https://doi.org/10.35336/VA-1207 https://elibrary.ru/MZNKPQ

ТРАНСКАТЕТЕРНАЯ ОККЛЮЗИЯ КОРОНАРНОГО СИНУСА УВЕЛИЧИВАЕТ ОБЪЕМ ПОВРЕЖДЕНИЯ ПРИ РАДИОЧАСТОТНОЙ АБЛАЦИИ МИОКАРДА ЛЕВОГО ЖЕЛУДОЧКА: НОВЫЙ ПОДХОД К ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕСТРУКЦИИ СУБСТРАТА ЖЕЛУДОЧКОВЫХ ТАХИАРИТМИЙ

Л.Е.Коробченко, Э.И.Кондори Леандро, А.Д.Вахрушев, Е.М.Андреева, Д.С.Лебедев, Е.Н.Михайлов
ФГБУ «НМИЦ имени В.А.Алмазова» МЗ РФ, Россия, Санкт-Петербург, ул. Аккуратова, д.2

Цель. Результаты катетерной аблации субстрата желудочковых тахиаритмий при структурной патологии сердца, особенно при кардиомиопатиях неишемического генеза, остаются неудовлетворительными. Это обусловлено как эволюцией субстрата аритмии, так и глубоким его расположением, недоступным для традиционной эндокардиальной аблации. Теоретически, уменьшение скорости перфузии миокарда может улучшать конвективный нагрев миокарда при радиочастотной (РЧ) аблации, расширяя объем повреждения. Целью исследования стало изучение влияния окклюзии коронарного синуса (КС) с целью снижения перфузии миокарда во время РЧ аблации на объем аблационного повреждения миокарда в эксперименте.

Материал и методы исследования. Исследование выполнялось на 13 свиньях. После осуществления сосудистых доступов в просвет КС вводился баллонный катетер. В полость левого желудочка вводился 3,5-мм орошаемый катетер для РЧ аблации. Аппликации РЧ током наносились попеременно, с окклюзией КС и без нее (мощность 30 и 40 Вт, время аппликации 40 и 30 с, соответственно). Каждая точка аблации маркировалась на трехмерной электроанатомической карте. После эвтаназии животного, при патоморфологическом исследовании, оценивались диаметр и глубина получившегося некроза, рассчитывался его объем.

Результаты. Выполнен анализ 50 РЧ аппликаций (22 - с окклюзией КС и 28 - без окклюзии КС). При этом, 28 аппликаций (13 - с окклюзией и 15 - без окклюзии) были выполнены на мощности 40 Вт, а 22 аппликации (9 - с окклюзией и 13 - без окклюзии) на мощности 30 Вт. Наблюдалась тенденция к увеличению всех размеров некроза при анализе общей группы. Достоверное увеличение размеров повреждения миокарда выявлено при аппликациях мощностью 40 Вт в группе окклюзии КС по сравнению с группой открытого КС: глубина 11,6±3,9 против 8,8±3,8 мм (p=0,04), диаметр 11,7±4,6 против 8,5±3,9 мм (p=0,03), объем 504,2±499,5 против 183,0±157,5 мм^3 (p=0,01). Трансмуральные повреждения миокарда чаще выявлялись при аппликациях на фоне окклюзии КС, что было справедливо для аппликаций и на 30, и на 40 Вт: 68,2% трансмуральных воздействий против 39,3%; p=0,046.

Выводы. РЧ аппликации мощностью 40 Вт на фоне окклюзии КС характеризуются большей глубиной, диаметром и объемом повреждения, а также большей частотой трансмуральных некрозов. Временная транскатетерная окклюзия КС может быть методом увеличения объема повреждения миокарда при аблации субстрата желудочковых аритмий.

Ключевые слова: радиочастотная катетерная аблация; желудочковые нарушения ритма; микроциркуляция; коронарный синус

Конфликт интересов: отсутствует.
Финансирование: отсутствует.
Рукопись получена: 09.05.2023 **Исправленная версия получена:** 14.08.2023 **Принята к публикации:** 18.08.2023
Ответственный за переписку: Коробченко Лев Евгеньевич, E-mail: lev.korobchenko@gmail.com

Данная научная работа представлена в рамках конкурса молодых ученых X Всероссийского съезда аритмологов, состоявшегося 8-10 июня 2023 года в Москве.

Л.Е.Коробченко - ORCID ID 0000-0001-7185-0983, Э.И.Кондори Леандро - ORCID ID 0000-0003-3246-5948, А.Д.Вахрушев - ORCID ID 0000-0003-0116-7753, Е.М.Андреева - ORCID ID 0000-0001-6081-1559, Д.С.Лебедев - ORCID ID 0000-0002-2334-1663, Е.Н.Михайлов - ORCID ID 0000-0002-6553-9141

Для цитирования: Коробченко ЛЕ, Кондори Леандро ЭИ, Вахрушев АД, Андреева ЕМ, Лебедев ДС, Михайлов ЕН. Транскатетерная окклюзия коронарного синуса увеличивает объем повреждения при радиочастотной аблации миокарда левого желудочка: новый подход к повышению эффективности деструкции субстрата желудочковых тахиаритмий. *Вестник аритмологии.* 2023;30(4): 69-75. https://doi.org/10.35336/VA-1207.

