

ВНУТРИСЕРДЕЧНАЯ ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФИЯ ИЗ ВЕНЕЧНОГО СИНУСА КАК УНИФИЦИРОВАННЫЙ МЕТОД МОНИТОРИНГА СТЕПЕНИ И ТОПИКИ ИШЕМИИ ПРИ ЭНДОВАСКУЛЯРНЫХ ВМЕШАТЕЛЬСТВАХ НА КОРОНАРНЫХ АРТЕРИЯХ

Шевченко Ю.Л., Масленников М.А., Ермаков Д.Ю.*,
Герашенко А.В., Вахрамеева А.Ю.

ФГБУ «Национальный медико-хирургический Центр имени Н.И. Пирогова» Минздрава России, Москва

DOI: 10.25881/BPNMSC.2020.34.21.003

Резюме. Интраоперационный мониторинг ишемической динамики при рентгенхирургических вмешательствах на коронарных артериях ограничен стандартной методикой ЭКГ и является актуальной проблемой для интервенционных хирургов. Целью настоящей работы стала оценка возможности контроля ишемии с использованием унифицированного метода внутрисердечной ЭКГ из венечного синуса и анализ соответствия отведений электрода бассейнам коронарного русла.

В процессе рентгенхирургической интервенции 72 пациентам с поражениями разных коронарных артерий был установлен внутрисердечный электрод. При помощи станции для электрофизиологического исследования было доказано, что методика электрокардиографии из венечного синуса позволяет определить динамику сегмента ST при эндоваскулярных вмешательствах у больных ИБС, а также довольно точно выявить локализацию ишемической области в бассейне конкретной артерии сердца. Установлено, что данный метод интраоперационного мониторинга ишемии миокарда превосходит по своей информативности стандартную поверхностную ЭКГ и открывает дополнительные возможности инструментального контроля состояния миокарда в рентгенхирургической практике.

Ключевые слова: ишемическая болезнь сердца, коронарное стентирование, интраоперационный мониторинг ишемии, электрокардиография из венечного синуса.

Введение

С развитием эндоваскулярной хирургии чрезвычайно важным компонентом операции становится точное определение топики и степени ишемии миокарда в разных бассейнах коронарного русла (КР). В настоящее время мониторинг ЭКГ у больных ИБС при рентгенхирургических вмешательствах на венечных артериях является актуальной проблемой для интервенционных хирургов. В условиях рентгеноперационной, в связи с отсутствием возможности наложения электродов грудных отведений, которые затрудняют визуализацию при рентгеноскопии, существующие методики регистрации ЭКГ не позволяют в полной мере оценить степень ишемии миокарда [7]. Перспективным решением данной проблемы явилось внедрение унифицированного метода электрокардиографии в рентгенхирургию. Академиком РАН Ю.Л. Шевченко (2019) в Национальном медико-хирургическом Центре им. Н.И. Пирогова был предложен, разработан и применен на практике метод электрокардиографии из

INTRACARDIAC ELECTROCARDIOGRAPHY FROM THE CORONARY SINUS AS A UNIFIED METHOD FOR MONITORING THE DEGREE AND TOPICS OF ISCHEMIA DURING ENDOVASCULAR CORONARY INTERVENTIONS

Shevchenko Yu.L., Maslennikov M.A., Ermakov D.Yu.*, Gerashenko A.V., Vakhrameeva A.Yu.

Pirogov National Medical and Surgical Center, Moscow

Abstract. Intraoperative monitoring of ischemic dynamics during endovascular interventions on the coronary arteries is limited by the standard ECG technique and is an urgent problem for interventional surgeons. The aim of this work was to assess the ability to control ischemia using the unified method of intracardiac ECG from the coronary sinus and to analyze the correspondence of the electrode leads to the coronary basins.

During endovascular surgery, an intracardiac electrode was installed in 72 patients with lesions of different coronary arteries. Using an electrophysiological study station, it was proved that the technique of electrocardiography from the coronary sinus allows us to determine the dynamics of the ST-segment during endovascular interventions in patients with coronary artery disease, as well as fairly accurately identify the localization of the ischemic region in the pool of a particular heart artery. It has been established that this method of intraoperative monitoring of myocardial ischemia exceeds the standard surface ECG in terms of informativeness and opens up additional possibilities for instrumental monitoring of myocardial state in invasive cardiology.

