cardiac pacemaker systems has improved. Case in point is a leadless cardiac pacemaker system Medtronic Micra and Nanostim. These devices are characterized by small sizes not exceeding a pen lid and are placed directly into the heart. A power battery takes a significant volume of the cardiac pacemaker.

As the battery depletes, surgery is necessary to replace it, although many experts are currently looking for ways to solve this problem through wireless electromagnetic charging. Unfortunately, the experience of clinical use of these devices is insufficient, which is why today

Специалисты аритмологи-кардиологи сталкиваются с рядом задач, которые должны быть решены, учитывая все анатомо-физиологические особенности ребенка и перспективы длительной стимуляции. Основная цель имплантации ЭКС – это не только адекватное восстановление сердечного ритма, но также минимизация возможных осложнений (побочных эффектов), связанных как с самой процедурой имплантации, так и с последствиями длительной электрокардиостимуляции сердца.

Показания к имплантации ЭКС корректировались по мере поступления новой информации и совершенствования технологий в развитии системы данного метода лечения брадиаритмий. Изначально ЭКС использовались только для ведения пациентов с послеоперационными АВБ [1]. В последующем технические параметры, возможности ЭКС и их программы расширились, что позволило применять ЭКС и в других клинических ситуациях, сопровождающихся выраженной брадикардией или значимыми паузами ритма.

Рекомендации по применению ЭКС у детей разработаны различными ассоциациями и сообществами и достаточно полезны в ежедневной практике врача. Однако следует помнить, что уровень доказанности для этих рекомендаций низкий. Большинство рекомендаций для детей, нуждающихся в постоянной стимуляции, не подтверждены проспективными исследованиями и основываются на мнении экспертов [4, 5, 13–15]. Основным показанием к имплантации ЭКС в детской практике является наличие симптоматики (приступы Морганы – Адамса – Стокса, низкая толерантность к физической нагрузке, быстрая утомляемость), выраженная брадикардия (менее 55 уд./мин – у детей до 1 года, менее 50 уд./мин – у детей старше 1 года, менее 40 уд./мин – в подростковом периоде) и продолжительность асистолии более 3 с. [14], хотя все эти критерии в большей степени носят рекомендательный характер.

На сегодняшний день специалисты используют показания к имплантации ЭКС у детей, опубликованные в обзоре рабочей группы Европейской Ассоциации аритмологов и Ассоциации Европейских детских кардиологов (2013) [14]. Ниже приведены показания для имплантации ЭКС, представленные в данной публикации, у детей с АВБ.

Показания к имплантации ЭКС у детей с врожденной АВБ (ВАВБ) 3-й степени:

Класс I

Полная ВАВБ у новорожденного или младенца с желудочковой частотой ритма менее 55 уд./мин или в сочетании с ВПС и желудочковой частотой ритма менее 70 уд./мин (уровень достоверности доказательств С).

Полная ВАВБ в сочетании с широко комплексным замещающим ритмом, желудочковой эктопией или желудочковой дисфункцией (В).

Полная ВАВБ после первого года жизни со средней частотой сердечных сокращений (ЧСС) менее 50 уд./мин; внезапные паузы желудочкового ритма, в 2–3 раза превышающие базовый ритм; симптомы, ассоциированные с хронотропной некомпетентностью (В).

Класс II

Полная ВАВБ у асимптомных детей и подростков с приемлемой ЧСС, узкими комплексами QRS и нормальной функцией желудочков (С).

Показания к имплантации ЭКС у детей с послеоперационной АВБ:

they cannot be used in pediatric practice, moreover, they have their own drawbacks when used in clinical practice. A battery discharge requires a surgery for battery replacement though many specialists are currently searching the ways to solve this problem via the wireless electromagnetic recharge. Unfortunately, the experience of clinical use of these devices is insufficient, which hampers their implementation in pediatric practice. Moreover, they have their own disadvantages when used clinically [11, 12].

The arrhythmologists-cardiologists face some issues, which should be solved considering all anatomical and physiological characteristics of a child and prospects for long-term stimulation. The main aim of a cardiac pacemaker implantation is not only the adequate restoration of heart rhythm, but also a minimization of possible complications (side effects) associated with both the implantation procedure itself and the consequences of a long-term cardiac pacing.

The indications for cardiac pacemaker implantation were corrected in accordance with updated information and technological improvement in the development of system for treatment of bradyarrhythmias. Cardiac pacemakers were initially used only for a management of patients with postoperative AV blocks [1]. Later, the technical parameters, capabilities of cardiac pacemakers, and their programming were expanded, which allowed to use pacemakers in other clinical situations associated with severe bradycardia or significant pauses in the rhythm.

The recommendations on the use of cardiac pacemakers in children have been developed by the different associations and societies and are quite useful in everyday practice of a physician. However, one should remember that the evidence grade of these recommendations is low. Majority of recommendations for children who require permanent stimulation are not supported by prospective studies and are based on the expert opinion [4, 5, 13–15]. The main indications for cardiac pacemaker implantation in pediatric practice include the presence of symptoms (Stokes-Adams attacks, low tolerance to physical exercise, and rapid fatigability), severe bradycardia (less than 55 beats per minute (bpm) in children younger than one year, less than 50 bpm in children older than one year, and less than 40 bpm in teenagers), and duration of asystole for over 3 s [14] though all these criteria are mostly advisory rather than mandatory. The specialists currently use the indications to cardiac pacemaker implantation to children published in the review of a working group of the European Heart Rhythm Association and the Association of European Pediatric Cardiology (2013) [14]. The indications to cardiac pacemaker implantation in children and AV block are given below in this paper.

Indications to cardiac pacemaker implantation in children with third-degree or complete congenital AV block (CAVB):

Class I

Complete CAVB in a newborn or a baby with ventricular heart rate less than 55 bpm or in a combination with congenital heart disease and ventricular heart rhythm less than 70 bpm (the level of evidence C).

Complete CAVB in combination with broad complex escape rhythm, ventricular ectopy, or ventricular dysfunction (B).

Класс I

Послеоперационная АВБ 2-й или 3-й степени, не решающаяся или персистирующая в течение 7 дней после операции (B).

Класс IIb

Преходящая послеоперационная АВБ 3-й степени в сочетании с двухпучковой блокадой (C).

Показания к имплантации ЭКС у детей с АВБ других причин:

Класс I

Далеко зашедшая АВБ 2-й степени или АВБ 3-й степени, ассоциированная с симптомной брадикардией, нарушением функции желудочков или низким сердечным выбросом (C).

Нейромышечные заболевания, ассоциированные с нарушением АВ-проводимости (к примеру, миотоническая мышечная дистрофия, синдром Кернс – Сейра и т. д.).

Полная АВБ или далеко зашедшая АВБ 2-й степени с наличием или без симптомов (B).

Класс IIb

АВБ других степеней из-за непредсказуемости прогрессирования нарушения АВ-проводимости (B).

Уровень доказанности во всех пунктах не позволяет с полной уверенностью полагаться на данные критерии при принятии решения об имплантации ЭКС. Зачастую в клинической практике возникают спорные моменты, касающиеся необходимости имплантации ЭКС, и, как правило, многие клиницисты ориентируются на собственный опыт и возможности клиники. Тем не менее, наличие данных показаний облегчает принятие решения об имплантации ЭКС у детей.

Показания к имплантации ЭКС у детей, изложенные в рекомендациях Министерства здравоохранения Российской Федерации (2016) [15]:

I. ВАВБ. Электрокардиостимуляция показана для симптомных и асимптомных пациентов с АВБ высокой степени или полной АВБ при наличии любого из следующих условий (1C):

- систолическая дисфункция системного желудочка;
- удлинение скорректированного интервала QT;
- желудочковая эктопия (экстрасистолия, желудочковая тахикардия);
- замещающий ритм с широкими желудочковыми комплексами;
- ритм желудочков менее 50 уд./мин;
- паузы ритма, более чем в 3 раза превышающие базовый ритм.

II. Послеоперационная АВБ 2-3-й степени, персистирующая в течение более 10 дней после выполнения кардиохирургического вмешательства (1B).

III. Нейромышечные заболевания, ассоциированные с АВБ 2-3-й степени с наличием или без симптомов (1B).

IV. Послеоперационная персистирующая асимптомная бифасцикулярная блокада (с нормальным или увеличенным интервалом PQ) в сочетании с преходящей полной АВБ (2C).

Однако следует отметить, что уровень доказанности во всех пунктах не соответствует классу IA. Следовательно, вопрос о необходимости имплантации ЭКС следует тщательно рассматривать для каждого конкретного пациента. Таким образом, в настоящее время не существует

Complete CAVB after the first year of life with average heart rate of less than 50 bpm; sudden pauses in the ventricular rhythm exceeding the baseline R-R intervals by two to three times; and symptoms associated with chronotropic incompetence (B).

Class II

Complete CAVB in asymptomatic children and adolescents with acceptable heart rate, narrow QRS complexes, and normal ventricular function (C).

Indications to cardiac pacemaker implantation in children with postoperative AV block:

Class I

Second- or third-degree postoperative AV block, which does not resolve or which persists for seven days after surgery (B).

Class IIb

Transient complete postoperative AV block in combination with bifascicular heart block (C).

Indications to cardiac pacemaker implantation in children with AV block of other causes:

Class I

Advanced second- or third-degree AV block associated with symptomatic bradycardia, abnormal ventricular function, or low cardiac output (C).

Neuromuscular diseases associated with abnormal AV conduction (for example, myotonic dystrophy, Kearns-Sayre syndrome, etc.)

Symptomatic or asymptomatic complete AV block or advanced second-degree AV block (B).

Class IIb

AV block of other degrees due to unpredictability of progressing abnormalities in AV conduction (B).

The level of evidence in all paragraphs does not allow to rely on these criteria with great confidence while making a decision on cardiac pacemaker implantation.

The controversial points often occur in clinical practice in regard to the necessity of cardiac pacemaker implantation and, as a rule, many clinicians rely on their own experience and capabilities of available clinical services. Nevertheless, the presence of these indications facilitates a decision making on cardiac pacemaker implantation in children.