© Коллектив авторов 2023 CC BY 4.0

TRANSCATHETER OCCLUSION OF THE CORONARY SINUS INCREASES RADIOFREQUENCY ABLATION LESION SIZE IN THE LEFT VENTRICULAR MYOCARDIUM: A NEW APPROACH TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF VENTRICULAR TACHYARRHYTHMIA SUBSTRATE DESTRUCTION

L.E.Korobchenko, H.I.Condori Leandro, A.D.Vakhrushev, E.M.Andreeva, D.S.Lebedev, E.N.Mikhaylov
FSBI «Almazov National Medical Research Centre» of the Ministry of Health of the Russian Federation, Russia, Saint-Petersburg, 2 Akkuratova str.

The aim. The results of ventricular tachyarrhythmia catheter ablation in patients with structural heart diseases remains to be improved. Both evolution of the arrhythmia substrate and its deep location are the main reasons for standard endocardial ablation limitations. Theoretically, the reduction of myocardial perfusion rate may improve convective heating of the myocardium during radiofrequency (RF) ablation, expanding the volume of damage. The purpose of this study was to assess the effect of coronary sinus (CS) occlusion in order to reduce myocardial perfusion during RF ablation on the volume of myocardial damage.

Methods. The study was performed on 13 pigs. Following vascular access accomplishment, a balloon catheter was inserted into the lumen of the CS. A 3.5-mm open-irrigated RF ablation catheter was inserted into the cavity of the left ventricle. RF applications were applied in an alternate order, with and without CS occlusion (power 30 and 40W, application time 40 and 30 s, respectively). Each ablation point was marked on a three-dimensional electroanatomic map. After euthanasia, myocardial lesions were analyzed.

Results. The analysis of 50 RF applications was performed (22 with CS occlusion and 28 without CS occlusion). At the same time, 28 applications (13 with occlusion and 15 without occlusion) were performed at a power of 40W, and 22 applications (9 with occlusion and 13 without occlusion) at a power of 30 watts. There was a trend toward the increase in lesion sizes created during CS occlusion. Significantly larger lesions were detected with 40W applications during CS occlusion when compared with open CS applications: depth 11.6±3.9 vs. 8.8±3.8 mm (p=0.04), diameter 11.7±4.6 vs. 8.5±3.9 mm (p=0.03), volume 504.2±499.5 vs. 183.0±157.5 mm^3 (p=0.01). Transmural myocardial lesions were more often encountered during applications with CS occlusion with both power settings, 30 and 40W: 68.2% of transmural lesions versus 39.3%; p=0.046.

Conclusion. RF applications with a power of 40W and CS occlusion are characterized by greater depth, diameter, and volume of damage, as well as a greater frequency of transmural necrosis. Temporary transcatheter occlusion of CS can be proposed for ablation of ventricular arrhythmia with extended and deep substrate.

Keywords: radiofrequency catheter ablation; ventricular arrhythmias; microcirculation; coronary sinus

Conflict of interest: none.
Funding: none.
Received: 09.05.2023 **Revesion received:** 14.08.2023 **Accepted:** 18.08.2023
Corresponding author: Lev Korobchenko, E-mail: lev.korobchenko@gmail.com

This work was presented as part of the competition for young scientists of the X All-Russian Congress of Arrhythmologists, held on June 8-10, 2023 in Moscow.

L.E.Korobchenko - ORCID ID 0000-0001-7185-0983, H.I.Condori Leandro - ORCID ID 0000-0003-3246-5948, A.D.Vakhrushev - ORCID ID 0000-0003-0116-7753, E.M.Andreeva - ORCID ID 0000-0001-6081-1559, D.S.Lebedev - ORCID ID 0000-0002-2334-1663, E.N.Mikhaylov - ORCID ID 0000-0002-6553-9141

For citation: Korobchenko LE, Condori Leandro HI, Vakhrushev AD, Andreeva EM, Lebedev DS, Mikhaylov EN. Transcatheter occlusion of the coronary sinus increases lesion sizes during radiofrequency ablation in the left ventricular myocardium: a new approach to improve the efficiency of ventricular tachyarrhythmia substrate destruction. *Journal of Arrhythmology.* 2023;30(4): 69-75. https://doi.org/10.35336/VA-1207.

Желудочковые нарушения ритма - потенциально жизнеугрожающие состояния, ассоциированные с риском внезапной сердечной смерти. На сегодняшний день, с целью профилактики внезапной сердечной смерти используются имплантируемые кардиовертеры-дефибрилляторы и антиаритмическая терапия [1]. Однако в долгосрочной перспективе каждый разряд кардиовертера-дефибриллятора ухудшает прогноз пациента [2].

