



Электрофизиологическая анатомия правого желудочка и межжелудочковой перегородки (анатомо-физиологическое обоснование оптимальной области позиционирования правожелудочкового электрода)

М.В. Диденко¹, Д.А. Старчик², С.П. Марченко¹, Г.С. Пасенов¹, Г.Г. Хубулава¹

¹ Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург; ² Международный морфологический центр, Санкт-Петербург
УДК 616.12-008.314-08. ВАК 14.01.05. Поступила в редколлегию 1 августа 2014 г.

Цель	Несмотря на теоретическое обоснование позиционирования электрода в межжелудочковую перегородку (МЖП), данные клинических исследований имеют противоречивые результаты. Одной из причин противоречивости выводов этих исследований является отсутствие единых критериев позиционирования электрода для электрокардиостимуляции (ЭКС) из области МЖП.
Материал и методы	В работе описаны анатомические особенности правого желудочка, МЖП относительно проводящей системы сердца, нормального возбуждения желудочков и техники имплантации электрода для постоянной ЭКС.
Результаты	Выполнено сравнительное исследование с применением электроанатомического трехмерного картирования сердца, рентгеноскопии, компьютерной томографии, морфологического и морфометрического изучения 73 свежезафиксированных и пластированных анатомических препаратов сердца человека.
Выводы	Выявлено, что средняя часть МЖП в области септомаргинальной трабекулы может считаться наиболее оптимальной для проведения постоянной ЭКС. Определены критерии имплантации правожелудочкового электрода в эту область.
Ключевые слова	Электрокардиостимуляция • Межжелудочковая перегородка • Анатомия • Правый желудочек

Постоянная электрокардиостимуляция (ЭКС) – единственный метод лечения необратимой симптомной брадикардии. Верхушка правого желудочка (ВПЖ) является наиболее часто используемой областью для стимуляции желудочков, так как позиционировать электрод в эту область технически просто, кроме того, обеспечивается хорошая стабильность положения и пороги стимуляции в ближайшие и отдаленные сроки после операции [1]. Однако получены данные, свидетельствующие о неблагоприятных эффектах стимуляции из ВПЖ, особенно в отдаленные сроки после операции [2–4]. В ряде работ было показано, что стимуляция межжелудочковой перегородки (МЖП)

в ближайшие и отдаленные сроки имеет целый ряд преимуществ и в то же время не хуже по стабильности и эффективности в сравнении с ВПЖ, кроме того, отмечается низкий риск перфорации сердца, стимуляции диафрагмального нерва, а электрод легко удаляется при необходимости его замены [1]. Несмотря на логичные анатомо-физиологические обоснования при позиционировании электрода в МЖП, данные клинических исследований имеют противоречивые результаты [5, 6]. Одной из возможных причин противоречивости выводов этих исследований является отсутствие единых анатомических, рентгенанатомических и мето-

дологических критериев позиционирования электрода для ЭКС из области МЖП.

Целью работы стало определение анатомических особенностей правого желудочка (ПЖ), МЖП относительно проводящей системы сердца, нормального возбуждения ПЖ и техники имплантации электрода для постоянной ЭКС.

Материал и методы

С целью изучения электрофизиологической анатомии ПЖ и определения оптимального положения электрода проведено сравнительное исследование параметров, полученных с помощью трехмерных электроанатомических карт пациентов без органической патологии сердца по рентгеноанатомическим, топографическим и морфометрическим критериям. Изучены данные нефлюороскопического электроанатомического трехмерного картирования сердца у 8 больных, а также флюороскопических рентгеноанатомических критериев у 37 пациентов. Исследованы материалы, полученные при компьютерной томографии сердца у 16 больных. Проведен сравнительный топографо-анатомический анализ данных, полученных при картировании и рентгенографических исследованиях, с морфологическими параметрами 73 анатомических препаратов сердца, взятых от 41 мужских и 32 женских лиц, умерших в возрасте от 24 до 84 лет (в среднем – $57,9 \pm 12,4$ года), кроме того, была изучена пространственная электрофизиологическая анатомия ПЖ, а также морфометрия и морфология структур, в которых располагается проводящая система сердца.

