

УДК 612.175, 612.172.4

КАРДИОЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ НА ПОВЕРХНОСТИ ТЕЛА СВИНЬИ В ПЕРИОД ДЕПОЛЯРИЗАЦИИ ПРЕДСЕРДИЙ

Смирнова С.Л., Рощевская И.М.

*Лаборатория сравнительной кардиологии Коми НЦ Уральского отделения РАН,
Сыктывкар, e-mail: smirnova.sl@mail.ru*

Исследовано кардиоэлектрическое поле на поверхности тела трехмесячных свиней в период начальной предсердной активности методом электрокардиотопографии. В период, предшествующий P -волне на ЭКГ в сагиттальных отведениях, на кардиоэлектрическом поле на поверхности тела выявлена электрическая активность предсердий на начальных этапах деполяризации. Инверсия областей положительных и отрицательных кардиоэлектрических потенциалов на поверхности тела свиней, происходящая в начальный период $P_{\text{ис}}$ -волны, отражает изменение основного направления возбуждения предсердий. В течение восходящей и нисходящей фаз $P_{\text{ис}}$ -волны положение положительных и отрицательных зон кардиоэлектрических потенциалов на поверхности тела свиньи оставалось неизменным: с каудальной областью положительных кардиоэлектрических потенциалов и краниальной – отрицательных. Выявленные отличия в формировании кардиоэлектрического поля на поверхности тела до начала P -волны у свиньи по сравнению с собакой и человеком, связаны с различным расположением области синусно-предсердного узла, путей преимущественного распространения волны возбуждения в предсердиях, ориентацией сердца в грудной клетке.

Ключевые слова: кардиоэлектрическое поле, деполяризация предсердий, ЭКГ, P -волна, свинья

THE CARDIOELECTRIC FIELD ON THE BODY SURFACE IN PIG DURING ATRIAL DEPOLARIZATION

Smirnova S.L., Roshchevskaya I.M.

*Laboratory of comparative cardiology of the Komi Science Centre,
Syktyvkar, e-mail: smirnova.sl@mail.ru*

The cardioelectric field on the body surface of three-month-old pigs during initial atrial activity was studied by the method of electrocardiography. During the period preceding the P -wave on the ECG in the sagittal leads, atrial electrical activity is revealed on the cardioelectric field on the body surface. The inversion of areas of positive and negative cardioelectric potentials on the pigs' body surface occurring during the initial period of the P_{is} -wave reflects changes of the main direction of atrial excitation. During ascending and descending phases of the P_{is} -wave, the location of positive and negative areas of cardioelectric potentials on the pig's body surface does not change: with the caudal zone of positive cardiopotentials and the cranial zone of negative ones. The revealed differences in formation of cardioelectric field on the body surface before the beginning of P -wave in pig in comparison with dog and man during atrial depolarization are connected with different locations of the sino-atrial node area, ways of the preferred spreading of the atrial excitation wave, and the orientation of the heart in the thorax.

Keywords: cardioelectric field, atrial depolarization, ECG, P -wave, pig

Форма P -волны на ЭКГ в стандартных отведениях, отражающая деполяризацию предсердий, отличается у разных видов животных. У овец зубец P положительный, расщеплен, четко выражены две полуволны, каждая из которых может иметь зазубрины [1, 14]. У собак зубец P положительный, расщеплен, четко выражены две полуволны, каждая из которых может иметь зазубрины [14], у мелких пород собак без зазубрин [10].

Более информативным по сравнению с суммарной ЭКГ в отведениях от конечностей является анализ электрического поля сердца [2, 6].

На поверхности тела человека и собаки в период P -волны на ЭКГ формируется кардиоэлектрическое поле с отрицательным кардиоэлектрическим потенциалом на право-краниальной, положительным – на лево-каудальной части грудной клетки [9, 13, 12].

Не исследована динамика кардиоэлектрического поля на поверхности тела

у копытных животных в период начальной предсердной активности.

Цель работы: исследовать кардиоэлектрическое поле на поверхности тела свиньи в период деполяризации предсердий.