Keywords: coronary heart disease, coronary stenting, intraoperative monitoring of ischemia, electrocardiography from the coronary sinus.

венечного синуса с использованием станции для электрофизиологического исследования для мониторинга ишемии миокарда при эндоваскулярных вмешательствах на коронарных артериях (КА) [2; 9].

Таким образом, целью исследования стала оценка чувствительности внутрисердечной ЭКГ из венечного синуса к ишемии и анализ возможностей данного метода в отношении более точного определения локализации ишемических областей миокарда при эндоваскулярных вмешательствах в разных бассейнах КР.

Материалы и методы

В исследование на проспективной основе включено 72 (100%) больных ИБС, которым на базе отделения рентгенхирургических методов диагностики и лечения совместно со специалистами отделения хирургического лечения сложных нарушений ритма сердца ФГБУ «НМХЦ им. Н.И. Пирогова» Минздрава России выполнялось плановое коронарное стентирование.

* e-mail: ermakov.hs@gmail.com

Клиническими критериями включения в исследование являлись: стабильная стенокардия напряжения; ишемия миокарда, доказанная при помощи нагрузочных проб; однососудистое поражение КА.

Все пациенты были разделены на три группы: в I группу вошли 32 (44%) пациента с поражением передней нисходящей артерии (ПНА), во II группу 19 (26%) больных ИБС с поражением огибающей артерии (ОА), в III группу 21 (30%) пациент с поражением правой коронарной артерии (ПКА). По клинко-anamнестическим данным пациенты обеих групп достоверно не отличались. Средний возраст больных в I группе составил $57,4 \pm 2,1$ года, во II группе $58,1 \pm 3,5$, в III группе $57,9 \pm 2,1$ лет. Во всех группах у пациентов преобладал II–III ФК стенокардии напряжения.

Коронарное стентирование выполнялось по стандартной методике на ангиографических установках с использованием компьютерной программы для оценки степени и протяженности стенозов КА. Катетеризация венечного синуса выполнялась через подключичную вену с установкой интродьюсера 7F. Под контролем рентгена в левой кривой проекции в коронарный синус устанавливался внутрисердечный 10-канальный электрод CS (ВЭ), подключаемый после этого к станции для электрофизиологического исследования EP WorkMate Recording System (Рис. 1). Параллельно с ВЭ к кардиомонитору подключались стандартные и усиленные отведения от конечностей пациента. Топографически электрод в соответствии с анатомией коронарного синуса располагался в проекции фиброзного кольца митрального клапана. Функциональным критерием правильного расположения ВЭ в коронарном синусе являлось появление ЭКГ от всех внутрисердечных отведений на мониторе ЭФИ-станции. При коронарной ангиографии целевое положение электрода подтверждалось при помощи визуальной оценки расстояния дистального конца ВЭ до проекции ПНА. Формирование 5 эндокардиальных отведений осуществлялась путем создания пар катод-анод каждого из 10 каналов электрода. Диапазон применяемых частот для внутрисердечных отведений составил 30–500 Гц. Цифровой анализ полученных данных осуществлялся при помощи компьютерной программы EP WorkMate Recording System v.4.3.2.

Фундаментальное обоснование метода

В норме, в конце периода деполяризации сердца, которому на электрокардиограмме соответствует начало сегмента ST, миокард желудочков изоэлектричен (Рис. 2) [3; 4; 7]. В период снижения коронарного кровотока кардиомиоциты соответствующей зоны приобретают резко отрицательный или положительный трансмембранный потенциал, что приводит к реципрокному изменению экстрацеллюлярного заряда миокарда (Рис. 3) [1; 3]. В сердце формируется локальный диполь. Зона максимального положительного потенциала диполя соответствует локализации эпицентра ишемии (ЭИ) в миокарде, вокруг