Для изучения пространственной анатомии применяли метод полимерного бальзамирования. ПЖ пересекали по передней стенке вдоль межжелудочковой перегородки от верхушки в направлении корня легочной артерии, далее отступив от легочного корня 1 см в направлении кольца трикуспидального клапана (ТК). Передняя стенка ПЖ удалялась. Разрез правого предсердия осуществлялся на 1 см выше кольца ТК. Восстановление пространственных взаимоотношений проводилось с помощью пластинации препарированного сердца.

При статистической обработке данных выполнялась оценка соответствия эмпирического закона распределения количественных переменных теоретическому закону нормального распределения по критерию Шапиро – Уилка. Оценка значимости различий средних значений количественных показателей в независимых выборках осуществлялась по t-тесту Стьюдента. Для описания количественных переменных в работе ис-

пользованы среднее арифметическое значение и стандартное отклонение случайной величины ($M \pm SD$). Нулевая статистическая гипотеза отвергалась при уровне значимости $p < 0,05$.

Результаты и дискуссия

В начале нашего исследования в эксперименте на анатомических препаратах были изучены варианты положения электродов для ЭКС ПЖ (рис. 1). Наиболее часто используется позиционирование электрода в ВПЖ (рис. 1, а). С морфологической точки зрения это положение электрода характеризуется стабильностью (электрод проходит между трабекулами и находится между сходящимися под острым углом стенками ПЖ), а также простотой имплантации. В МЖП электрод может фиксироваться в разных ее областях: мембранозной, парагисиальной (парамембранозной), средней, верхушечной или в выходном отделе ПЖ (ВОПЖ). ЭКС пучка Гиса, который расположен между коллагеновыми фиброзными соединительнотканными волокнами, возможна при фиксации электрода в мембранозной части МЖП (рис. 1, б), что крайне затруднено в связи с наличием в этой области септальной створки ТК и его хордального аппарата (рис. 3, б). Парагисиальная ЭКС (рис. 1, в) осуществляется из парамембранозной части мышечной части МЖП (в пределах 1,0–1,5 см), что также может приводить к нестабильности положения электрода в связи с движениями створок ТК и его хорд. Кардиостимуляция также может проводиться из верхушечной (рис. 1, г) или средней (рис. 1, г) части МЖП под септомаргинальной трабекулой. Для стимуляции из ВОПЖ электрод фиксируется над септомаргинальной трабекулой (рис. 1, е). ЭКС из передней стенки ПЖ обычно предусматривает фиксацию электрода в этой стенке между ВПЖ и ВОПЖ (рис. 1, ж).

Для понимания последовательности возбуждения ПЖ изучены данные трехмерного электроанатомического картирования. При этом выявлено, что наиболее ранняя область возбуждения ПЖ активировалась в среднем через $19,2 \pm 7,1$ мс от начала комплекса QRS и находилась в средней части межжелудочковой перегородки у 6 больных (зона 15 по карте Josephson), а у 2 – в передней части МЖП (зона 14 по карте Josephson), что, вероятно, обусловлено местом контакта правой ножки пучка Гиса (ПНПГ) с волокнами Пуркинье. При детальном анализе электроанатомических карт выявлено, что, несмотря на меньший размер ПЖ по сравнению с ЛЖ, базальная часть его переднебоковой стен-