Indications to cardiac pacemaker implantation in children according to the recommendations of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation (2016) [15]:

I. CAVB. Cardiac pacing is indicated to symptomatic and asymptomatic patients with high-degree AV block or complete AV block in the presence of any of the following conditions (1C):

- systolic dysfunction of systemic ventricle;
- prolonged corrected QT interval;
- ventricular ectopy (extrasystoles, ventricular tachycardia);
- substituting rhythm with wide ventricular complexes;
- ventricular rhythm with heart rate less than 50 bpm;
- pauses in the rhythm exceeding the baseline R-R intervals by three times.

II. Postoperative second- or third-degree AV block persisting for over 10 days after cardiac surgery intervention (1B).

общепринятых показаний для имплантации ЭКС у детей. После 2013 г. других опубликованных показаний не было, несмотря на накопленный за эти годы опыт имплантации ЭКС. В большинстве случаев многие клиники ориентируются на собственный опыт и отдаленные результаты кардиостимуляции у детей.

Выбор системы ЭКС: эпи или эндо?

Целью постоянной ЭКС у пациентов с полной АВБ является восстановление оптимального ритма и ЧСС, обеспечение стабильности гемодинамики и, следовательно, улучшение самочувствия пациента. Эта цель может быть достигнута в результате оптимального выбора способа имплантации.

Каждый метод имплантации (эпикардиальный и эндокардиальный) имеет свои преимущества и недостатки [16–18] (таблица).

Таблица. Преимущества и недостатки эпи- и эндокардиальной системы ЭКС

Преимущества и недостатки		Способ имплантации электродов	
№		Эпикардиальный	Эндокардиальный
1.	Доступ	Срединная стернотомия, боковая торакотомия, субксифоидальный доступ	Разрез в подключичной области
2.	Ложе ЭКС	В передней брюшной стенке, под прямой мышцей живота	Под малую или большую грудную мышцу
3.	Стероидное покрытие электродов	+	+
4.	Наличие активной и пассивной фиксации электродов	+	+
5.	Определение точки стимуляции перед фиксацией	+/-	+
6.	Инфекционные осложнения	+	+
7.	Перелом электрода	+	+/-
8.	Тромбоз вен	–	+
9.	Проблема экстракции электродов	+/-	+
10.	Блокада выхода	+	+/-
11.	Дислокация электрода	+/-	+
12.	Перфорация сердечной стенки	–	+
13.	Бактериальный эндокардит	–	+
14.	Пневмоторакс	+/-	+
15.	Недостаточность ТК	–	+
16.	Гематома или воздух в ложе ЭКС Hematoma or air in the pacemaker bed	+	+
17.	Диссинхрония	При длительной стимуляции боковой стенки или выходного отдела правого желудочка	При стимуляции верхушки и боковой стенки правого желудочка
18.	Странгуляция	+/-	–

Примечание: «+» – присутствует/возможно; «+/-» – редко; «–» – отсутствует.

III. Neuromuscular diseases associated with symptomatic or asymptomatic second- or third-degree AV block (1B).

IV. Postoperative persisting asymptomatic bifascicular heart block (with normal or prolonged PQ interval) in combination with transient complete AV block (2C).

However, one should note that the level of evidence in all paragraphs does not correspond to class IA. Therefore, the question on necessity of cardiac pacemaker implantation should be carefully viewed for each patient. Therefore, there are currently no commonly accepted indications for cardiac pacemaker implantation in children. After 2013, there were no other published indications despite the experience on cardiac pacemaker implantation has accumulated during these years. In the majority of cases, many clinics rely on their own experience and long-term results of cardiac pacing in children.

The choice of cardiac pacemaker system: Epi- or endo-?

Permanent cardiac pacing in patients with complete AV block aims at restoring optimal rhythm and heart rate, maintaining stable hemodynamics, and, therefore, improving health of patients. This aim may be achieved as a result of optimal choice of implantation approach.

Each method of implantation (epicardial and endocardial) has its advantages and disadvantages [16–18], Table.

Table. Advantages and disadvantages of epi- and endocardial pacing

Advantages and disadvantages		The method of lead implantation	
No.		Epicardial	Endocardial
1	Approach	Median sternotomy, lateral thoracotomy, subxiphoid approach	Subclavian incision
2	Pacemaker bed	In the anterior abdominal wall, under the rectus abdominis muscle	Under the pectoralis minor or pectoralis major muscle
3	Steroid-eluting leads	+	+
4	Active and passive lead fixation	+	+
5	Determination of the stimulation point before fixation	+/-	+
6	Infectious complications	+	+
7	Lead breaking	+	+/-
8	Venous thrombosis	–	+
9	Electrode extraction problem	+/-	+
10	Exit block	+	+/-
11	Lead dislocation	+/-	+
12	Heart wall perforation	–	+
13	Bacterial endocarditis	–	+
14	Pneumothorax	+/-	+
15	Tricuspid valve insufficiency	–	+
16	Hematoma or air in the pacemaker bed	+	+

При сравнении различных осложнений при эпи- и эндокардиальных локализациях электродов установлено, что при использовании эпикардиальных электродов наиболее часто наблюдаются переломы и блокады выхода, сопровождающиеся повышением порога стимуляции, а также риски, связанные с торакальной хирургией; а при использовании трансвенозных электродов – нарушение изоляции и дислокация электродов, а также перфорация и тампонада сердца, венозные тромбозы [16], пневмоторакс. Имплантированные эндокардиальные электроды приводят к значительному риску развития венозного тромбоза у младенцев и маленьких детей. Проблема венозной проходимости у детей, нуждающихся в пожизненной стимуляции, является одним из основных аргументов в пользу эпикардиальной системы [16, 19, 20]. Полная венозная обструкция была зарегистрирована у 1121% детей в среднесрочном периоде наблюдения [16, 21, 22]. Частичная венозная обструкция может наблюдаться еще у 12% детей, которым имплантировали эндокардиальную систему ЭКС. Обструкция вен может иметь место по всей протяженности электродов.

Дополнительную проблему при эндокардиальной электрокардиостимуляции в педиатрии представляет так называемая «скупенность» электродов вследствие их реимплантации, возможно, неоднократной. А поскольку электрокардиостимуляция необходима на протяжении нескольких десятилетий, то большое количество электродов лишь усугубляет нарушения внутрисердечной гемодинамики, проходя через трансвенозный клапан. Кроме того, при использовании эндокардиальной стимуляции вызывают опасения такие грозные осложнения, как перфорация клапана, инфекционные осложнения и, как следствие, риск развития бактериального эндокардита [23]. Инфекционные осложнения, связанные с инфицированием имплантированных устройств, по данным разных авторов, составляют от 1 до 19%. При этом окончательное излечение пациента возможно только при полном удалении инфицированных электродов и корпуса ЭКС.

Еще одним редким, но потенциально опасным механическим осложнением, связанным с имплантацией эпикардиальной системы ЭКС у детей, является странгуляция сердца, которая вызывает сдавление сердца или магистральных сосудов [24, 25]. С ростом ребенка электрод сдавливает сердце и может привести к стенозу коронарных артерий. Особое внимание должно быть уделено детям, которым эпикардиальная электрокардиостимуляция была выполнена в возрасте до 6 мес., в связи с тем, что у них происходит более интенсивный физический рост, повышается вероятность формирования сердечной странгуляции вследствие наличия электродов в средостении. Сердечная странгуляция может быть заподозрена при проведении эхокардиографии, рентгенографии органов грудной клетки в двух проекциях (передней и левой боковой), причем именно рентгенограмма в боковой проекции, по мнению E.M. Carreras и соавт., считается предпочтительной для диагностики данного осложнения [24].

Тем не менее с учетом современных мировых тенденций и опыта ведущих зарубежных клиник на сегодняшний день возраст и вес пациента не должны быть абсолютными критериями выбора способа имплантации ИВР, а первичная имплантация системы ЭКС у ребенка любого возраста должна быть по возможности эпикардиальной [18, 26].

End of table

Advantages and disadvantages		The method of lead implantation	
		With prolonged stimulation of the lateral wall or outlet of the right ventricle	During stimulation of the apex and lateral wall of the right ventricle
17	Dyssynchrony		
18	Strangulation	+/-	-

Note: + – present/potentially; +/- – rarely; – – absent.

The comparison of different complications between the epi- and endocardial localizations of pacemaker leads showed that the use of epicardial leads was associated most often with the lead fractures and exit blocks followed by an increase in the stimulation threshold and the risks of thoracic surgery. The most frequent complications in case of transvenous leads consisted in disrupted lead isolation and dislocation, cardiac perforation and tamponade, venous thrombosis [16], and pneumothorax.

Implanted endocardial leads lead to a significant risk of developing venous thrombosis in infants and small children. The problem of venous patency in children, who require life-long stimulation, is one of the main arguments for the epicardial system [16, 19, 20]. Complete venous obstruction was registered in 11–21% of children in the medium term observation [16, 21, 22]. Partial venous obstruction may be observed in 12% of children implanted with endocardial pacemaker system. The venous obstruction may take place along the entire lead length.

Additional problem of endocardial pacing in pediatrics is the so-called lead crowding due to the lead reimplantation, which may recur. Considering that cardiac pacing is required for several decades, the large number of leads worsens the abnormal intracardiac hemodynamics passing through the transvenous valve. Besides, the use of endocardial pacemaker raises concerns for such threatening complications as valve perforation, infectious complications, and, as a consequence, the risk of bacterial endocarditis onset [23]. The rate of infectious complications associated with the infection contamination of implanted devices ranges from 1% to 19% according to data of different authors. Thereby, a full recovery of a patient is possible only in case of complete pacemaker and lead extraction.

Another rare, but potentially life-threatening mechanical complication, associated with the epicardial pacemaker system implantation in children, is cardiac strangulation, which causes compression of the heart or great vessels [24, 25]. As the child grows, the lead compresses the heart and it can lead to stenosis of the coronary arteries. Particular attention should be paid to children who underwent epicardial pacing before the age of six months because they have more intensive physical growth and the likelihood of cardiac strangulation increases due to the presence of the leads in the mediastinum. Cardiac strangulation can be suspected based on data of echocardiography and chest X-ray in two projections (anterior and left lateral). According to E.M. Carreras et al., the lateral X-ray is considered the preferred method for diagnosing this complication [24].

В последние годы медицинское сообщество столкнулось с проблемой экстракции эндокардиальных электродов, которая в настоящее время в большинстве случаев осуществляется в процессе операции на открытом сердце с использованием искусственного кровообращения (ИК), а методики миниинвазивного лазерного или механического удаления электродов у детей пока не получили положительных результатов не только в России, но и в мире [17, 27].