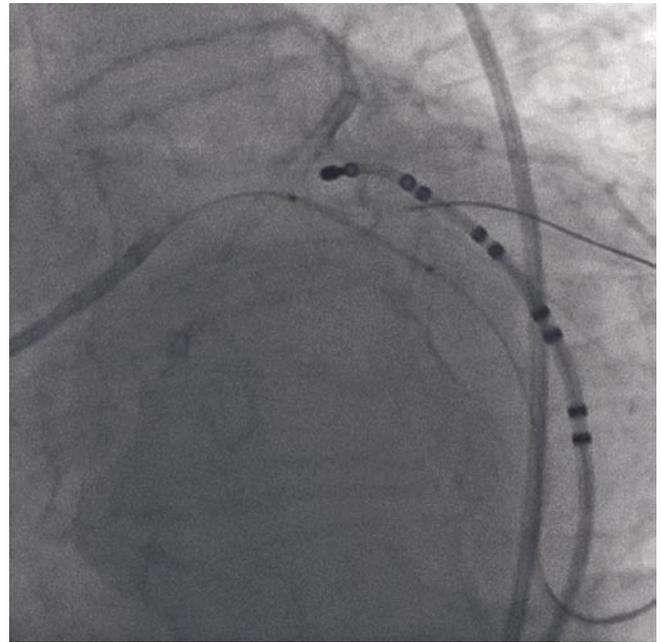


Рис. 1. Электрод в коронарном синусе.

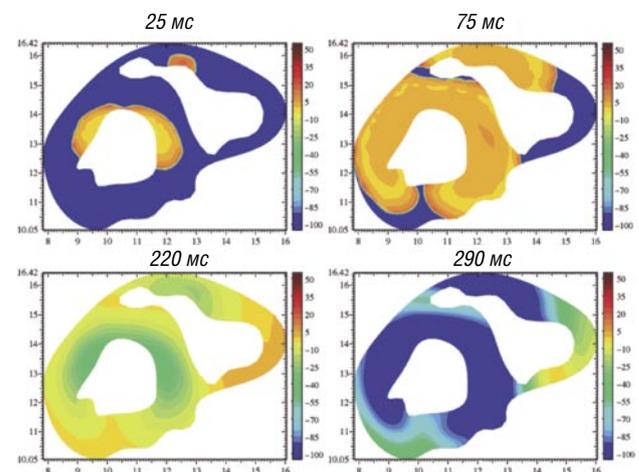


Рис. 2. Нормальное распространение интрацеллюлярного заряда миокарда. Timothy J. Barth et al. (2006) [3].

которого сосредоточены менее положительные и отрицательные заряды (Рис. 4, 5) [3; 6].

Результаты математического моделирования электрической активности миокарда на различных стадиях сердечного цикла при патологических состояниях стали основой для использования внутрисердечного электрода CS и электрофизиологической станции в целях унификации методики интраоперационного контроля ишемии при эндоваскулярных вмешательствах на КА.

Так, установка ВЭ в венечный синус позволяет выявлять разность потенциалов на парах катод-анод электрода в момент снижения коронарной перфузии, которая выражается на внутрисердечных отведениях ЭКГ как

Шевченко Ю.Л., Масленников М.А., Ермаков Д.Ю. и др.
ВНУТРИСЕРДЕЧНАЯ ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФИЯ ИЗ ВЕНЕЧНОГО СИНУСА КАК УНИФИЦИРОВАННЫЙ МЕТОД МОНИТОРИНГА
СТЕПЕНИ И ТОПИКИ ИШЕМИИ ПРИ ЭНДОВАСКУЛЯРНЫХ ВМЕШАТЕЛЬСТВАХ НА КОРОНАРНЫХ АРТЕРИЯХ

