

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЖИЗНЕОПАСНЫХ АРИТМИЙ В ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОКАРДИОДИАГНОСТИКИ

А. Т. Бекбай¹, К. А. Ожикенов², О. Н. Бодин³, А. А. Туякбаев⁴

^{1,2,4}Казахский национальный исследовательский университет имени К. И. Сатпаева, Алматы, Казахстан

³Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

¹ainura_b.t@mail.ru, ²k.ozhikenov@satbayev.university, ³bodin_o@inbox.ru, ⁴a.tuyakbayev@satbayev.university

Аннотация. *Актуальность и цели.* Прогнозирование жизнеопасных аритмий необходимо для анализа состояния сердца пациента, предвидения сердечно-сосудистых осложнений (ССО), выявления основных проблем в функционировании сердца пациента и оценки риска ССО. Внедрение систем поддержки принятия врачебных решений в состав информационно-измерительной системы электрокардиодиагностики, является актуальной задачей, направленной на выявление и анализ факторов риска ССО и прогнозирование жизнеопасных аритмий. Целью статьи является разработка алгоритмов выявления жизнеопасных аритмий и оценка риска сердечно-сосудистых осложнений. *Материалы и методы.* Рассмотрены алгоритмы выявления таких жизнеопасных аритмий, как атриовентрикулярная блокада, гемодинамически значимая аритмия и механизм re-entry (риэнтри). *Результаты и выводы.* Предлагается для реализации рассмотренных алгоритмов использовать мультиагентные технологии, которые позволяют повысить эффективность информационно-измерительной системы электрокардиодиагностики и оптимизировать с точки зрения индивидуализации оказание лечебно-диагностической медицинской помощи. Агентно-ориентированный подход к построению информационно-измерительной системы электрокардиодиагностики позволяет функционально распределить задачи, решаемые отдельными интеллектуальными агентами, и затем интегрировать полученные результаты. Разработана стратификация по группам риска жизнеопасных аритмий, согласно которой пациенты делятся на следующие группы: высокий риск, умеренный риск, низкий риск.

Ключевые слова: жизнеопасные аритмии, алгоритмы выявления жизнеопасных аритмий, мультиагентные технологии, информационно-измерительная система электрокардиодиагностики, стратификация по группам риска жизнеопасных аритмий

Для цитирования: Бекбай А. Т., Ожикенов К. А., Бодин О. Н., Туякбаев А. А. Прогнозирование жизнеопасных аритмий в информационно-измерительной системе электрокардиодиагностики // Измерения. Мониторинг. Управление. Контроль. 2021. № 3. С. 93–102. doi:10.21685/2307-5538-2021-3-11

PREDICTION OF LIFE-THREATENING ARRHYTHMIAS IN THE INFORMATION AND MEASUREMENT SYSTEM OF ELECTROCARDIODIAGNOSTICS

A. T. Bekbay¹, K. A. Ozhikenov², O. N. Bodin³, A. A. Tuyakbayev⁴

^{1,2,4}K. I. Satpayev Kazakh National Research University, Almaty, Kazakhstan

³Penza State University, Penza, Russia

¹ainura_b.t@mail.ru, ²k.ozhikenov@satbayev.university, ³bodin_o@inbox.ru, ⁴a.tuyakbayev@satbayev.university

Abstract. *Background.* Prediction of life-threatening arrhythmias is necessary to analyze the patient's heart condition, anticipate cardiovascular complications (ACC), identify the main problems in the functioning of the patient's heart and assess the risk of ACC. The introduction of medical decision support systems as part of the information and measurement system of electrocardiodiagnostics is an urgent task aimed at identifying and analyzing risk factors of and predicting. The purpose of the article is to develop algorithms for detecting life-threatening arrhythmias and to assess the risk of cardiovascular complications. *Materials and methods.* Algorithms for detecting life-threatening arrhythmias such as atrioventricular block, hemodynamically significant arrhythmia, and the re-entry mechanism are considered. *Results and conclusions.* It is proposed to use multi-agent technologies for the implementation of the considered algorithms, which make it possible to increase the efficiency of the information and measurement system of electrocardiodiagnostics and optimize the provision of therapeutic and diagnostic medical care from the point of view of individu-

alization. An agent-based approach to the construction of an information and measurement system of electrocardiodiagnostics allows us to functionally distribute the tasks solved by individual intelligent agents (IA), and then integrate the results obtained. A stratification by risk groups of life-threatening arrhythmias has been developed, according to which patients are divided into the following groups: high risk, moderate risk, low risk.