В 2016 г. к известным показаниям к имплантации ЭКС у детей добавлены комментарии Министерства здравоохранения Российской Федерации [15], касающиеся способа имплантации ЭКС относительно веса пациентов. Согласно этим комментариям, предлагается до достижения ребенком веса 15 кг проводить имплантацию ЭКС с использованием только эпикардиальных электродов. Эндокардиальная имплантация электродов допустима по достижении ребенком массы тела, равной 15 кг. При массе тела от 15 до 19 кг имплантируется однокамерная эндокардиальная система, при массе тела 20 кг и более – двухкамерная эндокардиальная система.

Масса тела в педиатрии определенно играет существенную роль в дозировании лекарственных препаратов, выборе тактики лечения ребенка. Однако стоит помнить, что ориентироваться только на один показатель массы тела при принятии решения об имплантации ЭКС недопустимо, следует учитывать и другие не менее важные факторы, к примеру, необходимость пожизненной электрокардиостимуляции, повторные оперативные вмешательства, преимущества и недостатки эпи- и эндокардиальных электродов в каждой клинической ситуации.

Согласно результатам последних исследований, вес пациента не является абсолютным критерием выбора системы ЭКС. Использование той или иной системы ЭКС зависит от опыта конкретного кардиохирургического центра. Таким образом, выбор способа имплантации ИВР для постоянной электрокардиостимуляции остается дискуссионной проблемой и достаточно сложным решением для практикующего врача.

Показания к эпикардиальной системе ЭКС у детей [1, 18, 26, 27]

- Аномалии вен или пороки, препятствующие трансвенозному введению электрода (атрезия трикуспидального клапана – ТК), либо состояния после гемодинамической коррекции ВПС (процедура Фонтана).
- Несоответствие диаметра электрода внутреннему диаметру вен.
- После коррекции ВПС, требующих последующих дополнительных операций с использованием ИК.
- Тромбоз и развитие синдрома верхней полой вены.
- Наличие шунта справа налево.
- Профилактика других осложнений, возникающих при эндокардиальной стимуляции у детей младшего возраста.

Из всех вышеперечисленных критериев абсолютным показанием к имплантации эпикардиальной системы ЭКС у детей считается наличие шунта с право-левым сбросом, который является значимым фактором риска развития системных эмболий.

Внедрение в практику современных биполярных электродов со стероидным покрытием привело к улучшению эффективности и «выживаемости» как эпикардиальных, так и эндокардиальных электродов [28–30]. Применение стероидного покрытия ограничивает воспалительный

However, taking into account modern world trends and the current experience of leading foreign clinics, the age and weight of a patient should not be absolute criteria for choosing the method of pacemaker implantation, whereas the primary implantation of the cardiac pacemaker system in a child of any age should be epicardial whenever possible [18, 26].

In recent years, the medical community has faced the problem of endocardial lead extraction, which is currently performed in most cases during open heart surgery with cardiopulmonary bypass (CPB), whereas the methods of minimally invasive laser or mechanical lead extraction in children have not received favorable esteems neither in Russia nor worldwide yet [17, 27].

In 2016, the well-known indications for pacemaker implantation in children were updated with the comments from the Ministry of Health of the Russian Federation [15], concerning the method of pacemaker implantation depending on a patient weight. According to these comments, a pacemaker implantation is proposed to be performed only with the epicardial leads if a child weighs less than 15 kg. Endocardial implantation of the leads is acceptable when the child reaches the weight of 15 kg. A single-chamber endocardial system is implanted to children weighing 15 to 19 kg; a two-chamber endocardial system is implanted to children weighing 20 kg or more.

Body weight in pediatrics definitely plays an essential role in dosing drugs and choosing a treatment tactics for a child. However, it is worth remembering that it is unacceptable to take into account body weight as the only indicator when deciding on implanting a pacemaker. Other equally important factors should be considered, for example, the need for lifelong pacing and repeated surgical interventions as well as the advantages and disadvantages of epi- and endocardial electrodes in each clinical situation.

According to recent studies, patient weight is not an absolute criterion for choosing a cardiac pacemaker system. The use of a particular pacemaker system depends on the experience of a given cardiac surgery center. Therefore, the choice of pacemaker implantation method for permanent pacing remains a controversial issue and presents rather a difficult decision for a practitioner.

Indications for the epicardial pacemaker system in children [1, 18, 26, 27]

- Venous malformations or defects that prevent the transvenous introduction of lead (tricuspid valve (TV) atresia), or conditions after the hemodynamic correction of CHD (Fontan procedure).
- Mismatch in lead–vein diameters.
- Condition after CHD correction further requiring additional surgeries with CPB.
- Thrombosis and development of superior vena cava syndrome.
- Presence of right-to-left shunt.
- Prevention of other complications occurring in endocardial stimulation in young children.

Among all the above criteria, the absolute indication for the epicardial pacemaker system implantation in children is the presence of a right-to-left shunt, which is

ответ в месте соприкосновения электрода и сердечной ткани, что приводит к снижению острого и хронического порогов стимуляции и увеличивает срок службы батареи [31]. При сравнении современных эндокардиальных и эпикардиальных электродов со стероидным покрытием продемонстрировано практическое отсутствие разницы выживаемости электродов. Таким образом, менее продолжительное функционирование эпикардиальных электродов, наблюдавшееся на заре электрокардиостимуляции, в настоящее время становится менее актуальным. Необходимо отметить, что дальнейшие технические усовершенствования эпикардиальных электродов могут иметь положительное влияние на долгосрочный результат и приводить к еще более продолжительной службе эпикардиальной системы стимуляции, что позволит выбрать оптимальную стимуляцию пациентам младшего возраста, отсрочить трансвенозную имплантацию до более старшего возраста.

Таким образом, есть множество аргументов «за» и «против» использования эпикардиальной или эндокардиальной системы ЭКС в разных подгруппах педиатрических больных.

В настоящее время существуют трудности экстракции эндокардиальных электродов, в связи с чем приходится имплантировать новые электроды рядом со старыми. Все это приводит к большой скученности электродов, что впоследствии вызывает тромбоз вен вплоть до возникновения клиники синдрома верхней полой вены. Также возможно развитие нарушений внутрисердечной гемодинамики, обусловленных наличием большого количества электродов, которые могут препятствовать полному закрытию ТК, что является причиной приобретенной трикуспидальной регургитации высоких степеней, которая, в свою очередь, приводит к дилатации правого предсердия (ПП).

Доступы при имплантации эпикардиальной системы ЭКС

Эпикардиальная имплантация электродов осуществляется посредством срединной стернотомии, либо через субкифоидальный доступ без стернотомии, либо с использованием левой латеральной торакотомии.

Левая латеральная торакотомия была предложена пациентам с высоким риском развития недостаточности правого желудочка (ПЖ) при повторной стернотомии. Этот способ имеет хороший косметический эффект, а также доступное расположение (непосредственную близость) левого желудочка (ЛЖ) при пришивании электродов на его поверхность [22]. Однако он не лишен существенных недостатков: обширная хирургическая травма межреберных мышц; торакотомия достаточно часто приводит к развитию сколиоза, особенно если операция выполнена в раннем детском возрасте; трудности с размещением ЭКС в подлопаточном пространстве; при размещении в плевральной полости ЭКС является инородным телом и может вызывать выраженный болевой синдром. Кроме того, фиксация предсердного электрода при этом доступе осуществляется к стенке левого предсердия – ЛП (как известно, размеры ЛП меньше ПП; ушко меньшего размера и более извитое; стенка ЛП тоньше правого; анатомия впадения легочных вен не всегда позволяет выявить оптимальную зону фиксации электродов).

Имплантация эпикардиальной системы ЭКС через срединную стернотомию обеспечивает простой доступ к

a significant risk factor for the development of systemic embolism.

The implementation of state-of-the-art bipolar steroid-eluting leads into practice resulted in an improvement of the efficiency and both epicardial and endocardial lead survival [28–30].

The use of a steroid elution limits the inflammatory response of the cardiac tissue adjacent to the lead, resulting in a decrease in acute and chronic stimulation thresholds and an increase in battery life [31]. Comparison of modern endocardial and steroid-eluting epicardial pacing leads did not show any difference in the survival between the leads. Therefore, the shorter functioning of epicardial leads, observed at the dawn of pacing, is now becoming less relevant.

It should be noted that the further technological improvements to epicardial leads can have favorable effects on the long-term outcomes and even prolong the life of epicardial pacemaker system, which will allow to choose the optimal stimulation for younger patients and to delay the transvenous implantation until an older age. Therefore, there are many pros and cons for using epicardial or endocardial pacemaker systems in different subgroups of pediatric patients. The extraction of endocardial leads is currently challenging so the new leads have to be implanted next to the old ones. All this factors result in a significant lead crowding, which subsequently causes the venous thrombosis up to clinical manifestation of superior vena cava syndrome. Intracardiac hemodynamic disturbances can also develop due to the presence of a large number of leads, which potentially prevent the complete closure of the TV. It causes the acquired high-grade tricuspid regurgitation, which, in turn, leads to right atrial (RA) dilatation.

Approaches to epicardial pacemaker system implantation

The epicardial lead implantation is performed through a median sternotomy, subxiphoid approach without sternotomy, or using a left lateral thoracotomy.

Left lateral thoracotomy was proposed for patients at high risk of developing right ventricular (RV) failure in case of repeated sternotomy. This approach has a good cosmetic effect and LV proximity while the leads are attached onto its surface [22]. However, this approach has some serious shortcomings: the extended surgical trauma to the intercostal muscles; thoracotomy quite often leads to the development of scoliosis especially if the surgery is performed in early childhood; difficulties of cardiac pacemaker placement in subscapular space; when placed in the pleural cavity, cardiac pacemaker is a foreign body, which can cause a severe pain syndrome. Besides, in this approach, the atrial lead is fixed to the left atrial (LA) wall (as known, the LA sizes are smaller than RA sizes; LA appendage is smaller and more convoluted; LA wall is thinner than that of the right atrium; the anatomy of pulmonary venous return does not always allow to detect the optimal zone of lead fixation).