Катетерная аблация (КА) - метод интервенционного лечения аритмий путем деструкции участка миокарда, ответственного за поддержание патологической активации или электрического проведения, который, в том числе, используется для подавления желудочковых тахиаритмий. Было показано преимущество КА в сравнении с антиаритмической терапией в отношении количества устойчивых желудочковых тахикардий, времени до первого срабатывания имплантированного дефибриллятора, количества госпитализаций у пациентов как с постинфарктным кардиосклерозом, так и неишемическим поражением миокарда [3, 4]. В настоящее время КА рекомен-

дована у пациентов с желудочковыми тахикардиями, рефрактерными к антиаритмическим препаратам, и/или частыми срабатываниями дефибриллятора [1]. Наиболее часто для КА желудочковых тахиаритмий используется радиочастотный ток.

При лечении желудочковых тахикардий целью КА является деструкция патологического участка миокарда, при этом крайне важно нанесение радиочастотных (РЧ) аппликаций, достаточных по размерам. Обычно, при нанесении РЧ аппликации на эндокардиальную поверхность левого желудочка (ЛЖ) диаметр повреждения составляет до 5-8 мм, а глубина повреждения составляет до 7 мм [5]. Более глубокое расположение субстрата желудочковых аритмий в миокарде может быть препятствием эффективной КА [6, 7].

Известно, что размер некроза миокарда зависит от мощности РЧ аппликации, силы прижатия рабочего окончания катетера к миокарду, длительности аппликации [8]. Биофизически, некроз при РЧ аппликации формируется за счет резистивного нагрева (в месте контакта кончика катетера и ткани) и кондуктивного нагрева (проводимого по ткани тепла). Крупные коронарные артерии, находящиеся в проекции РЧ аппликации способны эффективно отводить тепло, уменьшая зону кондуктивного нагревания, что препятствует полной деструкции очага аритмогенеза [9].

Данная работа основана на гипотезе, что кровоток микроциркуляторного русла миокарда желудочков имеет достаточную теплоемкость для ограничения размеров РЧ аппликации. Одним из потенциальных подходов ограничения объема проходящей крови через микроциркуляторное русло миокарда может быть временная окклюзия венозного оттока миокарда ЛЖ. В процедурах имплантации левожелудочковых электродов, когда выполняется окклюзионная венография коронарного синуса (КС), при процедурах редукции размера кольца митрального клапана через КС, а также в исследованиях частичной обтурации КС для лечения рефрактерной стенокардии показано, что кратковременное перекрытие КС является безопасным, не ассоциировано со значимой глобальной ишемией миокарда и/или появлением жизнеугрожающих аритмий [10-12].

Целью настоящего исследования явилась оценка возможности применения окклюзии коронарного синуса для увеличения размеров радиочастотного повреждения миокарда левого желудочка на экспериментальной модели.