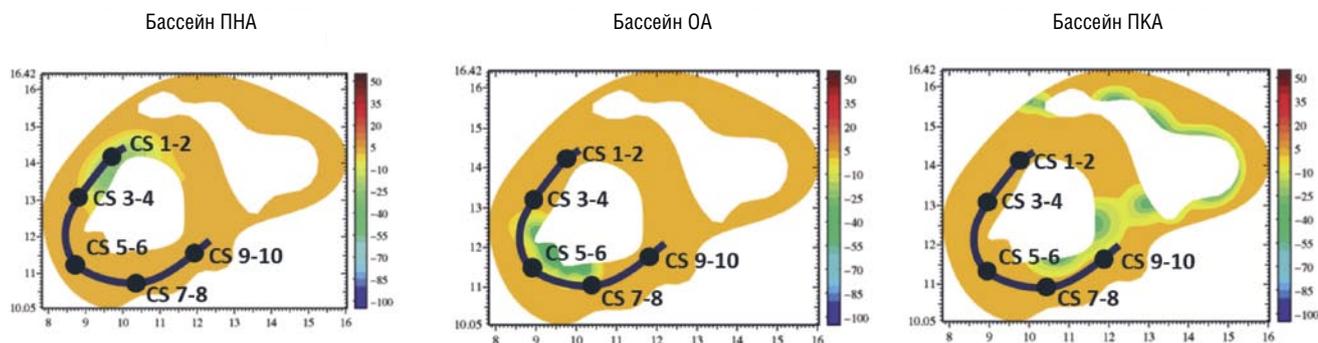


Рис. 3. Интрацеллюлярный заряд миокарда в конце периода депарялизации желудочков при ишемии в различных бассейнах коронарного русла. Timothy J. Barth et al. (2006) [3].

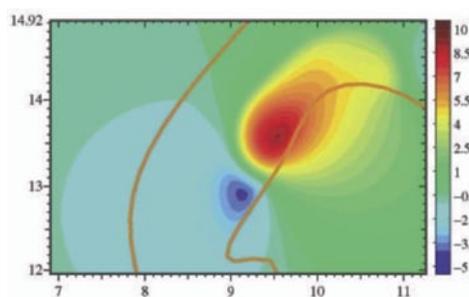


Рис. 4. Формирование локального диполя в зоне ишемии. Timothy J. Barth et al. (2006) [3].

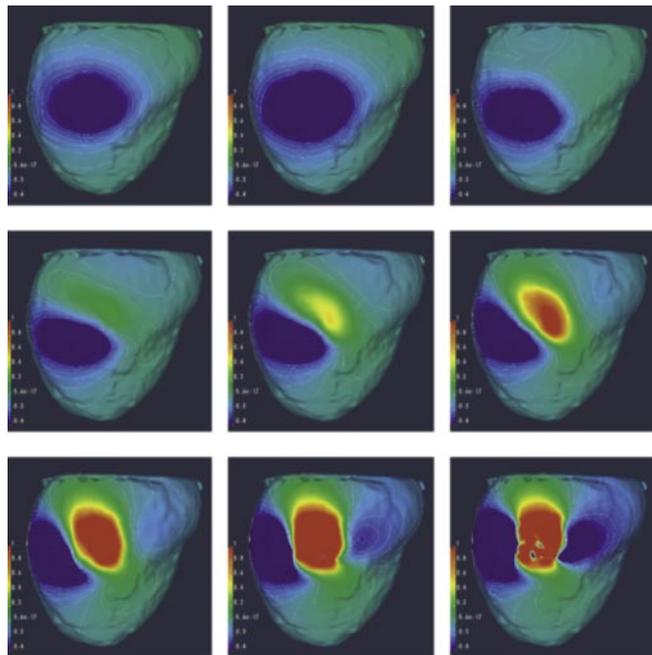


Рис. 5. Математическая модель формирования диполя в момент ишемии. Johnson B.M. et al. (2018) [6].

смещение сегмента ST относительно изолинии (Рис. 6) [5]. При этом амплитуда отклонения коррелирует со степенью ишемии, а направление отклонения (депрессия или элевация) — с локализацией ишемического очага и его зарядом [1; 8].

Результаты

Непосредственно после установки электрода в венечный синус до введения инструментов в коронарное русло ишемических изменений у пациентов всех 3 групп выявлено не было ($p = NS$). Достоверными критериями ишемии по стандартной ЭКГ считались изменения сегмента ST не менее, чем в 2 смежных отведениях свыше 0,1 мВ.