Implantation of epicardial pacemaker system through the median sternotomy ensures a straightforward approach to the right atrium, but it is associated with the difficulties of

ПП, но при этом возникают трудности с фиксацией электродов в проекции верхушки ЛЖ. Еще один момент, когда необходима имплантация ЭКС у пациентов после хирургической коррекции ВПС и при повторной стернотомии, у таких пациентов имеет место высокий риск развития правожелудочковой недостаточности, хотя при наличии противоспаечной заплаты и достаточного опыта таких операций данный подход (срединная стернотомия) имплантации ЭКС для эпикардиальной стимуляции остается наиболее оптимальным. При использовании данного доступа нередко впоследствии возникают послеоперационные деформации грудины. Тем не менее данный доступ является вариантом выбора при имплантации двухкамерной системы ЭКС, особенно у пациентов раннего возраста.

Субкисфоидальный доступ имплантации эпикардиальной системы ЭКС более предпочтителен детям с АВБ или вазовагальными рефлекторными синкопе, которым возможна имплантация однокамерной желудочковой системы. Основными преимуществами данной техники доступа являются отсутствие стернотомии, следовательно, мини-разрез, ранняя реабилитация пациента, отсутствие послеоперационной деформации грудины. Недостатки данного доступа заключаются в малых размерах операционной раны и технических сложностях при необходимости подшивания предсердного электрода. Этот доступ, как правило, используется при первичной имплантации однокамерных ЭКС у детей раннего возраста.

Безусловно, выбор способа имплантации, прежде всего, зависит от опыта клиники операции на открытом сердце у детей.

В показаниях для имплантации ЭКС у детей нет четких рекомендаций по выбору способа имплантации. Так, в рекомендациях консенсуса экспертов Американского колледжа кардиологов, Американской ассоциации сердца совместно с Северо-Американским обществом по кардиостимуляции и электрофизиологии и Европейского общества кардиологов у детей с системным ЛЖ и при отсутствии внутрисердечного шунтирования крови до достижения веса 10 кг предлагается имплантация систем с использованием только эпикардиальных электродов, у остальных пациентов рекомендуется использовать преимущественно трансвенозные системы [14]. Однако, согласно публикациям последних лет, использование методик эпикардиальной имплантации электродов находит все большее применение как в силу более серьезных осложнений при имплантации трансвенозной системы ЭКС, так и в связи с возможностью определения и выбора гемодинамически оптимальной зоны стимуляции при эпикардиальной методике для предотвращения пейсмейкер-индуцированной диссинхронии [18, 33]. Такой подход позволяет максимально отсрочить установку эндокардиальной системы стимуляции, применение которой актуализирует нерешенную на сегодняшний день проблему эндоваскулярной экстракции электродов у детей.

Зона стимуляции

Наряду с очевидными положительными эффектами восстановления ритма сердца при использовании традиционной схемы ЭКС, подразумевающей трансвенозную стимуляцию верхушки ЛЖ, работа сердца остается далекой от «природной» (вначале электрический импульс преимущественно распространяется по миокарду правого желудочка) и вызывает аномальную электрическую

lead fixation in the projection of the LV apex. When cardiac pacemaker implantation is required in patients after surgical correction of CHD and repeated sternotomy, another issue is a high risk of right ventricular insufficiency though this approach (median sternotomy) for cardiac pacemaker implantation for epicardial stimulation remains the most optimal if there is adhesion barrier patch and sufficient experience in performing these surgeries. While using this approach, the postoperative sternal deformations develop quite often. Nevertheless, this approach is a choice for implantation of two-chamber cardiac pacemaker system, especially in patients of early age.

A subxiphoid approach for the implantation of epicardial cardiac pacemaker system is more preferable in children with AV block or reflex vasovagal syncope, in whom the implantation of a single-chamber ventricular system is possible. The main advantages of this technique include the mini-incision as sternotomy is unrequired, early patient rehabilitation, and the absence of postoperative sternal deformation. A limitation of this approach is the need for atrial lead attachment. This approach is used, as a rule, in primary implantation of single-chamber cardiac pacemakers in children of early age.

Undoubtedly, the choice of the method for implantation primarily depends on the experience of clinic in performing open heart surgery in children.

The indications for implantation of cardiac pacemakers in children lack clear recommendations regarding the choice of implantation method. Indeed, the implantation of only epicardial leads in children weighing less than 10 kg with systemic left ventricle in the absence of intracardiac shunts is recommended by the consensus of experts from the American College of Cardiology and the American Heart Association together with the North American Society of Pacing and Electrophysiology and the European Society of Cardiology. They recommend predominantly using the transvenous systems [14]. However, according to the publications of recent years, the use of epicardial lead implantation methods come into growing use due to more serious complications of transvenous cardiac pacemaker system implantation as well as due to an opportunity of detection and choice of hemodynamically optimal stimulation zone in the epicardial method to prevent pacemaker-induced dyssynchrony [18, 33]. Such an approach allows to maximally postpone the administration of endocardial stimulation system, which refers to the still unsolved problem of endovascular lead extraction in children.

Stimulation zone

Along with the obvious beneficial effects of cardiac rhythm restoration using traditional cardiac pacemaker scheme implying the transvenous right ventricular apical stimulation, cardiac function remains far from natural (at first, the electric impulse predominantly spreads over the RV myocardium) and causes the anomalous electrical activation pattern, which results in mechanical dyssynchrony, abnormal pump function, LV remodeling, and the risk of heart failure development [34].

Clinical significance and practical questions regarding the various zones of cardiac pacemaker in both variants of

схему активации, что приводит к механической диссинхронии и, как следствие, нарушению насосной функции, ремоделированию ЛЖ и риску развития сердечной недостаточности [34].

В настоящее время обсуждается клиническое значение и практические вопросы о различных зонах ЭКС при обоих вариантах имплантации электродов ЭКС. У пациентов с полным блоком, нуждающихся в постоянной желудочковой стимуляции, профилактика последующей внутри- и межжелудочковой диссинхронии является главной задачей наряду с восстановлением сердечного ритма и определяет выбор наиболее оптимальной зоны стимуляции при имплантации ЭКС.

Стимуляция «оптимального участка» должна быть направлена на профилактику пейсмейкер-индуцированной механической диссинхронии (ПИМД), особенно у детей, которым ЭКС был имплантирован в младшем детском возрасте и имеющих перспективу пожизненной электрокардиостимуляции.

В 2014 г. J. Janoušek и соавт. на основании мультицентрового исследования (21 центр, 178 пациентов детского возраста) проанализировали наиболее эффективные точки электрокардиостимуляции, предотвращающие диссинхронию ЛЖ. Было показано, что стимуляция верхушки и боковой стенки ЛЖ при эпикардиальной стимуляции имеет наибольший потенциал для предотвращения диссинхронии и снижения сократительной функции ЛЖ, тогда как стимуляция выходного отдела и боковой стенки ЛЖ связана с высоким риском дисфункции ЛЖ [18].

В данном исследовании был продемонстрирован тот факт, что длительность комплекса QRS не была многопараметрическим предиктором пониженной функции ЛЖ, поскольку продолжительность QRS отражает общее время электрической активации, но не последовательность активации. В 2011 г. были опубликованы результаты исследования MADIT-CRT (The Multicenter Automatic Defibrillator Implantation Trial Cardiac Resynchronization Therapy) [35], демонстрирующие, что морфология блокады левой ветви пучка Гиса, а не длительность QRS является предиктором эффективной сердечной ресинхронизирующей терапии. Следовательно, при выборе точки стимуляции необходимо ориентироваться не только на длительность комплекса QRS (показатель электрической диссинхронии), но и учитывать наличие так называемой механической диссинхронии, которую, по результатам последних исследований, представляется возможным устранить посредством стимуляции из верхушки ЛЖ [36].

Существуют сообщения о нормализации функции ЛЖ (при развитии ПИМД на фоне постоянной стимуляции ЛЖ) после реимплантации электродов на верхушку или свободную стенку ЛЖ [33, 37]. Более того, было показано, что стимуляция верхушки либо свободной стенки ЛЖ сопоставима по своим результатам с сердечной ресинхронизирующей терапией [7, 38–40]. Особенно эта проблема актуальна у детей в связи с перспективой пожизненной стимуляции. Сохранение сердечной функции при электрокардиостимуляции у этой категории пациентов должно быть высокоприоритетным.

Следует учитывать, что эпикардиальная стимуляция противоположна по направлению физиологическому распространению возбуждения, которое в норме по волокнам пучка Гиса распространяется от эндокарда к эпикарду. И если в последнее время при эндокардиальной стимуляции предпочтение отдают стимуляции элект-

cardiac pacemaker lead implantation are currently under discussion. In patients with complete AV block who require permanent ventricular stimulation, the main task is the prevention of following interventricular and intraventricular dyssynchrony along with the restoration of cardiac rhythm, which determines a choice of the most optimal stimulation zone in pacemaker implantation.

Stimulation of the optimal area should aim the prevention of pacemaker-induced mechanical dyssynchrony, especially in children, in whom cardiac pacemaker was implanted in early childhood and who have prospects for life-long cardiac pacing.

In 2014, J. Janoušek et al., based on a multicenter study (21 center, 178 pediatric patients) analyzed the most effective spots for cardiac pacing preventing LV dyssynchrony. It was shown that the stimulation of the apex and lateral wall of the left ventricle in epicardial stimulation has the highest potential for the prevention of LV dyssynchrony and reduced contractile function whereas the stimulation of RV outflow area and lateral wall is associated with the high risk of LV dysfunction [18].

This study demonstrated the fact that the QRS duration is not a multivariable predictor of decrease in LV function because it reflects a total time of electrical activation, but not the sequence of activation. In 2011, the results of MADIT-CRT (The Multicenter Automatic Defibrillator Implantation Trial Cardiac Resynchronization Therapy) were published [35], demonstrating that the morphology of left bundle branch block, but not the QRS duration is a predictor of effective cardiac resynchronization therapy. Therefore, while choosing the stimulation point, one should consider not only the QRS duration (indicator of electrical dyssynchrony), but also the presence of so called mechanical dyssynchrony, which, according to the results of recent studies, seems possible to eliminate through the stimulation of LV apex [36].