Материалы и методы исследования

Кардиоэлектрическое поле исследовано на поверхности тела 14 трехмесячных свиней породы ландрас и крупная белая, обоего пола, массой 25–30 кг.

Униполярные кардиоэлектрические потенциалы синхронно регистрировали от 64 или 128 подкожных игольчатых электродов, равномерно распределенных по поверхности туловища животного от основания ушей до последнего ребра (рис. 1). Свиньи находились под уретановым наркозом (1,5 г/кг, внутримышечно), в положении лежа на спине. Синхронно с кардиоэлектрическими потенциалами на поверхности тела регистрировали ЭКГ в сагиттальных биполярных туловищных отведениях по М.П. Рощевскому [4, 3].

Отсчет времени в мс производили относительно пика зубца R во втором сагиттальном биполярном отведении (ЭКГ_{ис}), до R -пика момент времени указывается со знаком минус.

Динамику кардиоэлектрического поля на поверхности тела животных анализировали по моментным эквипотенциальным картам, отражающим пространственно-временные и амплитудные характеристики кардиоэлектрических потенциалов. Для анализа кар-

диоэлектрических потенциалов и построения эквипотенциальных моментных карт использовали оригинальное программное обеспечение [5].

Статистика. Данные приведены в виде – среднее арифметическое \pm среднеквадратичное отклонение.

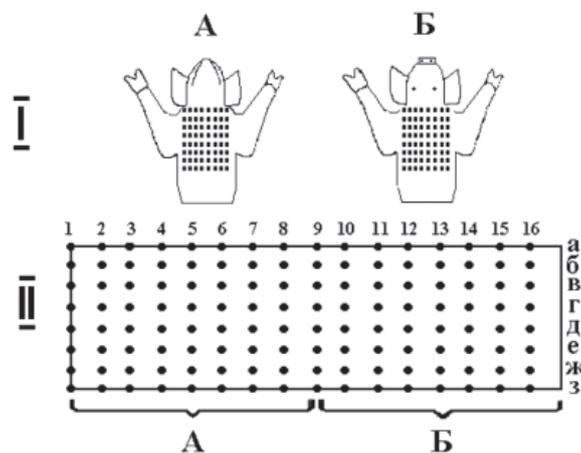


Рис. 1. Схема расположения электродов на поверхности тела свиньи (I) и на развертке поверхности грудной клетки на плоскость (II), соответствующей формату эквипотенциальной моментной карты:

A – вентральная; Б – дорсальная поверхность туловища;

1–16 – кранио-каудальные ряды электродов; а–з – расположение точек отведения в ряду

Результаты исследования и их обсуждение

У свиньи P -волна на ЭКГ_{СИ} однофазная и имеет округлую форму, восходящая фаза плавно переходит в нисходящую. Начало P _{СИ}-волны отмечено за 118 ± 11 мс, конец за 67 ± 12 мс до пика зубца R . Длительность P -волны во втором отведении составила 51 ± 7 мс. Волна P _{СИ} достигает вершины за 92 ± 12 мс до пика зубца R . У наркотизированных животных ЧСС составляла 90–150 уд./мин.

За 4–5 мс до формирования на ЭКГ_{ИС} предсердного зубца P (за 123 ± 14 мс до пика зубца R _{ИС}) на поверхности грудной клетки свиней формируется кардиоэлектрическое поле с краниальной областью положительных кардиоэлектрических потенциалов, и каудальной – отрицательных (рис. 2). Преимущественно на вентральной стороне тела положительные кардиоэлектрические потенциалы регистрировали у десяти свиней, на дорсальной – у четырех.

В течение последующих 10–11 мс формирования кардиоэлектрического поля в период начальной предсердной активности на поверхности тела наблюдается смещение зон положительных и отрицательных кардиоэлектрических потенциалов. Область положительных кардиоэлектрических потенциалов перемещается каудально, отрицательных – краниально. Изменение взаимного расположения положительных

и отрицательных зон завершается на начальных этапах формирования P _{ИС}-волны (на -112 ± 14 мс). После инверсии область положительных кардиоэлектрических потенциалов занимает каудальную, а отрицательных – краниальную поверхность тела. Положение зон положительных и отрицательных кардиопотенциалов не изменяется до окончания P _{ИС}-волны.