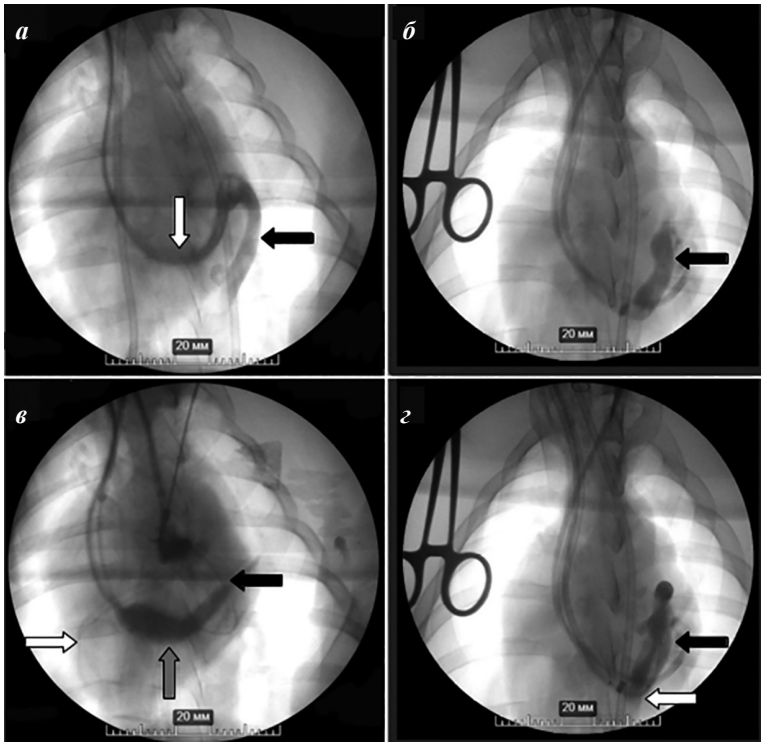

Рис. 1. Флюороскопическое изображение при окклюзии коронарнрного синуса (КС), где а - венография КС без окклюзии (чёрная стрелка - v.azygos впадает в дистальную часть КС, белая стрелка - средняя часть КС); б - баллонный катетер, помещенный в КС (чёрная стрелка); в - неселективная коронароангиография при окклюзии КС (чёрная и белая стрелки - замедление прохождения контраста в левой и правой коронарных артериях, соответственно, серая стрелка - баллонный катетер внутри КС); г - венография при окклюзии КС (чёрная стрелка - баллонный катетер, размещенный в КС, белая стрелка - ретроградное контрастирование v.azygos, отсутствие вымывания контраста в правое предсердие).

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Группу исследования составили 13 свиней со средним весом 45,6±4,8 кг. Протокол исследования был рассмотрен и одобрен комиссией по контролю содержания и использованию лабораторных животных. Исследование проводилось в условиях экспериментальной рентгенхирургической операционной на базе Центра доклинических и трансляционных исследований.

Под общей анестезией (Золетил+Изофлуран) осуществлялся сосудистый доступ к бедренной артерии и внутренней яремной вене по методике Seldinger. Под флюороскопическим контролем (BV Endura C-Arm, Philips, Veenpluis, The Netherlands), в КС вводился многоцелевой интродьюсер Preface (Johnson & Johnson Medical NV/SA, USA), позиция подтверждалась ретроградной венографией через дистальный порт баллона. Через интродьюсер в просвете КС, в месте впадения непарной вены позиционировался баллон для вальвулопластики Valver (Balton Sp., Warszawa, Poland) размерами 40x15 мм. Ввиду особенности строения венозной системы свиней - наличие непарной вены, впадающей в дистальный отдел КС, эффективная окклюзия может быть достигнута только обтурацией как самого КС на протяжении, так и устья непарной вены. С этой целью было отдано предпочтение более «длинному» баллону - 40 мм.

Для профилактики тромботических осложнений парентерально вводился ге-

парин сульфат (300 Ед/кг/час) с контролем активированного времени свертывания каждые 30 минут. Для поддержания внутрисосудистого объема проводилась инфузия изотоническим раствором хлорида натрия, стерофундином и гелофузином, температура тела поддерживалась на уровне 38 °С с использованием системы подогрева (WarmTouch™, Medtronic, MN, USA)

В полость ЛЖ, через артериальный доступ вводился аблационный катетер с открытым контуром орошения Navistar ThermoCool (Biosense Webster, Inc., Irvine, California, USA), размер дистального контакта электрода - 3,5 мм. Выполнялась трехмерная реконструкция эндокардиальной поверхности ЛЖ с помощью системы Биоток Unity (Биоток, Томск, Россия). Выполнялись РЧ-аппликации на эндокардиальной поверхности миокарда ЛЖ (генератор РЧ-энергии ATAKR II RF, Power generator, Medtronic, MN, USA) попеременно с окклюзией и без окклюзии КС. Каждая аппликация обозначалась и маркировалась на трехмерной карте ЛЖ. Мощность РЧ воздействия составляла 40 и 30 Ватт, длительность аппликаций 40 с, скорость орошения аблационного катетера раствором NaCl 0,9% - 30 и 17 мл/мин, соответственно). Окклюзия КС верифицировалась перед каждым воздействием путем введения небольшого количества контрастного вещества через просвет катетера (3-5 мл, Омнипак 300, GE Healthcare AS, Oslo, Norway).

Основным критерием эффективной окклюзии КС являлось отсутствие вымывания контрастного вещества из венозной системы сердца и отсутствие его сброса в правое предсердие (рис. 1). Дополнительно, у ряда животных, при неочевидности основного критерия, с целью подтверждения эффективной окклюзии КС, выполнялась неселективная коронарография для оценки замедления скорости коронарного кровотока. Перед нанесением РЧ-аппликаций с окклюзией КС вначале проводилась инфляция баллона, расположенного в КС, оценивалась степень окклюзии (рис. 1). При сохранении сброса крови из КС в правое предсердие выполнялось репозиционирование баллона с повторной попыткой окклюзии и ее верификацией. РЧ-воздействия наносились сразу же после окклюзии. После окончания аппликации баллон дефлировался с восстановлением венозного кровотока. При нанесении аппликаций без окклюзии КС баллон оставался в просвете КС, но не проводилась его инфляция. Аппликации наносились в верхушке, септальной и боковой стенках ЛЖ.

После эксперимента животное эвтаназировалось путем внутривенной инъекции летальной дозы хлорида калия, для патоморфологического исследования извлекался комплекс сердце-легкие единым блоком с последующей фиксацией в 10% растворе формалина на период не менее 24 часов. После фиксации препарата, при макроскопической оценке мест воздействия измерялись диаметр и глубина поражения, рассчитывался объема некроза по формуле расчёта объема конуса ($0{,}333*\pi r^2*h$, где r - радиус зоны некроза, h - глубина некроза).