There are reports on the LV function normalization (in case of a development of pacemaker-induced dyssynchrony) after the reimplantation of leads to the LV apex or free wall [33, 37]. Moreover, it was shown that the LV apex or free wall stimulation is comparable in its results with cardiac resynchronization therapy [7, 38–40]. This problem is especially relevant in children in regard to the prospects for life-long pacing. The preservation of cardiac function in pacing in this category of patients should be of high priority.

One should take into account that the epicardial stimulation is opposite to the direction of physiological excitation propagation, which normally spreads along the His bundle fibers from the endocardium to the epicardium. Recently, the stimulation by the lead in parahisian and intra-hisian position has been considered preferable even if using the selective stimulation of the left His bundle branch through the intraventricular septum [41]. However, in case of epicardial stimulation, it is hard to determine the optimal stimulation zone where the spread of electrical impulse over the myocardium of both ventricles would be sufficiently homogenous.

In regard to above-said, the best practice in this area will contribute to the justification of optimal choice

родом в парагиссиальной или интрагиссиальной позиции, даже применяя селективную стимуляцию левой ветви пучка Гиса через межжелудочковую перегородку [41], то при эпикардиальной стимуляции сложно определить оптимальную зону стимуляции, при которой распространение электрического импульса по миокарду обоих желудочков было бы достаточно равномерным.

В связи с вышесказанным обобщение опыта в этой области будет способствовать обоснованию оптимального выбора зоны стимуляции, уточнению показаний к имплантации ЭКС.

Одно- или двухкамерная система ЭКС

Первоначально при выборе способа первичной имплантации ЭКС необходимо использовать все возможности однокамерной стимуляции, в частности более долгий срок службы батареи по сравнению с двухкамерной стимуляцией, а в некоторых случаях положительное влияние на гемодинамику в условиях минимального предсердного вклада в сердечный выброс у детей раннего возраста. Эпикардиальный способ однокамерной стимуляции позволяет избежать осложнения эндокардиальной системы ЭКС, в том числе венозной обструкции [16]. При эпикардиальном способе имплантации преимуществами однокамерной желудочковой стимуляции являются: уменьшение объема кардиохирургического доступа (возможен субкисфоидаальный доступ без стернотомии), сохранение венозного доступа для детей более старшего возраста. Однокамерная желудочковая стимуляция (VVI) может быть использована в случаях преходящей АВБ, когда не требуется постоянная электрокардиостимуляция [5].

Положительные гемодинамические эффекты синхронной двухкамерной стимуляции при АВБ были хорошо описаны у взрослых. Своевременное сокращение предсердия, приводящее к АВ-синхронизации, увеличивает наполнение желудочков и сердечный выброс благодаря закону Франка-Старлинга, улучшает венозный возврат и способствует своевременному закрытию АВ-клапанов [42]. Значение АВ-синхронности было признано в начале 1970-х гг. у пациентов с АВБ после хирургических вмешательств и на фоне острого инфаркта миокарда [43, 44]. Общеизвестны преимущества стимуляции DDD по отношению VVI у взрослых. При асинхронной однокамерной стимуляции предсердия могут сокращаться при закрытых атриовентрикулярных клапанах, что вызывает предсердное растяжение с последующим повышением давления легочного заклинивания и центрального венозного давления [43]. Данные механизмы лежат в основе так называемого синдрома кардиостимулятора, который включает следующие симптомы: слабость, одышка, головная боль, усталость, обморочное состояние, снижение толерантности к физическим нагрузкам [44]. Однако имеются противоположные данные, касающиеся детей, у которых использование однокамерного устройства предполагает наличие таких преимуществ, как простота имплантации и длительный срок службы батареи. Синдром кардиостимулятора, обусловленный предсердно-желудочковой диссинхронией, чрезвычайно редко встречается в детской популяции и развивается не более чем у 50% детей с однокамерными ЭКС на протяжении в среднем 11 лет постоянной кардиостимуляции. [45, 46]. Данная закономерность у детей, особенно у детей младшего возраста, объясняется минимальным предсердным вкладом в сердечный выброс по сравнению со взрослыми. Фаза пас-

of stimulation zone and to revision of the indications to pacemaker implantation.

Single- or two-chamber cardiac pacemaker system

While choosing the approach to primary cardiac pacemaker implantation, one should initially consider all benefits of single-chamber stimulation, in particular, a longer battery life compared with two-chamber stimulation, and, in some cases, a beneficial effect on hemodynamics in terms of minimum atrial contribution to cardiac output in children of early age. The epicardial approach to single-chamber stimulation allows to avoid the complications of endocardial pacemaker system including the venous obstruction [16]. The advantages of ventricular stimulation in case of epicardial approach to implantation are as follows: a decreased volume of cardiac surgery exposure (subxiphoidal approach without sternotomy is possible) and a preservation of venous approach in children of older age. A single-chamber ventricular stimulation (VVI) may be used in case of transient AV block if the permanent cardiac stimulation is not required [5].

The beneficial hemodynamic effects of synchronous two-chamber stimulation in AV block have been well described in adults. A timely atrial contraction leading to AV synchronization increases the ventricular filling and cardiac output owing to the Frank–Starling law, improves the venous return, and contributes to the timely closure of AV valves [42]. A significance of AV synchronization was recognized in early 1970s in patients with AV block after surgical interventions and in case of acute myocardial infarction [43, 44]. The advantages of DDD mode of stimulation relative to VVI stimulation in adults are well known. In case of the asynchronous single-chamber atrial stimulation, the atria can contract with the closed AV valves, which result in atrial dilatation with the following increases in pulmonary artery occlusive pressure and central venous pressure [43]. These mechanisms underlie the so called pacemaker syndrome, which includes the following symptoms: fatigue, shortness of breath, headache, tiredness, faintness, and reduced tolerance to physical exercise [44]. However, there are opposite data obtained in children, in whom the use of a single-chamber device requires the advantages of implantation simplicity and long battery life. Pacemaker syndrome, caused by AV dyssynchrony, occurs extremely rarely in pediatric population and develops no more than in 50% of children with the single-chamber cardiac pacemakers during 11 years of permanent cardiac pacing on average [45, 46].

This pattern in children, especially in children of early age, is explained by the minimum atrial contribution to the cardiac output compared with that in adults. The passive ventricular filling phase is longer (the entire LV volume is virtually filled due to the passive filling phase), whereas the active ventricular filling phase during atrial stimulation contributes insignificantly ($E > A$) [46]. The use of a single-chamber pacemaker is preferable as an initial pacing regime, which was shown by the studies in children with structurally normal heart, isolated AV block, and normal ventricular function.

A decision on replacement of a single-chamber cardiac pacing with a two-chamber in children may be postponed

сивного наполнения желудочков более продолжительна (практически весь объем ЛЖ наполняется за счет фазы пассивного наполнения), тогда как фаза активного наполнения желудочков во время стимуляции предсердий не имеет существенного вклада ($E > A$) [46]. На основании данных исследований у детей со структурно нормальным сердцем, изолированной АВБ и нормальной функцией желудочков в качестве исходного режима кардиостимуляции предпочтительно применение однокамерного устройства.

Решение о смене однокамерной системы электрокардиостимуляции у детей на двухкамерную может быть отложено до тех пор, пока у этих пациентов не появятся симптомы хронической диссинхронии между предсердиями и желудочками.

Особенности электрокардиостимуляции у пациентов детского возраста

При принятии решения в пользу имплантации ЭКС необходимо учитывать следующие факторы: антропометрические данные ребенка и их соответствие размерам корпуса ЭКС и электродов, необходимость длительной («пожизненной») электрокардиостимуляции, высокий уровень активности ребенка, изменение физических параметров тела в динамике (необходимость имплантации электродов «с запасом» длины и их последующей замены), в ряде случаев сопутствующие ВПС, особенно при наличии внутрисердечных шунтов [6, 18, 16].

В педиатрической практике врачи сталкиваются с необходимостью индивидуальной оптимизации параметров электрокардиостимуляции и более тщательного наблюдения за пациентами с ЭКС. Все эти вопросы следует учитывать при принятии решения об имплантации ЭКС. В педиатрической практике существует несколько факторов, которые могут способствовать возникновению связанных с электрокардиостимулятором осложнений. Во-первых, электрокардиостимуляторы и электроды предназначены для взрослых. Во-вторых, небольшой размер сердца и связанные с ним внутрисердечные дефекты затрудняют трансвенозную имплантацию, либо это вовсе невозможно. В-третьих, необходимо при первичной имплантации оставлять петли электрода с запасом для дальнейшего вытяжения по мере роста ребенка.

Снижение процента стимулированных комплексов с помощью использования простых функций ЭКС способствует оптимальному соотношению собственного ритма и ритма ЭКС: это оптимальный подбор базовой ЧСС в зависимости от возраста ребенка, оптимизация АВ-задержки у пациентов с частичным сохранением функции АВ-проведения.

Выбор режима стимуляции прежде всего зависит от основного диагноза, вида внутрисердечной проводимости и наличия других факторов (необходимость в постоянной электрокардиостимуляции; сопутствующие нарушения ритма сердца).

Минимальное количество электродов – это главная задача при использовании эндокардиальной системы стимуляции в связи с малым диаметром сосудов у детей и необходимостью имплантации дополнительных электродов с течением времени.

Наиболее частой причиной имплантации ЭКС являются послеоперационные нарушения ритма сердца, развивающиеся вследствие повреждения близко распо-

until these patients develop the symptoms of chronic dyssynchrony between atria and ventricles.

Specifics of cardiac pacing in pediatric patients

While making a decision regarding the benefits of cardiac pacemaker implantation, one should take into account the following factors: anthropometric data of a child and matching of these data with the sizes of a pacemaker and the leads, the need for prolonged (life-long) cardiac pacing, a high level of child's activity, a change of physical parameters of child's body in dynamics (the need for the lead implantation with reserve of length, and further lead substitution), and, in some cases, the presence of concomitant CHD, especially when there are intracardiac shunts [6, 18, 16]. In pediatric practice, physicians face the need for individual optimization of parameters for cardiac pacing and more careful follow-up for patients with cardiac pacemakers. All these questions should be considered while making a decision on cardiac pacemaker implantation. In pediatric practice, there are several factors, which can contribute to the occurrence of complications associated with a cardiac pacemaker. First, the pacemakers and leads are designed for adults. Second, the small size of heart and the associated intracardiac defects hamper or completely preclude from the transvenous implantation. Third, while doing primary impanation, one should leave the enough loops of the lead to ensure further stretching along with the growth of the child.