Несмотря на формирование до начала P _{ИС}-волны аналогичного характера кранио-каудального расположения областей положительного и отрицательного кардиоэлектрических потенциалов на поверхности тела, однотипного местоположения положительного и отрицательного экстремумов в этот период у разных животных не наблюдается. Число и расположение максимума и минимума непостоянно и варьируется у разных особей. После инверсии взаимного расположения областей положительных и отрицательных кардиоэлектрических потенциалов на поверхности тела устанавливается положение максимума и минимума, аналогичное у всех животных: положительный экстремум расположен в краниальной части вентральной стороны тела, отрицательный экстремум – в краниальной области дорсальной стороны.

В период восходящей фазы P _{ИС}-волны (в течение 10–30 мс) положительный экстремум сдвигается по вентральной стороне тела в каудальном и лево-латеральном

направлении и достигает области проекции верхушки сердца на вентральную сторону грудной клетки во время вершины $P_{\text{ИС}}$ -волны. Отрицательный экстремум в период восходящей фазы $P_{\text{ИС}}$ -волны сдвигается из краниальной части дорсальной стороны грудной клетки каудально и право-латерально. В период вершины $P_{\text{ИС}}$ -волны отрицательный экстремум расположен области проекции верхушки сердца на дорсальную сторону.

В период нисходящей фазы волны $P_{\text{ИС}}$ (в течение 30–60 мс) положительный экс-

тремум сохраняет расположение в области проекции верхушки сердца на вентральную сторону грудной клетки, отрицательный вращается по часовой стрелке вокруг области проекции верхушки сердца на дорсальную поверхность тела.

В период $P_{\text{ИС}}$ -волны на поверхности тела формируется по одному положительному и отрицательному экстремуму. Положительный экстремум в течение начальной предсердной активности смещается только по вентральной стороне тела, отрицательный – по дорсальной.

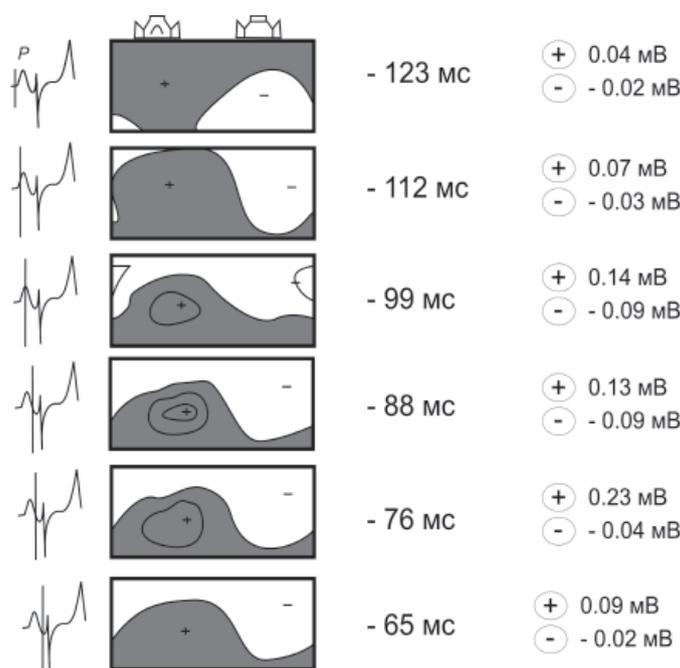


Рис. 2. Эквипотенциальные моментные карты на поверхности тела свиньи № 20 в период начальной предсердной активности. Закрашена область положительных кардиоэлектрических потенциалов; «+» и «-» локализация положительного и отрицательного экстремумов; слева от карты – ЭКГ во II сагиттальном отведении с маркером времени (вертикальная линия); справа указано время относительно пика зубца R_{ST} и амплитуды положительного «+» и отрицательного «-» экстремума

Форму P -волны в отведениях от конечностей связывают с асимметрией возбуждения предсердий сердца. Ассиметрия деполяризации предсердий существует у разных видов животных и зависит от морфологических особенностей предсердий, наличия и расположения преимущественных путей проведения. У собак расщепление зубца P на ЭКГ связывают с асимметрией возбуждения правого и левого предсердий, у овец – с окончанием возбуждения межпредсердной перегородки [11, 14].