Статистический анализ

Для сравнения распределения данных с гауссовским использовался тест Колмогорова-Смирнова. Значения данных выражались как среднее значение ± стандартное отклонение, категориальные переменные - в виде долей (процентов). Сравнение средних выполнялось с помощью тестов Уилкоксона и Манна-Уитни. Расчеты выполнялись в программе Rstudio (©2023 Posit Software, PBC formerly RStudio, PBC).

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Эффективная окклюзия КС была достигнута во всех случаях. Дополнительная верификация замедления кровотока в коронарных артериях была проведена у 4 животных - отмечалось замедление вымывания контраста из коронарных артерий при коронарографии с окклюзиией КС и быстрое вымывание контраста из коронарных артерий без окклюзии.

Всего было выполнено 60 аппликаций (28 - с окклюзией КС и 32 - без окклюзии КС). При этом, 30 аппликаций (14 - с окклюзией и 16 - без окклю-

Таблица 1.

Размеры и трансмуральность повреждения, процент некроза от толщины стенки для нетрансмуральных повреждений после радиочастотных аппликаций

	Состояние КС	Все аппликации (n=50)	p	30 Вт (n=22)	p	40 Вт (n=28)	p
Глубина, мм	КС закрыт	9,7±4,0	0,44	7,0±2,3	0,24	11,6±3,9	0,04
	КС открыт	9,0±3,9		9,3±4,2		8,8±3,8	
Диаметр, мм	КС закрыт	9,1±4,9	0,11	5,4±2,7	0,86	11,7±4,6	0,03
	КС открыт	7,2±3,5		5,8±2,6		8,5±3,9	
Объем, мм^3	КС закрыт	326,2±406,7	0,14	106,2±136,8	0,69	504,2±499,5	0,01
	КС открыт	147,4±150,7		69,1±72,8		183,0±157,5	
Трансмуральные повреждения	КС открыт	68,2%	0,046	55,6%	0,70	76,9%	0,03
	КС закрыт	39,3%		50,0%		33,3%	
Процент некроза от толщины стенки	КС открыт	67,1±15,0%	0,95	67,5±20,6%	0,76	66,7±5,8%	0,86
	КС закрыт	67,6±9,0%		67,1±7,6%		68,0±10,3%	

Примечание: статистическая значимость оценивалась тестом Манна-Уитни. КС - коронарный синус.

зии) было выполнено на мощности 40 Вт длительность 40 с, а 30 аппликаций (15 - с окклюзией и 15 - без окклюзии) на мощности 30 Вт, длительность 30 с. При мощности воздействия 40 Вт наблюдалось 8 эпизодов эффекта «steam pop» (внутримиокардиальное парообразование, сопровождающееся микроразрывом миокарда) вне зависимости от наличия или отсутствия окклюзии КС. На мощности 30 Ватт отмечалось меньшее количество подобных эпизодов (2 случая, по одному в каждой группе). Аппликации с эффектом «steam pop» были исключены из последующего анализа, таким образом, в итоговый анализ было включено 50 аппликаций (табл. 1).

Анализ толщины миокарда ЛЖ показал среднюю толщину 5,2±1,8 мм на верхушке ЛЖ, 10,9±1,5 мм на межжелудочковой перегородке, 11,9±1,3 мм на боковой стенке ЛЖ. В отдельных случаях толщина миокарда составляла до 22-23 мм в области верхушки и межжелудочковой перегородки (2 животных).

При анализе всех аппликаций, то есть выполненных на мощности воздействия и 30, и 40 Вт, отмечались тенденции к увеличению глубины, диаметра и объема РЧ аппликации на фоне окклюзии КС, однако, статистический значимости достигнуто не было. При использовании мощности 40 Вт (n=28) отмечалось достоверное увеличение всех трех параметров РЧ аппликации при окклюзии КС по сравнению с открытым КС. При использовании мощности 30 Вт (n=22) не отмечалось статистически значимых различий размеров аблационного повреждения при окклюзии и без окклюзии КС (табл. 1, рис. 2-4).

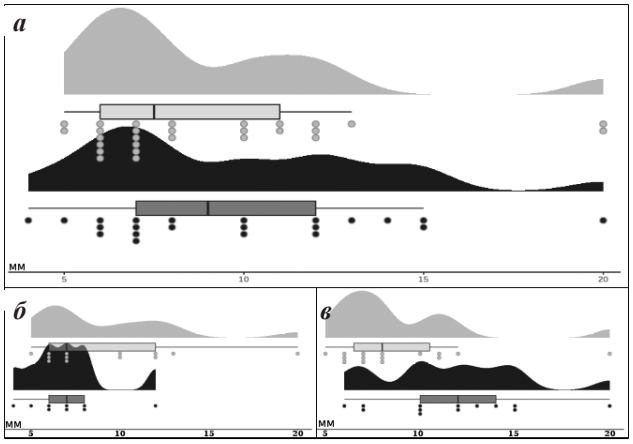

Рис. 2. Глубина некроза (мм) при окклюзии коронарного синуса (черный цвет) и с открытым коронарным синусом (серый цвет), где а - общая выборка; б - аппликации мощностью 30 Вт; в - аппликации мощностью 40 Вт.