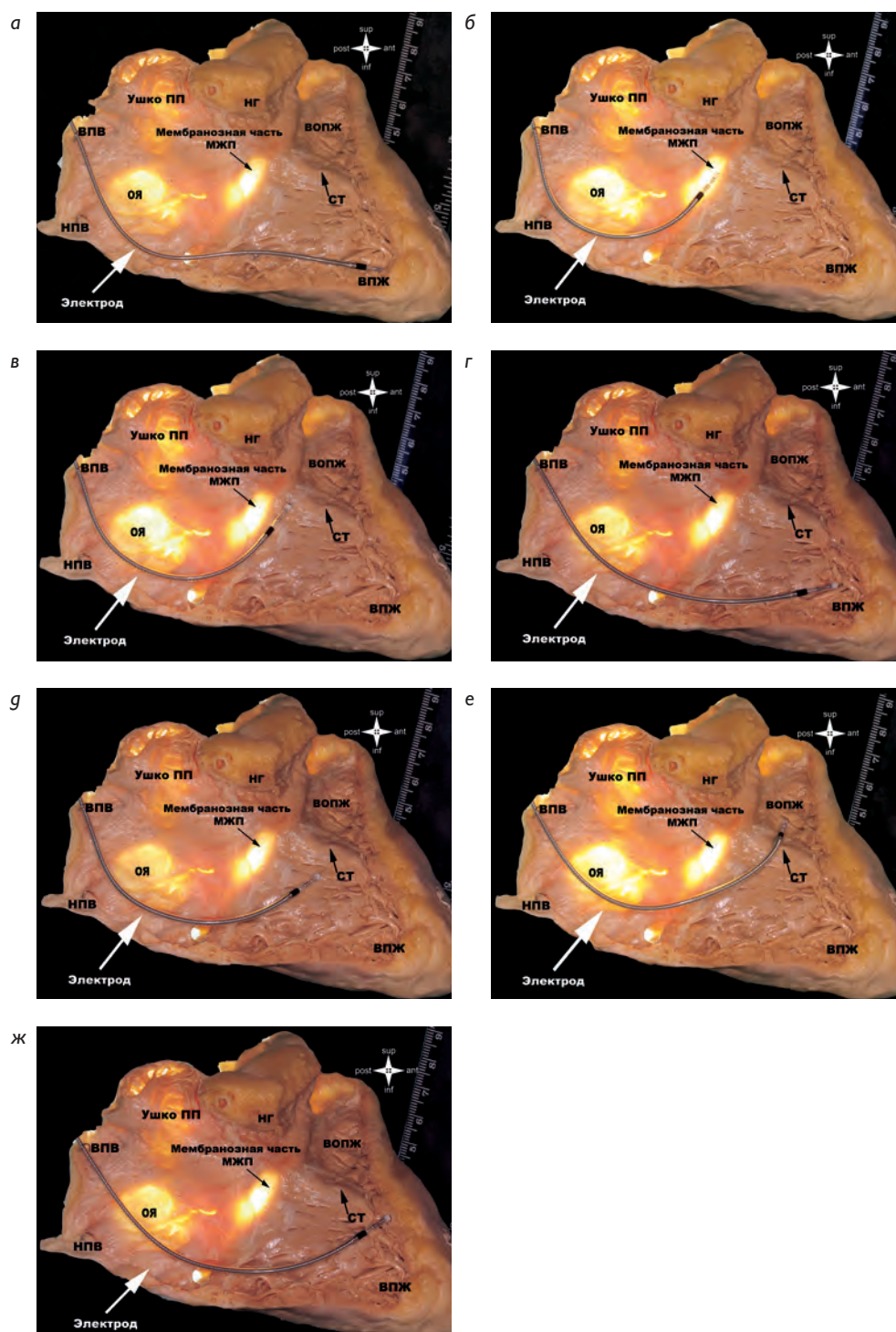


Рис. 1. Положение электрода при ЭКС из разных областей ПЖ. Важно фиксированные препараты ПП и ПЖ. Боковые и передние стенки ПП, ПЖ и створки ТК иссечены. Диафаноскопия межпредсердной и межжелудочковой перегородок. ВПВ – верхняя полая вена; НПВ – нижняя полая вена; ОЯ – овальная ямка; ВПЖ – вершина правого желудочка, НГ – наджелудочковый гребень; СТ – септомаргинальная трабекула.