У свиньи $P_{\text{ИС}}$ -волна однофазная и без зубрины, восходящая фаза плавно переходит в нисходящую. Исследование прямым экспериментальным способом интрамуральной последовательности деполяриза-

ции предсердий свиньи показало сложную картину фронтов возбуждения [8].

Сопоставление по времени распределения потенциалов кардиоэлектрического поля на поверхности тела и ЭКГ в сагиттальных отведениях у свиньи выявило формирование электрического поля сердца до начала P -волны: с краниальной зоной положительных и каудальной отрицательных кардиопотенциалов.

Интрамуральное картирование последовательности деполяризации предсердий выявило, что область начального возбуждения у свиньи, расположенная субэндокардиально в области устья верхней полой вены в месте перехода межпредсердной перегородки в свободную стенку правого

предсердия, деполяризуется на 127 ± 13 мс до пика R на ЭКГ_{ис}, т.е. до начала P -волны [8].

При синхронном отведении кардиоэлектрических потенциалов на поверхности тела и непосредственно от области синусно-предсердного узла у человека было показано возникновение начальной активности до начала P -волны на поверхностной ЭКГ [16]. У собак в непосредственной близости от синусно-предсердного узла регистрировали низкоамплитудную волну, опережающую по времени зубец P на ЭКГ [15]. Формирование кардиоэлектрического поля на поверхности тела свиньи в период до начала P -волны на ЭКГ связано с электрической активностью области синусно-предсердного узла. Начальная электрическая активность предсердий, не находящая отражения на ЭКГ при обычном усилении, выявляется на кардиоэлектрическом поле на поверхности тела свиньи [7]. На начальных этапах деполяризации предсердий на поверхности тела свиньи выявлено изменение взаимного расположения положительных и отрицательных областей кардиоэлектрического поля. Интрамуральное картографирование выявило неравномерность движения фронта волны возбуждения в стенке предсердий овец и период электрокардиографического «молчания» на ЭКГ в поверхностных отведениях [14].

В течение восходящей и нисходящей фаз P -волны на ЭКГ_{ис} положение положительных и отрицательных зон кардиоэлектрических потенциалов на поверхности тела свиньи оставалось неизменным: с каудальной областью положительных кардиоэлектрических потенциалов и краниальной – отрицательных.

В период P -волны на ЭКГ на поверхности тела собаки и человека кардиоэлектрическое поле характеризуется каудальной положительной и краниальной отрицательной зонами, не изменяющими своего положения в период начальной предсердной активности [13, 12].

Расположение областей положительного и отрицательного кардиоэлектрических потенциалов на поверхности тела в период P -волны собаки, человека и свиньи однотипно. В траекториях смещения минимума и максимума на поверхности тела у разных видов животных и человека имеются отличия.

У человека на поверхности тела в начальный период P -волны наблюдается минимум потенциала вблизи правого грудино-ключичного сочленения, в правой надключичной области или в области правой грудной мышцы. Максимум потенциала

расположен в области под правым соском, или под грудиной (у нижней части грудины), у левого соска, либо ниже левого соска. В последующие стадии возбуждения предсердий минимум потенциала смещается немного вниз и влево, а в некоторых случаях вправо, тогда как максимум передвигается в направлении к левой подмышечной области [9].

Смещение экстремумов по поверхности тела собаки и человека в период деполяризации предсердий одинаково [13]. У свиньи движение экстремумов на поверхности тела происходит кранио-каудально с право-латеральной в лево-латеральную часть. Смещение положительного и отрицательного экстремумов на поверхности тела свиньи в период восходящей фазы P -волны отражает переход волны возбуждения с правого предсердия на левое [7].