Во время баллонной инфляции ПНА достоверные ишемические изменения ($p < 0,05$) были зарегистрированы на ЭКГ, полученной с помощью внутрисердечного электрода. Депрессия сегмента ST была зафиксирована в отведениях CS 1-2 и в среднем составила $0,09 \pm 0,02$ мВ, в CS 3-4: $0,09 \pm 0,05$ мВ. Элевация сегмента ST регистрировалась в отведениях CS 1-2 ($0,1 \pm 0,04$ мВ), CS 3-4 ($0,1 \pm 0,05$ мВ). Поверхностная ЭКГ достоверной ишемии миокарда не выявила.



Рис. 6. Внутрисердечная электрокардиограмма из венечного синуса.

Во время стентирования ПНА в стандартных отведениях были неспецифические — не достигающие диагностических критериев изменения — в отведении I — $0,08 \pm 0,01$ мВ, II — $0,08 \pm 0,01$ мВ, aVL — $0,1 \pm 0,01$ мВ. Интракардиальная ЭКГ выявила достоверную ($p < 0,05$) депрессию сегмента ST в отведениях CS 1–2 ($0,1 \pm 0,05$ мВ), CS 3–4 ($0,1 \pm 0,07$ мВ); элевация: $0,09 \pm 0,01$ мВ и $0,17 \pm 0,03$ мВ, соответственно. Данные представлены в таблице 1.

При вмешательстве в бассейне ОА (таблица 2) во время баллонной инфляции достоверные ишемические изменения ($p < 0,05$) были зарегистрированы на ЭКГ, полученной с помощью внутрисердечного электрода. Депрессия сегмента ST была зафиксирована в отведениях CS 3–4 — $0,08 \pm 0,03$ мВ, в CS 5–6 — $0,09 \pm 0,04$ мВ. Элева-

ция сегмента ST регистрировалась в тех же отведениях: $0,1 \pm 0,04$ мВ, $0,12 \pm 0,05$ мВ. Поверхностная ЭКГ достоверной ишемии миокарда не выявила.

Во время стентирования ОА в стандартных отведениях диагностических критериев не выявлено. Интракардиальная ЭКГ выявила достоверную ($p < 0,05$) депрессию сегмента ST в отведениях CS 3–4 ($0,11 \pm 0,04$ мВ), CS 5–6 ($0,1 \pm 0,04$ мВ); элевация: $0,11 \pm 0,05$ мВ и $0,16 \pm 0,04$ мВ, соответственно.

Во время баллонной инфляции во время вмешательства в бассейне ПКА достоверные ишемические изменения ($p < 0,05$) были зарегистрированы на ЭКГ, полученной с помощью внутрисердечного электрода. Депрессия сегмента ST была зафиксирована в отведениях CS 7–8 и в среднем составила $0,09 \pm 0,04$ мВ, в CS 9–10: $0,14 \pm 0,05$ мВ.