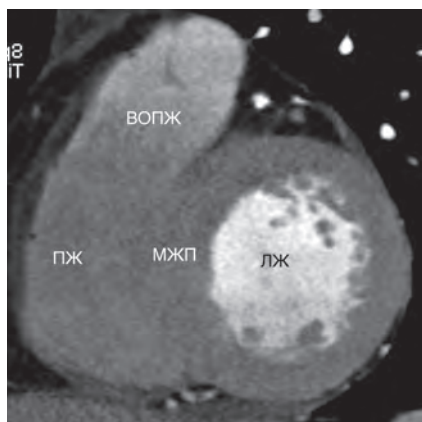


Рис. 2. КТ срез сердца в левой косой проекции с углом наклона по отношению к фронтальной оси тела 50° (LAO 50°).

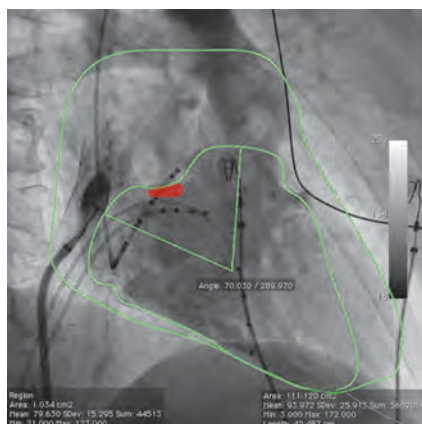


Рис. 3. Взаимоотношение тени сердца (наружный обведенный контур) и правого желудочка (внутренний контур) во время вентрикулографии и эндокардиального электрофизиологического исследования в правой косой проекции (RAO 30°). Контрастное вещество вводилось через интродьюсер в правое предсердие. Красным цветом обозначена область, в которой находится пучок Гиса. Продемонстрирован угол между входящим и выходящим трактом правого желудочка, равный 70° .

ки сокращается на $14,3 \pm 8,7$ мс позже, чем латеральная стенка ЛЖ ($p < 0,05$).

Далее были изучены особенности электрофизиологической анатомии ПЖ и МЖП. С помощью последовательных послойных срезов во время КТ сердца в левой косой проекции с углом наклона по отношению к

фронтальной оси тела 50° изучены анатомические особенности ПЖ применительно к постоянной ЭКС. Как видно на рис. 2 левая косая проекция с ангуляцией 50° позволяет ориентироваться в рентгенанатомии сердца относительно его латеральных стенок и межжелудочковой перегородки. В левой косой проекции ПЖ, в том числе на уровне ВОПЖ, имеет форму вытянутого полумесяца, который огибает ЛЖ.

Как правый, так и левый желудочек обычно делят на 3 части: приточный, трабекулярный и выходной отделы. Несмотря на то что терминологически желудочек правый, эта часть сердца не располагается в правой половине грудной клетки, а также не строго справа по отношению к левому желудочку. ПЖ расположен больше кпереди от ЛЖ между правым предсердием и верхушкой сердца. Его полость имеет V-образную форму, одна часть которой образована приточным отделом, а вторая – ВОПЖ и легочной артерией (рис. 3).

Выходной отдел правого желудочка направлен вверх и влево, образуя артериальный конус, напоминающий по форме воронку. Передняя поверхность ПЖ прилежит к передней стенке грудной клетки. Его нижняя стенка лежит на поверхности диафрагмы. Левая и задняя стенки ПЖ образованы МЖП, которая спиралевидно изогнута и имеет выпуклую в полость ПЖ форму. ТК и клапан легочной артерии разделены выступающим наджелудочковым гребнем. Это – толстая мышечная структура, которая тянется косо вперед и вправо от МЖП к переднелатеральной париетальной стенке ПЖ (рис. 4, а).

Электрический импульс, пройдя через АВУ, распространяется по пучку Гиса к его ножкам и далее к волокнам Пуркинье. Пучок Гиса располагается в мембранозной части МЖП (рис. 4, а), которая в нашем исследовании была в форме овала (41,7%), треугольника (21,4%), квадрата (15,2%), круга (12,6%) и полукруга (9,1%). Площадь мембранозной части МЖП в среднем составила $45,6 \pm 23,1$ мм².