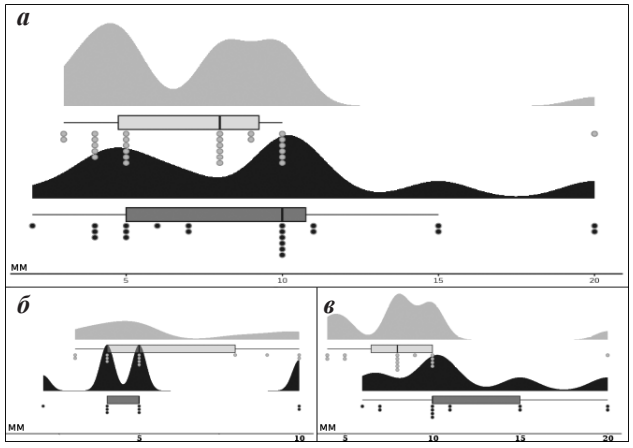

Рис. 3. Диаметр некроза (мм) при окклюзии коронарного синуса (черный цвет) и с открытым коронарным синусом (серый цвет), где а - общая выборка; б - аппликации мощностью 30 Вт; в - аппликации мощностью 40 Вт.

Трансмуральных (на всю толщу миокарда) повреждений было больше при окклюзии КС (15 из 22 аппликаций, 68,2%) по сравнению с открытым КС (11 из 28 аппликаций, 39,3 %), p=0,046. При окклюзии КС большая частота трансмуральных повреждений достигалась при использовании мощности 40 Вт (76,9% для окклюзии КС против 33,3% для открытого КС; p=0,03), чем на мощности 30 Вт (55,6% для окклюзии КС против 50,0% для открытого КС; p=0,70) (табл. 1).

Для нетрансмуральных повреждений (n=24 аппликаций) был проведен расчет относительной глубины некроза (процент глубины некроза от толщины стенки миокарда в конкретной точке). Без разделения по мощности, в среднем, относительная глубина нетрансмурального повреждения миокарда составила 67,1±15,0% при окклюзии КС и 67,6±9,0% при открытом КС, статистической значимости достигнуто не было (p=0,95).

При анализе воздействий на мощности 40 Вт (n=13) параметр относительной глубины нетрансмурального повреждения не отличался на аппликациях с окклюзией и без окклюзии КС (66,7±5,8% при окклюзии против 68,0±10,3 % с открытым КС; p=0,86). Такие же результаты наблюдались при аппликациях мощностью 30 Вт (n=11): 67,5±20,6% против 67,1±7,6%, соответственно; p=0,76).

ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Представленное исследование показывает возможность интраоперационного использования техники окклюзии КС с целью увеличения размеров РЧ повреждения миокарда желудочков, что может быть необходимо при РЧ аблации глубоко расположенного субстрата желудочковых нарушений ритма.

Результаты исследования продемонстрировали увеличение частоты трансмуральных повреждений миокарда на фоне окклюзии КС при мощности воздействия 40 Вт. Важно отметить, что данные результаты получены с применением катетера с открытым контуром орошения, который сам по себе имеет преимущества в глубине повреждения в сравнении с неорошаемыми катетерами. Более того, результаты расширения зоны повреждения получены в эксперименте *in vivo*, полностью имитирующего реальные клинические условия.

Еще одним важным аспектом исследования является сравнительный анализ относительной глубины нетрансмуральных повреждений, не показав-

ший преимущества окклюзии КС. Мы полагаем, что окклюзия КС приводит к повышению вероятности трансмурального повреждения за счет увеличения кондуктивного нагрева миокарда, однако за рамками исследования остаются некоторые другие параметры аблации, например, контакт аблационного катетера с миокардом (сила прижатия). При недостаточной силе прижатия нагрев миокарда РЧ-током и, соответственно, размеры некроза могли быть редуцированы. Это могло отразиться на недостаточной относительной глубине некроза при нетрансмуральном повреждении.

Эффект предложенного нами подхода заключается в кратковременном замедлении или даже полной остановке интрамиокардиального кровотока, при этом уменьшается совокупная удельная теплоемкость ткани за счет снижения отводящего тепло кровотока. Как следствие, не происходит охлаждения зоны кондуктивного нагрева при РЧ аппликации (рис. 5). Необходимость использования достаточно большого баллонного катетера для вальвулопластики была мотивирована особенностью строения венозной системы сердца свиней, у которых непарная вена (v.azygos) дренируется в дистальную часть КС, что описано в литературе [13].