Таким образом, в формировании кардиоэлектрического поля на поверхности тела свиньи на начальных этапах деполяризации предсердий впервые выявлены отличия по сравнению с собакой и человеком, связанные с деполяризацией области синусно-предсердного узла, расположенного интрамурально, различным расположением путей преимущественного распространения волны возбуждения в предсердиях, ориентацией и расположением сердца в грудной клетке. У свиньи движение экстремумов кардиоэлектрического поля на поверхности тела связано с переходом волны возбуждения с правого предсердия на левое. В период P -волны на поверхности тела животных и человека формируется аналогичное распределение кардиоэлектрических потенциалов.

Исследования выполнены при поддержке научной школы академика М.П. Рощевского; гранта РФФИ № 12-04-01814; Программы УрО РАН, проект № 12-П-4-1069.

Список литературы:

1. Абросимова Г.В., Шмаков Д.Н. Последовательность распространения возбуждения в сердце овцы *Ovis brachyurae* // Эвол. биохим. и физиол. – 1985. – Т. 21, № 4. – С. 77–83.
2. Рощевская И.М. Кардиоэлектрическое поле теплокровных животных и человека. – СПб.: Наука, 2008. – 250 с.
3. Рощевский М.П. Эволюционная электрокардиология. – Л.: Наука, 1972. – 252 с.
4. Рощевский М.П. Электрическая активность сердца и методы съемки электрокардиограмм у крупного рогатого скота. – Свердловск: Изд. Урал НИИСХ и УрГУ, 1958. – 80 с.
5. Рощевский М.П., Артеева Н.В., Коломеец Н.Л., Антонова Н.А., Камбалов М.Ю., Шмаков Д.Н., Рощевская И.М. Система «КАРДИОИНФОРМ» для визуализации и анализа электрического поля сердца // Мед. акад. журн. – 2005. – № 5. – С. 74–79.
6. Рощевский М.П., Рощевская И.М. Эволюционная электрокардиология: от электрокардиотопографии

к созданию основ будущей электрокардиографии // Мед. академ. журн. – 2005. – Т. 5, № 2. – С. 33–46.

7. Роцевский М.П., Чудородова С.Л., Роцевская И.М. Отображение на поверхности тела деполяризации предсердий // Докл. АН. – 2007. – Т. 412, № 5. – С. 704–706.

8. Смирнова С.Л., Роцевская И.М., Роцевский М.П. Последовательность деполяризации миокарда предсердий свиньи (*Sus Scrofa Domesticus*) // Журн. эволюц. биохим. и физиол. – 2012. – Т. 48, № 4. – С. 386–389.

9. Таккарди Б., Амброджи Л. де, Виганотти Ч. Картирование распределения потенциала электрического поля сердца на поверхности тела // Теоретические основы электрокардиологии / под ред. К.В. Нельсона, Д.Б. Гезеловица. – М.: Медицина, 1979. – С. 433–465.

10. Шапкайтс О.А., Ипполитова Т.В. Электрическая активность сердца у собак мелких пород в зависимости от возраста // Ветеринарный доктор. – 2012. – № 2. – С. 8–9.

11. Шмаков Д.Н., Роцевский М.П. Активация миокарда. – Сыктывкар: Изд-во Ин-та физиологии Коми НЦ УрО РАН, 1997. – 165 с.

12. Kawano S., Hiraoka M., Yamamoto M., Sawanobori T., Sakamoto Y. Body surface maps of ectopic P waves originating in the left atrium in dog // J. Electrocardiology. – 1989. – Vol. 22, № 1. – P. 27–43.

13. Mirvis D. M. Body surface electrocardiographic mapping. – Boston: Kluwer Academic Publishers, 1988. – 204 p.

14. Roshchevsky M.P., Shmakov D.N. Excitation of the heart. – М.: Nauka, 2003. – 144 p.

15. Solti F., Juhasz-Nagy A., Czako E. Electric sign of the activity of the sinus node in the dog heart // Acta physiol. Acad. Sci. hung. – 1982. – Vol. 59, № 4. – P. 297–303.

16. Hombach V., Gil-Sanchez D., Zanker R., Behrenbeck D.W., Tauchert M., Hilger H.H. An approach to direct detection of sinus nodal activity in man // J. Electrocardiology. – 1979. – Vol. 12, № 4. – P. 343–351.