Табл. 1. Бассейн ПНА

(мВ)	Покой		Баллонная инфляция		Установка стента		В конце вмешательства	
	депрессия	элевация	депрессия	элевация	депрессия	элевация	депрессия	элевация
Поверхностная ЭКГ								
I	$0,04 \pm 0,02$		$0,07 \pm 0,03^*$	$0,06 \pm 0,05^*$	$0,08 \pm 0,01$	$0,06 \pm 0,04$	$0,08 \pm 0,01$	
II	$0,03 \pm 0,01$		$0,06 \pm 0,03$	$0,04 \pm 0,02$	$0,08 \pm 0,01$	$0,07 \pm 0,01$	$0,06 \pm 0,03$	
III	$0,03 \pm 0,01$	$0,03 \pm 0,01$	$0,05 \pm 0,04$	$0,03 \pm 0,01$	$0,08 \pm 0,01$	$0,07 \pm 0,01$	$0,04 \pm 0,01$	
aVR		$0,02 \pm 0,01$		$0,01 \pm 0,01$		$0,06 \pm 0,01$	$0,02 \pm 0,01$	$0,04 \pm 0,01$
aVL	$0,04 \pm 0,01$		$0,05 \pm 0,01$	$0,03 \pm 0,01$	$0,1 \pm 0,01^*$	$0,09 \pm 0,03^*$	$0,06 \pm 0,04$	
aVF	$0,02 \pm 0,01$	$0,02 \pm 0,01$	$0,03 \pm 0,01$	$0,02 \pm 0,01$	$0,06 \pm 0,03$		$0,02 \pm 0,01$	
Внутрисердечная ЭКГ								
CS ₁₋₂	$0,04 \pm 0,01$	$0,05 \pm 0,02$	$0,09 \pm 0,02^*$	$0,1 \pm 0,04^*$	$0,1 \pm 0,05^*$	$0,09 \pm 0,01^*$	$0,05 \pm 0,03$	$0,03 \pm 0,01$
CS ₃₋₄	$0,07 \pm 0,02$	$0,07 \pm 0,02$	$0,09 \pm 0,05^*$	$0,1 \pm 0,05^*$	$0,1 \pm 0,07^*$	$0,17 \pm 0,03^*$	$0,07 \pm 0,03$	$0,04 \pm 0,02$
CS ₅₋₆	$0,06 \pm 0,01$	$0,08 \pm 0,01$	$0,05 \pm 0,02$	$0,07 \pm 0,03$	$0,06 \pm 0,01$	$0,1 \pm 0,03$	$0,07 \pm 0,03$	$0,03 \pm 0,01$
CS ₇₋₈	$0,03 \pm 0,06$	$0,04 \pm 0,01$	$0,05 \pm 0,02$	$0,05 \pm 0,01$	$0,06 \pm 0,02$	$0,06 \pm 0,02$	$0,06 \pm 0,01$	$0,06 \pm 0,03$
CS ₉₋₁₀	$0,05 \pm 0,03$	$0,03 \pm 0,01$	$0,07 \pm 0,01$	$0,05 \pm 0,01$	$0,05 \pm 0,02$	$0,06 \pm 0,03$	$0,05 \pm 0,02$	$0,05 \pm 0,03$

Примечание: * — $p < 0,05$.

Табл. 2. Бассейн ОА

(мВ)	Покой		Баллонная инфляция		Установка стента		В конце вмешательства	
	депрессия	элевация	депрессия	элевация	депрессия	элевация	элевация	депрессия
Поверхностная ЭКГ								
I	$0,02 \pm 0,01$	$0,01 \pm 0,01$	$0,07 \pm 0,02$	$0,06 \pm 0,03$	$0,07 \pm 0,02$	$0,07 \pm 0,02$	$0,03 \pm 0,01$	$0,03 \pm 0,02$
II	$0,03 \pm 0,01$		$0,04 \pm 0,01$	$0,04 \pm 0,01$	$0,03 \pm 0,01$	$0,04 \pm 0,04$	$0,04 \pm 0,02$	
III	$0,02 \pm 0,01$		$0,03 \pm 0,02$	$0,02 \pm 0,01$	$0,02 \pm 0,01$	$0,04 \pm 0,02$	$0,04 \pm 0,02$	
aVR	$0,03 \pm 0,02$		$0,04 \pm 0,01$	$0,05 \pm 0,02$	$0,05 \pm 0,03$	$0,03 \pm 0,01$	$0,03 \pm 0,01$	
aVL	$0,03 \pm 0,01$	$0,04 \pm 0,01$	$0,07 \pm 0,03^*$	$0,07 \pm 0,02$	$0,06 \pm 0,02$	$0,05 \pm 0,04$	$0,05 \pm 0,02$	$0,03 \pm 0,01$
aVF	$0,02 \pm 0,01$		$0,03 \pm 0,01$	$0,04 \pm 0,01$	$0,03 \pm 0,01$	$0,03 \pm 0,01$	$0,03 \pm 0,01$	
Внутрисердечная ЭКГ								
CS ₁₋₂	$0,04 \pm 0,02$	$0,04 \pm 0,01$	$0,04 \pm 0,02$	$0,03 \pm 0,01$	$0,04 \pm 0,02$	$0,04 \pm 0,03$	$0,04 \pm 0,01$	$0,05 \pm 0,01$
CS ₃₋₄	$0,05 \pm 0,03$	$0,05 \pm 0,02$	$0,08 \pm 0,03^*$	$0,1 \pm 0,04^*$	$0,11 \pm 0,04^*$	$0,11 \pm 0,05^*$	$0,03 \pm 0,03$	$0,06 \pm 0,01$
CS ₅₋₆	$0,03 \pm 0,01$	$0,03 \pm 0,01$	$0,09 \pm 0,04^*$	$0,12 \pm 0,05^*$	$0,1 \pm 0,02^*$	$0,16 \pm 0,04^*$	$0,05 \pm 0,03$	$0,07 \pm 0,01$
CS ₇₋₈	$0,04 \pm 0,01$	$0,03 \pm 0,01$	$0,03 \pm 0,01$	$0,05 \pm 0,03$	$0,05 \pm 0,04$	$0,07 \pm 0,04$	$0,03 \pm 0,01$	$0,03 \pm 0,02$
CS ₉₋₁₀	$0,03 \pm 0,01$	$0,03 \pm 0,01$	$0,04 \pm 0,01$	$0,04 \pm 0,02$	$0,05 \pm 0,03$	$0,04 \pm 0,03$	$0,02 \pm 0,01$	$0,04 \pm 0,02$