A reduction in the percentage of stimulated complexes using simple functions of cardiac pacemaker contributes to the optimum ratio of own rhythm and cardiac pacemaker rhythm. The optimal adjustment of a baseline heart rate depends on a child age and AV delay optimization in patients with partial preservation of AV conduction function.

The choice of stimulation regime, first of all, depends on the main diagnosis, intracardiac conduction type, and the presence of other factors (the need for permanent pacing; concomitant heart rhythm disorders).

Considering the small diameter of blood vessels in children and the need for implantation of additional leads as time passes, the minimum number of electrodes is the main task when using the endocardial pacemaker system.

The most frequent reason for a pacemaker implantation consists in the presence of postoperative heart rhythm disorders, which develop due to the injury of closely adjacent conduction pathways in the area of intervention [5]. These children are predominantly in the early infancy or early age and, as a rule, they receive the implantation of epicardial pacemaker system. At the same time, some surgical procedures hamper the implantation of endocardial cardiac pacemaker system. For example, it is impossible to bring the leads to the right heart after Fontan operation.

Conclusion

Cardiac pacing is currently the only method for correction of bradyarrhythmias, in particular, AV block, which, considering the prospects of life-long stimulation, demands higher standards to this system, especially for children of early age.

ложенных проводящих путей в зоне оперативного вмешательства [5]. Преимущественно это дети грудного и раннего возраста, отчего им, как правило, имплантируют эпикардальную систему ЭКС. К тому же некоторые хирургические процедуры препятствуют в последующем имплантации эндокардиальной системы ЭКС, например, после операции Фонтена невозможно трансвенозно доставить электроды в правые отделы сердца.

Заключение

Электрокардиостимуляция – на сегодняшний день единственный метод коррекции брадиаритмий, в частности АВБ, что с учетом перспективы пожизненной стимуляции предъявляет к этой системе повышенные требования, особенно у детей раннего возраста.

Использование методик эпикардальной имплантации электродов находит все большее применение как в силу более серьезных осложнений трансвенозной ЭКС, так и в связи с возможностью выбора гемодинамически оптимальной зоны стимуляции при эпикардальной методике для предотвращения пейсмейкер-индуцированной внутри- и межжелудочковой диссинхронии и ремоделирования сердца. Возможность выбора гемодинамически оптимального места стимуляции (верхушки ЛЖ) и отсутствие риска окклюзия вен могут превосходить риски, связанные с эпикардальными электродами. Такой подход позволяет максимально отсрочить установку эндокардиальной системы стимуляции, применение которой актуализирует нерешенную на сегодняшний день проблему эндоваскулярной экстракции электродов у детей. Любая первая имплантация ЭКС у ребенка по возможности должна быть эпикардальной. Масса тела пациента не должна быть критерием выбора между эпи- и эндокардиальной стимуляцией. Однокамерная кардиостимуляция предпочтительна у детей младшего возраста с полной АВБ и нормальной желудочковой функцией.

Обобщение опыта в этой области будет способствовать обоснованию оптимального выбора зоны стимуляции, уточнению показаний к имплантации ЭКС. Решение этих вопросов имеет большое значение для развития отечественной педиатрической кардиостимуляции.

Литература

1. Aquilina O. A brief history of cardiac pacing. *Images Paediatr. Cardiol.* 2006;8(2):17–81.
2. Udink ten Cate F.E.A., Sreeram N. Pacing therapy in infants and children with congenital and acquired complete atrioventricular block: Optimal pacing strategies, management, and follow-up. In book: *Modern Pacemakers – Present and Future*; ed. M.R. Das. Rijeka, Croatia; Shanghai, China: InTech; 2011:89–116. DOI: 10.5772/10521.
3. Welisch E., Cherlet E., Crespo-Martinez E., Hansky B. A single institution experience with pacemaker implantation in a pediatric population over 25 years. *Pacing Clin. Electrophysiol.* 2010;33(9):1112–1118. DOI: 10.1111/j.1540-8159.2010.02781.x.
4. Ревишвили А.Ш., Бойцов С.А., Давтян К.В., Зенин С.А., Кузнецов В.А., Купцов В.В. и др. Клинические рекомендации по проведению электрофизиологических исследований, катетерной абляции и применению имплантируемых антиаритмических устройств; 3-е изд. М.: МАКС Пресс; 2017:704.
5. Егоров Д.Ф., Гордеев О.Л. Диагностика и лечение пациентов с имплантированными антиаритмическими устройствами. СПб.: Человек; 2005:256.
6. McLeod K.A. Cardiac pacing in infants and children. *Heart.* 2010;96(18):1502–1508. DOI: 10.1136/hrt.2009.173328.
7. Toogood G. Pacemaker therapies in cardiology. *Australian Family Physician.* 2007;36(7):518–524.
8. Lotfy W., Hegazy R., AbdElAziz O., Sobhy R., Hasanein H., Shaltout F. Permanent cardiac pacing in pediatric patients. *Pediatr. Cardiol.* 2013;34(2):273–280. DOI: 10.1007/s00246-012-0433-2.

The use of methods for epicardial lead implantation comes into increasing use both due to the more serious complications of transvenous pacing and due to an opportunity of choosing the hemodynamically optimal zone of stimulation in the epicardial method to prevent pacemaker-induced intra- and interventricular dyssynchrony and cardiac remodeling. A possibility of choosing hemodynamically optimal place of stimulation (LV apex) and the absence of risk for venous occlusion may exceed the risks associated with the epicardial leads. This approach allows to postpone the placement of endocardial pacemaker system for as long as possible as its use is associated with the unsolved problem of endovascular lead extraction in children. Any first implantation of cardiac pacemaker in a child, whenever possible, should be epicardial. A patient weight should not be a criterion of choice between the epi- and endocardial implantation. Single-chamber cardiac pacing is preferable in children of early age with complete AV block and normal ventricular function.

Generalization of experience in this area will help to justify the optimal choice of a stimulation zone and to clarify the indications for implantation of pacemakers. The solution of these questions is of great importance for the development of national pediatric cardiac pacing.

References

1. Aquilina O. A brief history of cardiac pacing. *Images Paediatr. Cardiol.* 2006;8(2):17–81.
2. Udink ten Cate F.E.A., Sreeram N. Pacing therapy in infants and children with congenital and acquired complete atrioventricular block: Optimal pacing strategies, management, and follow-up. In book: *Modern Pacemakers – Present and Future*; ed. M.R. Das. Rijeka, Croatia; Shanghai, China: InTech; 2011:89–116. DOI: 10.5772/10521.
3. Welisch E., Cherlet E., Crespo-Martinez E., Hansky B. A single institution experience with pacemaker implantation in a pediatric population over 25 years. *Pacing Clin. Electrophysiol.* 2010;33(9):1112–1118. DOI: 10.1111/j.1540-8159.2010.02781.x.
4. Revishvili A.Sh., Bojtsov S.A., Davtjan K.V., Zenin S.A., Kuznetsov V.A., Kuptsov V.V. et al. Clinical guidelines for electrophysiological studies, catheter ablation and use of implantable antiarrhythmic devices; 3rd ed. Moscow: MAKS Press; 2017:704 (In Russ.).
5. Egorov D.F., Gordeev O.L. Diagnostics and treatment of patients with implanted antiarrhythmic devices. St.-Petersburg: Chelovek; 2005:256 (In Russ.).
6. McLeod K.A. Cardiac pacing in infants and children. *Heart.* 2010;96(18):1502–1508. DOI: 10.1136/hrt.2009.173328.
7. Toogood G. Pacemaker therapies in cardiology. *Australian Family Physician.* 2007;36(7):518–524.
8. Lotfy W., Hegazy R., AbdElAziz O., Sobhy R., Hasanein H., Shaltout F. Permanent cardiac pacing in pediatric patients. *Pediatr. Cardiol.* 2013;34(2):273–280. DOI: 10.1007/s00246-012-0433-2.
9. Simonenko V.B., Steklov V.I. Electrical stimulation of the heart: history, current trends and prospects. *Clinical Medicine.* 2012;(12):4–10 (In Russ.).
10. Tomaske M., Gerritse B., Kretzers L., Pretre R., Dodge-Khatami A., Rahn M. et al. A 12-year experience of bipolar steroid-eluting epicardial pacing leads in children. *Ann. Thorac. Surg.* 2008;85(5):1704–1711. DOI: 10.1016/j.athoracsur.2008.02.016.
11. Boveda S., Bartoletti S. Do patients need to adapt to technology improvements? *Europace.* 2019;21(11):1605–1606. DOI: 10.1093/europace/euz252.
12. Kancharla K., Deshmukh A.J., Friedman P.A. Leadless pacemakers – implant, explant and long-term safety and efficacy data. *J. Atr. Fibrillation.* 2017;10(2):1581. DOI: 10.4022/jafib.1581.
13. Kovalev I.A., Belozarov Yu.M., Sadykova D.I., Sabirova D.R., Yakovleva L.V., Khabibrakhmanova Z.R. et al. Atrioventricular block in children. *Pediatric Pharmacology.* 2018;15(5):365–375. DOI: 10.15690/pf.v15i5.1959 (In Russ.).
14. Brugada J., Blom N., Saquella-Brugada G., Blomstorm-Lundqvist C., Deanfield J., Janousek J. et al. Pharmacological and non-pharmacological