Пучок Гиса делится на правую и левую ножки сразу по окончании мембранозной части межжелудочковой перегородки (МчМЖП). Правая ножка пучка Гиса единым стволом лежит в проекции мышцы Ланцизи (МЛ) и далее в септомаргинальной трабекуле и направляется к модераторному пучку (МП) (рис. 4, б), который переходит в основание передней папиллярной мышцы ТК. Септомаргинальная трабекула является анатомической границей между средней частью МЖП и ВОПЖ.

С помощью данных, полученных при КТ сердца, установлено, что септомаргинальная трабекула выступает в просвет ПЖ в среднем на $6,2 \pm 0,9$ мм (рис. 5) и может

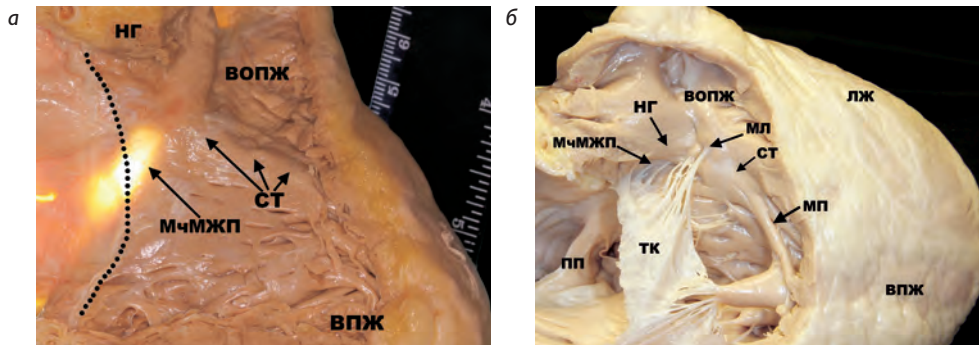


Рис. 4. Морфологические характеристики межжелудочковой перегородки и основные анатомические ориентиры проводящей системы сердца в ПЖ. Влажно фиксированные препараты сердца, у которых боковые стенки ПП, ПЖ иссечены, створки ТК отсечены (линия фиксации створок указана пунктирной линией) (а), створки ТК сохранены (б).

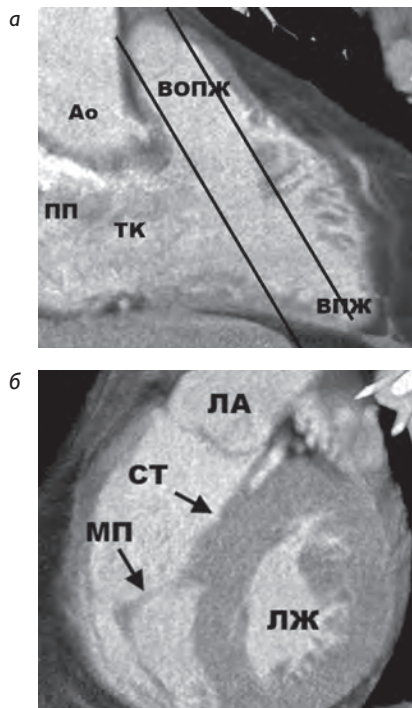


Рис. 5. Септомаргинальная трабекула и модераторный пучок в ПЖ: а – срез ПЖ в правой косой проекции (ROA 40°). Линиями обозначен уровень и направление КТ изображения, полученного на рис. б. КТ сердца с контрастированием в режиме объемной реконструкции (20 мм).

являться хорошим ориентиром для имплантации электрода в среднюю часть МЖП, так как продвижение

электрода во время вмешательства поперек мышечного валика, который формируется в этой области, будет приводить к скачку его кончика и может интерпретироваться как оптимальное положение электрода для ЭКС в этой области.