Примечание: * — $p < 0,05$.

Табл. 3. Бассейн ПКА

(мВ)	Покой		Баллонная инфляция		Установка стента		В конце вмешательства	
	депрессия	элевация	депрессия	элевация	депрессия	элевация	элевация	депрессия
Поверхностная ЭКГ								
I			0,04±0,02	0,03±0,02	0,03±0,01	0,04±0,03	0,04±0,02	
II	0,02±0,01	0,04±0,01	0,06±0,04*	0,05±0,02	0,05±0,02	0,05±0,03	0,03±0,01	0,04±0,01
III	0,05±0,01		0,06±0,03	0,05±0,04	0,09±0,01*	0,07±0,03*	0,05±0,02	0,03±0,01
aVR	0,04±0,03		0,03±0,01	0,04±0,01	0,04±0,02	0,03±0,01	0,04±0,01	
aVL	0,04±0,01		0,04±0,01	0,04±0,01	0,03±0,02	0,05±0,01	0,03±0,02	
aVF	0,05±0,01		0,07±0,02	0,07±0,01	0,08±0,02*	0,07±0,03*	0,04±0,01	
Внутрисердечная ЭКГ								
CS ₁₋₂	0,04±0,02	0,03±0,01	0,06±0,02	0,05±0,01	0,05±0,02	0,04±0,02	0,04±0,03	0,03±0,01
CS ₃₋₄	0,05±0,01	0,04±0,01	0,07±0,01	0,04±0,01	0,03±0,02	0,02±0,02	0,05±0,03	0,05±0,01
CS ₅₋₆	0,06±0,02	0,05±0,02	0,05±0,03	0,03±0,01	0,06±0,03	0,07±0,03	0,05±0,03	0,02±0,01
CS ₇₋₈	0,07±0,01	0,04±0,02	0,09±0,04*	0,12±0,03*	0,09±0,05*	0,1±0,05*	0,06±0,02	0,03±0,02
CS ₉₋₁₀	0,06±0,01	0,06±0,01	0,14±0,05*	0,12±0,05*	0,17±0,04*	0,1±0,04*	0,05±0,02	0,04±0,02

Примечание: * — $p < 0,05$.

Элевация сегмента ST регистрировалась в тех же отведениях: 0,12±0,03 мВ, 0,12±0,05 мВ. Поверхностная ЭКГ достоверной ишемии миокарда не выявила.

Во время стентирования ПКА в стандартных отведениях изменения были неспецифические. Интракардиальная ЭКГ выявила достоверную ($p < 0,05$) депрессию сегмента ST в отведениях CS 7–8 (0,09±0,05 мВ), CS 9–10 (0,17±0,04 мВ); элевацию: 0,1±0,05 мВ и 0,1±0,04 мВ, соответственно (таблица 3).