Временная окклюзия КС известна в интервенционной аритмологии и используется для большей частоты достижения блокады электрического проведения в митральном перешейке при его эндокардиальной аблации [11]. Помимо этого, доказательную базу по эффективности и безопасности для лечения рефрактерной стенокардии имеют системы хронического ограничения кровотока в КС [12].

На сегодняшний день, с целью интервенционного лечения желудочковых аритмий глубокого расположения и сложных локализаций применяют эпикардиальную аблацию [6, 14], транскоронарную алкогольную аблацию [14], биполярную радиочастотную аблацию [15], орошение РЧ катетеров гипотоническими растворами [6], стереотаксическую радиотерапию [6]. Однако, описанные методики имеют существенные ограничения в виде высокой частоты нежелательных явлений, необходимости дополнительного оборудования и дополнительной квалификации оператора. По сравнению с описанными методами, окклюзия КС требует минимального количества дополнительных инструментов. Также, поскольку катетеризация КС является рутинной процедурой в интервенционной аритмологии, отсутствует необходимость в специальной подготовке операторов для использования данной методики.

Ограничения исследования

К ограничениям исследования можно отнести особенности анатомии венозной системы сердца животной модели. В частности, у свиней КС образуется за счет слияния большой вены сердца и непарной вены, при этом, размеры тела КС не отличаются от человеческих и составляют в среднем 2,9±0,5 см и 1,2±0,2 см в области устья для длины и ширины, соответственно, для взрослых свиней, весом 90 кг [13]. К другим потенциальным ограничениям данной модели можно отнести аномалии эмбриогенеза сердца, однако, частота их встречаемости невелика. При этом, аномалии развития венозной системы, проявляющиеся в основном наличием дополнительной персистирующей верхней полой вены, составляют лишь 1% от всех аномалий эмбриогенеза [16]. Также к ограничениям исследования можно отнести небольшую выборку и отсутствие возможности количественной оценки связи степени замедления микроциркуляторного кровотока и размера повреждения при РЧ аппликации. Следует указать, что для нанесения РЧ-аппликаций использовались катетеры без контроля силы прижатия, различия в контакте катетера с поверхностью ЛЖ могли сказываться на размере повреждения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

РЧ аппликации на фоне окклюзии коронарного синуса с замедлением внутримиокардиального кровотока ЛЖ характеризуются большей частотой трансмурального повреждения, а также увеличением среднего объема повреждения при мощности воздействия 40 Вт. Не наблюдалось существенных различий в глубине, диаметре и объеме повреждения при мощности аппликаций 30 Вт.

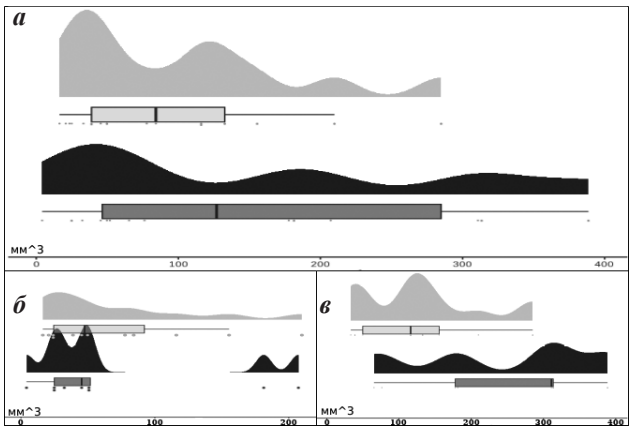

Рис. 4. Объём некроза (мм³) при окклюзии коронарного синуса (черный цвет) и с открытым коронарным синусом (серый цвет), где а - общая выборка; б - аппликации мощностью 30 Вт; в - аппликации мощностью 40 Вт.

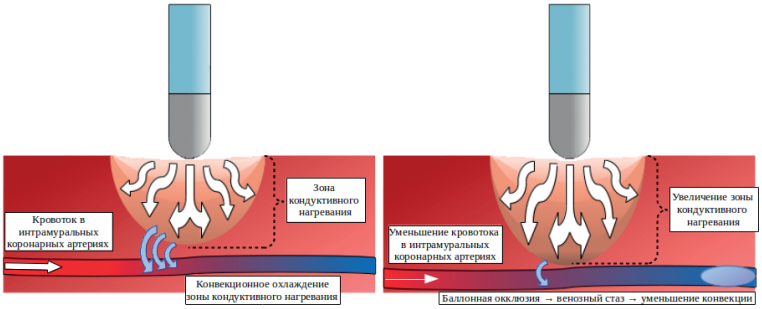

Рис. 5. Схема механизма увеличения объема повреждения радиочастотным током при баллонной окклюзии коронарного синуса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лебедев ДС, Михайлов ЕН, Неминущий НМ, и др. Желудочковые нарушения ритма. Желудочковые тахикардии и внезапная сердечная смерть. Клинические рекомендации 2020. Российский кардиологический журнал. 2021;26(7): 4600. [Lebedev DS, Mikhailov EN, Neminuschiy NM, et al. Ventricular arrhythmias. Ventricular tachycardias and sudden cardiac death. 2020 Clinical guidelines. *Russian Journal of Cardiology*. 2021;26(7): 4600. (In Russ.)]https://doi.org/10.15829/1560-4071-2021-4600