Таким образом, позиционирование электрода в область сразу же под септомаргинальной трабекулой (рис. 6) целесообразно по ряду обстоятельств. Во-первых, септомаргинальная трабекула располагается в средней части МЖП, где начинается возбуждение ПЖ в норме при спонтанном синусовом ритме. Во-вторых, с анатомо-физиологической точки зрения стимуляция из этой области будет приводить к быстрому распространению возбуждения на ПНПГ, которая залегает в толще септомаргинальной трабекулы. При этом с учетом более быстрого (в 3–4 раза быстрее чем по сократительному миокарду) и возможности ретроградного распространения импульса по системе Гиса – Пуркинью к ЛНПГ ЛЖ будет возбуждаться более синхронно. И последнее, но не менее важное обстоятельство: имплантация электрода оправдана в эту область с точки зрения методики вмешательства, так как септомаргинальная трабекула, выступающая в просвет ПЖ, будет служить дополнительным ориентиром для позиционирования электрода.

В результате проведенного исследования на основании морфометрических и электрофизиологических критериев выявлено, что средняя часть МЖП в области септомаргинальной трабекулы, обозначенная на рис. 6 красным кругом, с анатомо-электрофизиологической точки зрения может считаться наиболее оптимальной для проведения постоянной ЭКС. В то же

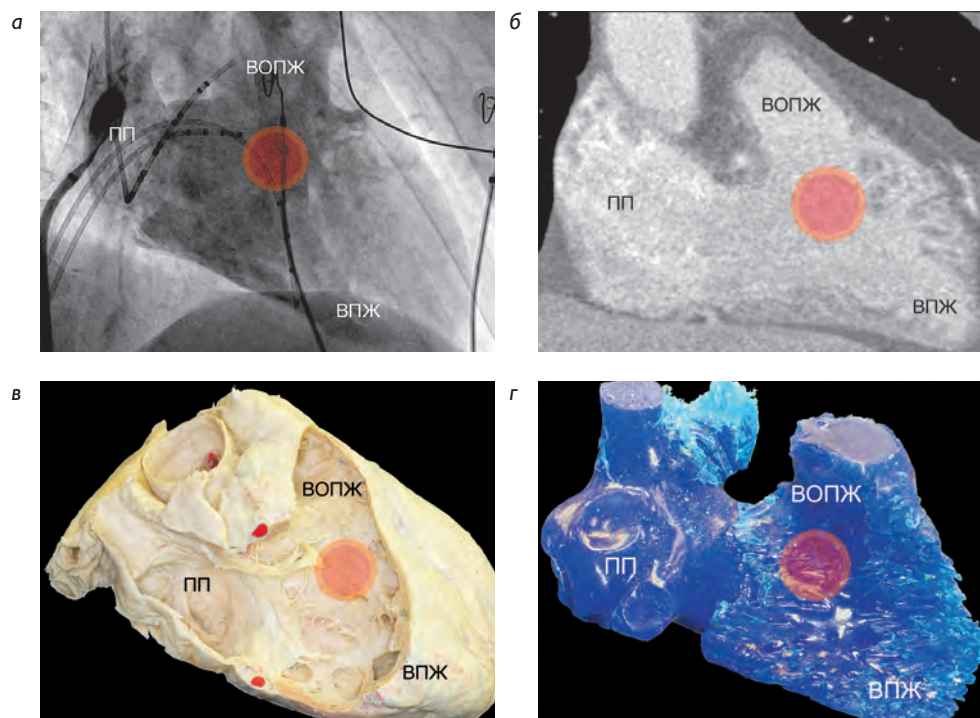


Рис. 6. Область оптимального позиционирования электрода для желудочковой ЭКС (обозначена красным кругом), основанная на анатомических и электрофизиологических критериях: а – артрио- и вентрикулография ПП и ПЖ в правой косо́й проекции (РАО 30–40°); б – срез через ПП и ПЖ при компьютерной томографии сердца в правой косо́й проекции (РАО 30–40°); в – анатомический препарат сердца, расположенный в правой косо́й проекции (РАО 30–40°); г – силиконовый слепок эндокардиальной поверхности ПП и ПЖ, расположенный в правой косо́й проекции (РАО 30–40°).

время необходимо проведение клинических исследований для отработки технических нюансов имплантации электродов, а также для определения клинических результатов в ближайшем и отдаленном периодах при сравнении с традиционными методами позиционирования электродов.