9. Симоненко В.Б., Стеклов В.И. Электрическая стимуляция сердца: история, современное состояние и перспектива развития. *Клиническая медицина*. 2012;(12):4–10.
10. Tomaske M., Gerritse B., Kretzers L., Pretre R., Dodge-Khatami A., Rahn M. et al. A 12-year experience of bipolar steroid-eluting epicardial pacing leads in children. *Ann. Thorac. Surg.* 2008;85(5):1704–1711. DOI: 10.1016/j.athoracsurg.2008.02.016.
11. Boveda S., Bartoletti S. Do patients need to adapt to technology improvements? *Europace*. 2019;21(11):1605–1606. DOI: 10.1093/europace/euz252.
12. Kancharla K., Deshmukh A.J., Friedman P.A. Leadless pacemakers – implant, explant and long-term safety and efficacy data. *J. Atr. Fibrillation*. 2017;10(2):1581. DOI: 10.4022/jafib.1581.
13. Ковалёв И.А., Белозёров Ю.М., Садыкова Д.И., Сабирова Д.Р., Яковлева Л.В., Хабибрахманова З.Р. и др. Атриовентрикулярная (предсердно-желудочковая) блокада у детей. *Педиатрическая фармакология*. 2018;15(5):365–375. DOI: 10.15690/pf.v15i5.1959.
14. Brugada J., Blom N., Saquella-Brugada G., Blomstorm-Lundqvist C., Deanfield J., Janousek J. et al. Pharmacological and non-pharmacological therapy for arrhythmias in the pediatric population: EHRA and AEP-Cardiac Working Group joint consensus statement. *Europace*. 2013;15(9):1337–1382. DOI: 10.1093/europace/eut082.
15. Ковалёв И.А., Баранов А.А. Атриовентрикулярная (предсердно-желудочковая) блокада у детей. Клинические рекомендации. М.; 2016.
16. Bar-Cohen Y., Berul C.I., Alexander M.E., Fortescue E.B., Walsh E.P., Triedman J.K. et al. Age, size, and lead factors alone do not predict venous obstruction in children and young adults with transvenous lead systems. *J. Cardiovasc. Electrophysiol.* 2006;17(7):754–759. DOI: 10.1111/j.1540-8167.2006.00489.x.
17. Cecchin F., Atallah J., Walsh E.P., Triedman J.K., Alexander M.E., Berul C. Lead extraction in pediatric and congenital heart disease patients. *Circ. Arrhythm. Electrophysiol.* 2010;3(5):437–444. DOI: 10.1161/CIRCEP.110.957324.
18. Janousek J., van Geldorp I.E., Krupicková S., Rosenthal E., Nugent K., Tomaske M. et al. Permanent cardiac pacing in children: choosing the optimal pacing site: a multicenter study. *Circ.* 2013;127(5):613–623. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.112.115428.
19. McCanta A.C., Schaffer M.S., Collins K.K. Pediatric and Adult Congenital Endocardial Lead Extraction or Abandonment Decision (PACE-LEAD) survey of lead management. *Pacing Clin. Electrophysiol.* 2011;34(12):1621–1627. DOI: 10.1111/j.1540-8159.2011.03226.x.
20. Bracke F., Meijer A., van Gelder B. Venous occlusion of the access vein in patients referred for lead extraction: influence of patient and lead characteristics. *Pacing Clin. Electrophysiol.* 2003;26(8):1649–1652. DOI: 10.1046/j.1460-9592.2003.t01-1-00247.x.
21. Figa F.H., McCrindle B.W., Bigras J.L., Hamilton R.M., Gow R.M. Risk factors for venous obstruction in children with transvenous pacing leads. *Pacing Clin. Electrophysiol.* 1997;20(8-1):1902–1909. DOI: 10.1111/j.1540-8159.1997.tb03594.x.
22. Kammeraad J., Rosenthal E., Bostock J., Rogers J., Sreeram N. Endocardial pacemaker implantation in infants weighing < 10 kg. *Pacing Clin. Electrophysiol.* 2004;27(11):1466–1474. DOI: 10.1111/j.1540-8159.2004.00663.x.
23. Klug D., Vaksman G., Jarwe M., Wallet F., Francart Ch., Kacet S. et al. Pacemaker lead infection in young patients. *Pacing Clin. Electrophysiol.* 2003;26(7-1):1489–1493. DOI: 10.1046/j.1460-9592.2003.t01-1-00215.x.
24. Carreras E.M., Duncan W.J., Djurdjev O., Campbell A.I.M. Cardiac strangulation following epicardial pacemaker implantation: a rare pediatric complication. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 2015;149(2):522–527. DOI: 10.1016/j.jtcvs.2014.10.094.
25. Takeuchi D., Tomizawa Y. Cardiac strangulation from epicardial pacemaker leads: Diagnosis, treatment, and prevention. *Gen. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 2015;63(1):22–29. DOI: 10.1007/s11748-014-0483-x.
26. Beaufort-Krol G.C., Mulder H., Nagelkerke D., Waterbolk T.W., Bink-Boelkens M.Th.E. Comparison of longevity, pacing, and sensing characteristics of steroid-eluting epicardial versus conventional endocardial pacing leads in children. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 1999;117(3):523–528. DOI: 10.1016/s0022-5223(99)70332-6.
27. Taylor S.J., Zeigler V.L. Permanent pacemakers. *Practice Management of Pediatric Cardiac Arrhythmias*. 2001;7:305–358.
28. Cutler N.G., Karpawich P.P., Cavitt D., Hakimi M., Walters H.L. Steroid-eluting epicardial pacing electrodes: six year experience of pacing thresholds in a growing pediatric population. *Pacing Clin. Electrophysiol.* 1997;20(12):2943–2948. DOI: 10.1111/j.1540-8159.1997.tb05464.x.
29. Johns J.A., Fish F.A., Burger J.D., Hammon J.W. Steroid-eluting epicardial pacing leads in pediatric patients: encouraging early results. *J. Am. Coll. Cardiol.* 1992;20(2):395–401. DOI: 10.1016/0735-1097(92)90108-Y.
30. Udink ten Cate F.E.A., Breur J.M., Boramanand N., Crosson J., Friedman A., Brenner J. et al. Endocardial and epicardial steroid lead pacing in the neonatal and paediatric age group. *Heart*. 2002;88(4):392–396. DOI: 10.1136/heart.88.4.392.
31. Mond H.G., Stokes K.B. The electrode-tissue interface: the revolutionary role of steroid elution. *Pacing Clin. Electrophysiol.* 1992;15(1):95–107. DOI: 10.1111/j.1540-8159.1992.tb02905.x.
32. Dodge-Khatami A., Kadner A., Dave H., Rahn M., Prêtre R., Bauersfeld U. Left heart atrial and ventricular epicardial pacing through a left lateral thoracotomy in children: a safe approach with excellent functional and cosmetic results. *Eur. J. Cardio-Thor. Surg.* 2005;28(4):541–545. DOI: 10.1016/j.ejcts.2005.06.040.
33. Mills R.W., Cornelussen R.N., Mulligan L.J., Strik M., Rademakers L.M., Skadsberg N.D. et al. Left ventricular septal and left ventricular apical pacing chronically maintain cardiac contractile coordination, pump function and efficiency. *Circ. Arrhythm. Electrophysiol.* 2009;2(5):571–579. DOI: 10.1161/CIRCEP.109.882910.
34. Timoshok V.L., Zsime E.V., Belik O.N., Drozdovskaya V.V., Sobanina A.D., Dedovich V.V. et al. Permanent epicardial pacing of right ventricle