2. Poole JE, Johnson GW, Hellkamp AS, et al. Prognostic importance of defibrillator shocks in patients with heart failure. *The New England Journal of Medicine*. 2008;359(10). https://doi.org/10.1056/NEJMoa071098.

3. Sapp JL, Wells GA, Parkash R, et al. Ventricular Tachycardia Ablation versus Escalation of Antiarrhythmic Drugs. *The New England Journal of Medicine*. 2016;375(2): 111-121. https://doi.org/10.1056/NEJMoa1513614.

4. Okubo K, Gigli L, Trevisi N, et al. Long-Term Outcome After Ventricular Tachycardia Ablation in Nonischemic Cardiomyopathy: Late Potential Abolition and VT Noninducibility. *Circulation. Arrhythmia and Electrophysiology*. 2020;13(8): e008307. https://doi.org/10.1161/CIRCEP.119.008307.

5. Glashan CA, Stevenson W, Zeppenfeld K. Lesion Size and Lesion Maturation After Radiofrequency Catheter Ablation for Ventricular Tachycardia in Humans With Nonischemic Cardiomyopathy. *Circulation. Arrhythmia and Electrophysiology*. 2021;14(8): e009808. https://doi.org/10.1161/CIRCEP.121.009808.

6. Cronin EM, Bogun FM, Maury P, et al 2019 HRS/EHRA/APHRS/LAHRS expert consensus statement on catheter ablation of ventricular arrhythmias. *Europace*. 2019;21(8): 1143-1144. https://doi.org/10.1093/europace/euz132.

7. Tokuda M, Kojodjojo P, Tung S, et al. Characteristics of Clinical and Induced Ventricular Tachycardia Throughout Multiple Ablation Procedures. *Journal of Cardiovascular Electrophysiology*. 2016;27(1): 88-94. https://doi.org/10.1111/jce.12873.

8. Nath S, DiMarco JP, Haines DE. Basic aspects of radiofrequency catheter ablation. *Journal of Cardiovascular Electrophysiology*. 1994;5(10): 863-876. https://doi.org/10.1111/j.1540-8167.1994.tb01125.x.

9. Fuller IA, Wood MA. Intramural coronary vasculature prevents transmural radiofrequency lesion formation: implications for linear ablation. *Circulation*. 2003;107(13): 1797-1803. https://doi.org/10.1161/01.CIR.0000058705.97823.F4.

10. Duan J, Yang D, He J, et al. Initial Experience in Transvenous Implantation of a Left Ventricular Lead With a Novel Venogram Balloon Catheter. *Frontiers in Cardiovascular Medicine*. 2022;9: 892122. https://doi.org/10.3389/fcvm.2022.892122.

11. D'Avila A, Thiagalingam A, Foley L, et al. Temporary occlusion of the great cardiac vein and coronary sinus to facilitate radiofrequency catheter ablation of the mitral isthmus. *Journal of Cardiovascular Electrophysiology*. 2008;19(6): 645-650. https://doi.org/10.1111/j.1540-8167.2008.01185.x.

12. Verheye S, Jolicœur EM, Behan MW, et al. Efficacy of a device to narrow the coronary sinus in refractory angina. *The New England Journal of Medicine*. 2015;372(6): 519-527. https://doi.org/10.1056/NEJMoa1402556.

13. Reyes DM, Rivera JJ, Gómez FA, et al. Study of coronary sinus and its tributaries in pigs. *Spei Domus.* 2015;11(23). https://doi.org/10.16925/sp.v11i23.1365.

14. Kumar S, Barbhaiya CR, Sobieszczyk P, et al. Role of alternative interventional procedures when endo- and epicardial catheter ablation attempts for ventricular arrhythmias fail. *Circulation. Arrhythmia and Electrophysiology*. 2015;8(3): 606-615. https://doi.org/10.1161/CIRCEP.114.002522.

15. Koruth JS, Dukkipati S, Miller MA, et al. Bipolar irrigated radiofrequency ablation: a therapeutic option for refractory intramural atrial and ventricular tachycardia circuits. *Heart Rhythm.* 2012;9(12): 1932-1941. https://doi.org/10.1016/j.hrthm.2012.08.001.

16. Hsu FS, Du SJ. Congenital heart disease in swine. *Veterinary pathology.* 1982;19(6): 676-86. https://doi.org/10.1177/030098588201900613.