References

1. Abrosimova G.V., Shmakov D.N. The sequence of heart excitation spreading in sheep *Ovis brachyurae* // Evolutional biochemistry and physiology. 1985, Vol. 21, no. 4, pp. 77–83.

2. Roshchevskaya I.M. Kardioelektricheskoye pole teplokovrovnykh zhivotnykh i cheloveka. S-Pb.: Nauka, 2008. 250 p.

3. Roshchevsky M.P. Evolutionary electrocardiology. L.: Science, 1972, 252 p.

4. Roshchevsky M.P., Elektricheskaya aktivnost serdtsa i metody semki elektrokardiogramm u krupnogo rogatogo skota (Electric Activity of Heart and Methods of Recording of Electrocardiograms in Large Cattle). Sverdlovsk, Izdanie Ural NIISKH and UrGU, 1958.

5. Roshchevsky, M.P., Arteeva, N.V., Kolomeets, N.L., Antonova, N.A., Kambalov, M.Yu., Shmakov, D.N., and Rosh-

chevskaya, I.M., Sys-tem «KARDIOINFORM» for Visualization and Analysis of the Heart Electric Field, Med. Akad. Zh., 2005, no. 5, pp. 74–79.

6. Roshchevsky M.P., Roshchevskaya I.M. Evolutionary electrocardiology: from electrocardiotopography to creation of the bases of the future electrocardiotomography, Med. Akad. Zh., 2005. Vol. 5, no 2. pp. 33–46.

7. Roshchevsky, M.P., Chudorodova, S.L., and Roshchevskaya, I.M., Reflection on the Body Surface of Atrial Depolarization, Dokl. RAN, 2007, Vol. 412, no. 5, pp. 704–706.

8. Smirnova S.L., Roshchevskaya I.M., Roshchevsky, M.P. Sequence of depolarization of atrial myocardium of the pig *Sus Scrofa Domesticus*, Journ. of Evol. Bioch and Phys., 2012, Vol. 48, no 4, pp. 386–389.

9. Taccardi B, de Ambroggi L, Viganotti C. The mapping of the potentials distribution of the electrical heart field on the body surface. The theoretical basis of electrocardiology Edited by Nelson C.V. Geselowitz D.B., Moscow: Medicine, 1979, pp. 433–465.

10. Shapkaitys O.A. Ippolitova T.V. Electrical activity of the heart in small breeds depending on the age, Veterinary doctor, 2012, no 2, pp. 8–9.

11. Shmakov D.N., Roshchevsky M.P. Excitation of the Heart, Syktyvkar: Izdanie Inst. Physiology Komi RC UD RAS, 1997, 165 p.

12. Kawano S., Hiraoka M., Yamamoto M., Sawanobori T., Sakamoto Y. Body surface maps of ectopic P waves originating in the left atrium in dog J. Electrocardiology, 1989, Vol. 22, no 1, pp. 27–43.

13. Mirvis D.M. Body surface electrocardiographic mapping. Boston: Kluwer Academic Publishers, 1988, 204 p.

14. Roshchevsky M.P., Shmakov D. N. Excitation of the heart. Moscow: Nauka, 2003, 144 p.

15. Solti F., Juhasz-Nagy A., Czako E. Electric sign of the activity of the sinus node in the dog heart, Acta physiol. Acad. Sci. hung, 1982, Vol. 59, no 4, pp. 297–303.

16. Hombach V., Gil-Sanchez D., Zanker R., Behrenbeck D.W., Tauchert M., Hilger H.H. An approach to direct detection of sinus nodal activity in man, J. Electrocardiology, 1979, Vol. 12, no 4, pp. 343–351.

Рецензенты:

Роцевский М.П., д.б.н., профессор, академик РАН, главный научный сотрудник, ФГБУМ Коми НЦ УрО РАН, лаборатория сравнительной кардиологии, г. Сыктывкар;

Ладанова Н.В., д.б.н., ученый секретарь Президиума Коми НЦ УрО РАН, ФГБУМ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар.

Работа поступила в редакцию 19.12.2013.