- sults. *J. Am. Coll. Cardiol.* 1992;20(2):395–401. DOI: 10.1016/0735-1097(92)90108-Y.
30. Udink ten Cate F.E.A., Breur J.M., Boramanand N., Crosson J., Friedman A., Brenner J. et al. Endocardial and epicardial steroid lead pacing in the neonatal and paediatric age group. *Heart.* 2002;88(4):392–396. DOI: 10.1136/heart.88.4.392.
 31. Mond H.G., Stokes K.B. The electrode-tissue interface: the revolutionary role of steroid elution. *Pacing Clin. Electrophysiol.* 1992;15(1):95–107. DOI: 10.1111/j.1540-8159.1992.tb02905.x.
 32. Dodge-Khatami A., Kadner A., Dave H., Rahn M., Prêtre R., Bauersfeld U. Left heart atrial and ventricular epicardial pacing through a left lateral thoracotomy in children: a safe approach with excellent functional and cosmetic results. *Eur. J. Cardio-Thor. Surg.* 2005;28(4):541–545. DOI: 10.1016/j.ejcts.2005.06.040.
 33. Mills R.W., Cornelussen R.N., Mulligan L.J., Strik M., Rademakers L.M., Skadsberg N.D. et al. Left ventricular septal and left ventricular apical pacing chronically maintain cardiac contractile coordination, pump function and efficiency. *Circ. Arrhythm. Electrophysiol.* 2009;2(5):571–579. DOI: 10.1161/CIRCEP.109.882910.
 34. Тимошок В.Л., Засим Е.В., Белик О.Н., Дроздовская В.В., Собанина А.Д., Дедович В.В. и др. Постоянная эпикардальная кардиостимуляция правого желудочка у детей: влияние на функцию левого желудочка. *Научные стремления.* 2016;20:95–96.
 35. Zareba W., Klein H., Cygankiewicz I., Hall W.J., McNitt S., Brown M. et al. Effectiveness of cardiac resynchronization therapy by QRS Morphology in the Multicenter Automatic Defibrillator Implantation Trial – Cardiac Resynchronization Therapy (MADIT–CRT). *Circulation.* 2011;123(10):1061–1072. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.110.960898.
 36. Kovanda J., Lozek M., Ono S., Kubuš P., Tomek V., Janoušek J. Left ventricular apical pacing in children: feasibility and long-term effect on ventricular function. *Europace.* 2020;22:306–313. DOI: 10.1093/europace/euz325.
 37. Matsuhisa H., Oshima Y., Maruo A., Hasegawa T., Tanaka A., Noda R. et al. Pacing therapy in children – repeat left ventricular pacing for preservation of ventricular function. *Circ. J.* 2014;78(12):2972–2978. DOI: 10.1253/circj.CJ-14-0534.
 38. Auricchio A. Pacing the left ventricle: does underlying rhythm matter? *J. Am. Coll. Cardiol.* 2004;43(2):239–240. DOI: 10.1016/j.jacc.2003.10.028.
 39. Etienne Y., Mansourati J., Gilard M., Valls-Bertault V., Bosch J., Benditt D.G. et al. Evaluation of left ventricular based pacing in patients with congestive heart failure and atrial fibrillation. *Am. J. Cardiol.* 1999;83(7):1138–1140. DOI: 10.1016/s0002-9149(99)00031-4.
 40. Van Geldorp I.E., Vanagt W.Y., Prinzen F.W., Delhaas T. Chronic ventricular pacing in children: toward prevention of pacing-induced heart disease. *Heart Fail. Rev.* 2011;16(3): 305–314. DOI: 10.1007/s10741-010-9207-1.
 41. Hou X., Qian Z., Wang Y., Qiu Y., Chen X., Jiang H. et al. Feasibility and cardiac synchrony of permanent left bundle branch pacing through the interventricular septum. *Europace.* 2019;21(11):1694–1702. DOI: 10.1093/europace/euz188.
 42. Breur J.M., Udink ten Cate F.E.A., Kapusta L., Boramanand N., Cohen M.I., Crosson J.E. et al. Potential additional indicators for pacemaker requirement in isolated congenital atrioventricular block. *Pediatr. Cardiol.* 2006;27:564–568. DOI: 10.1007/s00246-004-0629-1.
 43. Chamberlain D.A., Leinbach R.C., Vassaux C.E., Kastor J.A., DeSanctis R.W., Sanders C.A. Sequential atrioventricular pacing in heart block complicating acute myocardial infarction. *N. Engl. J. Med.* 1970;282:577–582. DOI: 10.1056/NEJM197003122821101.
 44. Hartzler G.O., Maloney J.D., Curtis J.J., Barnhorst D.A. Hemodynamic benefits of atrioventricular sequential pacing after cardiac surgery. *Am. J. Cardiol.* 1977;40(2):232–236. DOI: 10.1016/0002-9149(77)90013-3.
 45. Horenstein M.S., Karpawich P.P. Pacemaker syndrome in the young: Do children need dual chamber pacing as the initial pacing mode? *Pacing Clin. Electrophysiol.* 2004;27(5):600–605. DOI: 10.1111/j.1540-8159.2004.00493.x.
 46. Horenstein M.S., Karpawich P.P., Victoria M., Tantengco T. Single versus dual chamber pacing in the young: Noninvasive comparative evaluation of cardiac function. *Pacing Clin. Electrophysiol.* 2003;26(5):1208–1211. DOI: 10.1046/j.1460-9592.2003.t01-1-00170.x.
 - in children: influence upon left ventricle function. *Nauchnye Stremleniya.* 2016;20:95–96 (In Russ.).
 35. Zareba W., Klein H., Cygankiewicz I., Hall W.J., McNitt S., Brown M. et al. Effectiveness of cardiac resynchronization therapy by QRS Morphology in the Multicenter Automatic Defibrillator Implantation Trial – Cardiac Resynchronization Therapy (MADIT–CRT). *Circulation.* 2011;123(10):1061–1072. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.110.960898.
 36. Kovanda J., Lozek M., Ono S., Kubuš P., Tomek V., Janoušek J. Left ventricular apical pacing in children: feasibility and long-term effect on ventricular function. *Europace.* 2020;22:306–313. DOI: 10.1093/europace/euz325.
 37. Matsuhisa H., Oshima Y., Maruo A., Hasegawa T., Tanaka A., Noda R. et al. Pacing therapy in children – repeat left ventricular pacing for preservation of ventricular function. *Circ. J.* 2014;78(12):2972–2978. DOI: 10.1253/circj.CJ-14-0534.
 38. Auricchio A. Pacing the left ventricle: does underlying rhythm matter? *J. Am. Coll. Cardiol.* 2004;43(2):239–240. DOI: 10.1016/j.jacc.2003.10.028.
 39. Etienne Y., Mansourati J., Gilard M., Valls-Bertault V., Bosch J., Benditt D.G. et al. Evaluation of left ventricular based pacing in patients with congestive heart failure and atrial fibrillation. *Am. J. Cardiol.* 1999;83(7):1138–1140. DOI: 10.1016/s0002-9149(99)00031-4.
 40. Van Geldorp I.E., Vanagt W.Y., Prinzen F.W., Delhaas T. Chronic ventricular pacing in children: toward prevention of pacing-induced heart disease. *Heart Fail. Rev.* 2011;16(3): 305–314. DOI: 10.1007/s10741-010-9207-1.
 41. Hou X., Qian Z., Wang Y., Qiu Y., Chen X., Jiang H. et al. Feasibility and cardiac synchrony of permanent left bundle branch pacing through the interventricular septum. *Europace.* 2019;21(11):1694–1702. DOI: 10.1093/europace/euz188.
 42. Breur J.M., Udink ten Cate F.E.A., Kapusta L., Boramanand N., Cohen M.I., Crosson J.E. et al. Potential additional indicators for pacemaker requirement in isolated congenital atrioventricular block. *Pediatr. Cardiol.* 2006;27:564–568. DOI: 10.1007/s00246-004-0629-1.
 43. Chamberlain D.A., Leinbach R.C., Vassaux C.E., Kastor J.A., DeSanctis R.W., Sanders C.A. Sequential atrioventricular pacing in heart block complicating acute myocardial infarction. *N. Engl. J. Med.* 1970;282:577–582. DOI: 10.1056/NEJM197003122821101.
 44. Hartzler G.O., Maloney J.D., Curtis J.J., Barnhorst D.A. Hemodynamic benefits of atrioventricular sequential pacing after cardiac surgery. *Am. J. Cardiol.* 1977;40(2):232–236. DOI: 10.1016/0002-9149(77)90013-3.
 45. Horenstein M.S., Karpawich P.P. Pacemaker syndrome in the young: Do children need dual chamber pacing as the initial pacing mode? *Pacing Clin. Electrophysiol.* 2004;27(5):600–605. DOI: 10.1111/j.1540-8159.2004.00493.x.
 46. Horenstein M.S., Karpawich P.P., Victoria M., Tantengco T. Single versus dual chamber pacing in the young: Noninvasive comparative evaluation of cardiac function. *Pacing Clin. Electrophysiol.* 2003;26(5):1208–1211. DOI: 10.1046/j.1460-9592.2003.t01-1-00170.x.

Информация о вкладе авторов

Дамбаев Б.Н., Джаффарова О.Ю., Свинцова Л.И., Плотникова И.В. разработали концепцию статьи, проанализировали и интерпретировали полученные данные, участвовали в написании текста статьи.

Information on author contributions

Dambaev B.N., Dzhaifarova O.Yu., Svintsova L.I., and Plotnikova I.V. developed the article concept, analyzed and interpreted data obtained, and participated in writing the manuscript.

Dzhaifarova O.Yu. and Svintsova L.I. approved the final text for publication.

Smorgon A.V., Krivolapov S.N., and Gulyaev A.M. participated in writing of the particular parts of the article.

Information about the authors

Bair N. Dambaev, Resident Physician, Department of Pediatric Cardiology, Cardiology Research Institute, Tomsk National Research Medical Center, Russian Academy of Sciences.

E-mail: bair23105@mail.ru.

Olga Yu. Dzhaifarova, Cand. Sci. (Med.), Senior Research Fellow, Department of Pediatric Cardiology, Cardiology Research Institute, Tomsk National Research Medical Center, Russian Academy of Sciences. ORCID 0000-0002-3947-4903.

E-mail: oyd@cardio-tomsk.ru.

Liliya I. Svintsova, Dr. Sci. (Med.), Leading Research Fellow, Department of Pediatric Cardiology, Cardiology Research Institute, Tomsk National Research Medical Center, Russian Academy of Sciences. ORCID 0000-0002-2056-4060.

E-mail: lis@cardio-tomsk.ru.

Джаффарова О.Ю., Свинцова Л.И. утвердили текст для публикации. Сморгон А.В., Криволапов С.Н., Гуляев А.М. участвовали в написании отдельных фрагментов статьи.

Сведения об авторах

Дамбаев Баир Намсараевич, ординатор, отделение детской кардиологии, Научно-исследовательский институт кардиологии, Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук.

E-mail: bair23105@mail.ru.

Джаффарова Ольга Юрьевна, канд. мед. наук, старший научный сотрудник, отделение детской кардиологии, Научно-исследовательский институт кардиологии, Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук. ORCID 0000-0002-3947-4903.

E-mail: oyd@cardio-tomsk.ru.

Свинцова Лилия Ивановна, д-р мед. наук, ведущий научный сотрудник, отделение детской кардиологии, Научно-исследовательский институт кардиологии, Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук. ORCID 0000-0002-2056-4060.

E-mail: lis@cardio-tomsk.ru.

Плотникова Ирина Владимировна, д-р мед. наук, заведующий отделением детской кардиологии, Научно-исследовательский институт кардиологии, Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук. ORCID 0000-0003-4823-4378.

E-mail: ivp@cardio-tomsk.ru.

Сморгон Андрей Владимирович, младший научный сотрудник, отделение функциональной и лабораторной диагностики, Научно-исследовательский институт кардиологии, Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук. ORCID 0000-0002-6531-7223.

E-mail: sav.ssmu@gmail.com.

Криволапов Сергей Николаевич, врач по рентген-эндоваскулярным диагностике и лечению, отделение хирургического лечения сложных нарушений ритма сердца и электрокардиостимуляции, Научно-исследовательский институт кардиологии, Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук.

E-mail: cardiorhythm@mail.ru.

Гуляев Аvenir Мильевич, канд. мед. наук, врач-рентгенолог, отделение рентгеновских и томографических методов диагностики, Научно-исследовательский институт кардиологии, Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук.

E-mail: AMGwork1@yandex.ru.

 **Дамбаев Баир Намсараевич**, e-mail: bair23105@mail.ru.

Irina V. Plotnikova, Dr. Sci. (Med.), Head of the Department of Pediatric Cardiology, Cardiology Research Institute, Tomsk National Research Medical Center, Russian Academy of Sciences. ORCID 0000-0003-4823-4378.

E-mail: ivp@cardio-tomsk.ru.

Andrey V. Smorgon, Junior Research Fellow, Department of Functional and Laboratory Diagnostics, Cardiology Research Institute, Tomsk National Research Medical Center, Russian Academy of Sciences. ORCID 0000-0002-6531-7223.

E-mail: sav.ssmu@gmail.com.

Sergey N. Krivolapov, Interventional Cardiologist, Department of Interventional Arrhythmology, Cardiology Research Institute, Tomsk National Research Medical Center, Russian Academy of Sciences.

E-mail: cardiorhythm@mail.ru.

Avenir M. Gulyaev, Cand. Sci. (Med.), Radiologist, Department of Radiology and Tomography, Cardiology Research Institute, Tomsk National Research Medical Center, Russian Academy of Sciences.

E-mail: AMGwork1@yandex.ru.

 **Bair N. Dambaev**, e-mail: bair23105@mail.ru.

Received July 20, 2020

Поступила 20.07.2020