После стентирования во всех группах по данным ЭКГ, снятой по стандартной методике и с использованием внутрисердечного электрода достоверных ($p = NS$) ишемических изменений выявлено не было.

Таким образом, определено, какие из внутрисердечных отведений отвечают за ишемическую динамику сегмента ST в разных бассейнах коронарного русла: CS 1–2, CS 3–4 — бассейн ПНА; CS 3–4, CS 5–6 — бассейн ОА; CS 7–8, CS 9–10 — бассейн ПКА.

Заключение

Методика внутрисердечной ЭКГ из венечного синуса позволяет не только оценить степень ишемии при эндоваскулярных вмешательствах на коронарных артериях, но и довольно точно определить локализацию ишемического очага в бассейне конкретной артерии миокарда. Так, внутрисердечная ЭКГ из коронарного синуса является унифицированным, эффективным, высокоинформативным и перспективным для клинического применения методом инвазивного контроля ишемии, открывающим дополнительные возможности мониторинга электрической активности сердца при эндоваскулярных вмешательствах на коронарных артериях.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов (The authors declare no conflict of interest).

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. *Руководство по электрокардиографии*. 9-е изд. / Под ред. В.Н. Орлова. — М.: МИА, 2017. — 560 с. [*Rukovodstvo po elektrokardiografii*. 9th ed. Ed by V.N. Orlov. Moscow: MIA; 2017. 560 p. (In Russ).]
2. Шевченко Ю.Л., Свешников А.В., Марчак Д.И., и др. Электрокардиография из венечного синуса при внутрисердечных вмешательствах // *Вестник Национального медико-хирургического Центра им. Н.И. Пирогова*. — 2019. — Т.14. — №1. — С. 4–11. [Shevchenko YuL, Sveshnikov AV, Marchak DI, et al. Elektrokardiografiya iz venechnogo sinusa pri vnutriserdechnykh vmeshatel'stvakh. *Vestnik Natsional'nogo mediko-khirurgicheskogo Tsentra im. N.I. Pirogova*. 2019;14(1):4–11. (In Russ).]
3. Barth TJ, Griebel M, Keyes DE, et al. *Computing the electrical activity in the heart*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag; 2006. 307 p.
4. Colantonio LD, Muntner P. It is time for reducing global cardiovascular mortality. *Circulation*. 2019;140(9):726–728. Doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.119.041653.
5. Fallahi A, Khorram HG, Kokabi A. Electrocardiogram signal generation using electrical model of cardiac cell: application in cardiac ischemia. *J Med Eng Technol*. 2019;43(4):207–216. Doi: 10.1080/03091902.2019.1645221.
6. Johnston BM, Coveney S, Chang ET, et al. Quantifying the effect of uncertainty in input parameters in a simplified bidomain model of partial thickness ischaemia. *Med Biol Eng Comput*. 2018;56(5):761–780. Doi: 10.1007/s11517-017-1714-y.
7. Johnston BM, Johnston PR. Sensitivity analysis of ST segment epicardial potentials arising from changes in ischaemic region conductivities in early and late stage ischaemia. *Comput Biol Med*. 2018;102:288–299. Doi: 10.1016/j.combiomed.2018.06.005.
8. Lawson BA, Burrage K, Burrage P, et al. Slow recovery of excitability increases ventricular fibrillation risk as identified by emulation. *Front Physiol*. 2018;9:1114. Doi: 10.3389/fphys.2018.01114.
9. Shevchenko YuL, Marchak DI, Gershchenko AV, Ermakov DYU. Pre-operative preparation and electrophysiological monitoring of the myocardium state with heart endovascular interventions. In: *Scientific research of the SCO countries: synergy and integration*. Part 1: Participants' reports in English. Beijing; 2019. P. 159–167. Available at: http://naukarus.ru/public_html/wp-content/uploads/2019/Scientific%20research%20of%20the%20SCO%20countries%20-%20English%20Reports%20-%20July%2031%20-%20Part%201.pdf.