Список литературы

1. Parekh S, Stein KM. Selective site pacing: Rationale and practical application. *Curr. Cardiol. Rep.* 2008; 10 (5): 351–9.
2. Sweeney MO, Hellkamp A, Ellenbogen K, et al. Adverse effect of ventricular pacing on heart failure and atrial fibrillation among patients with normal baseline QRS duration in a clinical trial of pacemaker therapy for sinus node dysfunction. *Circulation.* 2003; 107 (23): 2932–37.
3. Sharma AD, Rizo-Patron C, Hallstrom A, et al. Percent right ventricular pacing predicts outcomes in the DAVID trial. *Heart. Rhythm.* 2005; 2 (8): 830–4.
4. Steinberg JS, Fisher A, Wang P, et al. The clinical implications of cumulative right ventricular pacing in the multicenter automatic defibrillator trial II. *J. Cardiovasc. Electrophysiol.* 2005; 16 (4): 359–65.
5. Dabrowska-Kugacka A, Lewicka-Nowak E, Tybura S, et al. Survival analysis in patients with preserved left ventricular function and standard indications for permanent cardiac pacing randomized to right ventricular apical or septal outflow tract pacing. *Circ. J.* 2009; 73 (10): 1812–9.
6. Weizong W, Zhongsu W, Yujiao Z, et al. Effects of right ventricular nonapical pacing on cardiac function: a meta-analysis of randomized controlled trials. *Pacing Clin. Electrophysiol.* 2013; 36 (8): 1032–51.

Right ventricle/interventricular septum electrophysiological anatomy (determination of optimal right ventricular lead placement)M.V. Didenko¹, D.A. Starchik², S.P. Marchenko¹, G.S. Pasenov¹, G.G. Khubulava¹¹S.M. Kirov Military Medical Academy, St. Petersburg, Russia; ²International Morphological Centre, St. Petersburg, Russia

Corresponding author. Email: maxdidenko@gmail.com, Tel: +79217437579

Received 1 August 2014.

Notwithstanding a theoretically justified lead placement into the interventricular septum (IVS), the data from the clinical trials demonstrate somewhat controversial results. One of these controversies is the absence of consolidated criteria for positioning the electrode to deliver pacing from the interventricular septum (IVS) area. The study describes anatomic features of RV and IVS with respect to the cardiac conduction system, normal ventricular excitation and electrode implantation techniques for continuous pacing. A comparative study of 73 specimens of cadaver hearts was carried out by using electro-anatomic 3D mapping of the heart, X-ray examination, computer-aided tomography, morphological and morphometric investigation. It was found out that the medium part of IVS in the septomarginal trabecula zone could be considered the best for continuous pacing. The criteria for the RV lead to be implanted in this zone were determined.

Key words: cardiac pacing; interventricular septum; anatomy; right ventricle.

Circulation Pathology and Cardiac Surgery (2014) 4: 132–138

Диденко Максим Викторович – доктор медицинских наук, доцент, заведующий отделением хирургической аритмологии Первой кафедры и клиники хирургии усовершенствования врачей им. П.А. Куприянова Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова (Санкт-Петербург).

Старчик Дмитрий Анатольевич – кандидат медицинских наук, доцент, научный директор Международного морфологического центра (Санкт-Петербург).

Марченко Сергей Павлович – доктор медицинских наук, профессор кафедры сердечно-сосудистой хирургии Санкт-Петербургского государственного педиатрического медицинского университета, доцент Первой кафедры и клиники хирургии усовершенствования врачей им. П.А. Куприянова Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова (Санкт-Петербург).

Пасенов Гиппократ Сергеевич – врач сердечно-сосудистый хирург отделения хирургической аритмологии Первой кафедры и клиники хирургии усовершенствования врачей им. П.А. Куприянова Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова (Санкт-Петербург).

Хубулава Геннадий Григорьевич – доктор медицинских наук, профессор, лауреат Государственной премии РФ, главный кардиохирург СЗФО РФ, заведующий Первой кафедры и клиники хирургии усовершенствования врачей им. П.А. Куприянова Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова (Санкт-Петербург).