Keywords: life-threatening arrhythmias, algorithms for detecting life-threatening arrhythmias, multi-agent technologies, information and measurement system of electrocardiodiagnostics, stratification by risk groups of life-threatening arrhythmias

For citation: Bekbay A.T., Ozhikenov K.A., Bodin O.N., Tuyakbayev A.A. Prediction of life-threatening arrhythmias in the information and measurement system of electrocardiodiagnostics. *Izmereniya. Monitoring. Upravlenie. Kontrol' = Measurements. Monitoring. Management. Control.* 2021;(3):93–102. (In Russ.). doi:10.21685/2307-5538-2021-3-11

Постановка проблемы

В настоящее время считается, генезис жизнеопасных аритмий (ЖА) обусловлен структурными и функциональными нарушениями в работе сердца [1]. При этом определяющими признаками для возникновения летальных аритмий являются [2–4]:

- инфаркт миокарда, гипертрофия и дилатация желудочков, воспаление и отек миокардиальной ткани;
- «классические» факторы риска (ФР), такие как возраст, сахарный диабет, пол, курение, семейный анализ сердечно-сосудистых заболеваний (ССЗ), артериальная гипертензия (АГ).

Эти признаки, по данным многих исследователей, составляют анатомическую основу для возникновения ЖА с различными механизмами. К сожалению, нет общепринятого алгоритма обследования больных после пациентов, перенесших инфаркт миокарда (ИМ), позволяющего оценивать риск ЖА у таких пациентов.

Существующие методы и средства стратификации риска ЖА не позволяют точно определить группы риска и корректно рекомендовать лечение. Таким образом, актуальность разработки новых методов и системы стратификации населения на предмет предрасположенности к ЖА не вызывает сомнений.

Материалы и методы

В связи с тем, что предсказательная значимость каждого признака *в отдельности* невысока, за исключением критического состояния сердца, требующего оказания немедленной экстренной кардиологической помощи [5], авторами предлагается использовать комбинацию признаков [6]. При этом основными показателями, указывающими на целесообразность включения параметров в перечень контролируемых, являются его способность дать информацию о состоянии сердца и качество этой информации. На рис. 1 показаны признаки жизнеопасных аритмий (а) и информативность причин их возникновения (б) [7, 8].



а)

Номер	Признак	Летальность	Повторный ИМ	Госпиталь
11	Курение (<10 лет)	0,142	0,08	0,594
22	Курение (>10 лет)	0,199	0,041	0,891
13	АГ	0,797	0,627	1,460
44	СД	0,120	1,203	0,087
55	ХС > 6,5	0,283	0,158	1,397
66	ЛПНП > 5,1	0,262	0,001	0,560
77	ЛПВП > 0,9	0,520	0,070	0,190
88	ИА > 3,0	0,567	0,014	0,928
99	ЭКГ (Q+ИМ)	0,419	0,012	0,534
110	ЖЭ > 10/сут	0,385	0,602	0,192
111	УО < 60 мл	0,567	0,500	0,050
112	ФВ < 55 %	0,794	0,973	0,570
113	ММ < 180 гр	0,519	0,639	0,044

б)

Рис. 1. Признаки жизнеопасных аритмий

Прогнозирование ЖА является математической задачей выбора одной из гипотез, к которым могут быть отнесены такие классы: высокий – средний – низкий риск ЖА [3, 9]. Выбор одной из гипотез осуществляется интеллектуальным агентом (ИА), представляющим собой аппаратно-программный объект, автономно функционирующий для достижения целей, поставленных перед ним пользователем, и обладающий определенными интеллектуальными способностями [10]. ИА используются для содействия пользователю в получении, сборе, обработке и анализе информации. Структурная схема мультиагентной системы (МАС) в составе информационно-измерительной системы электрокардиодиагностики приведена на рис. 2 [11].

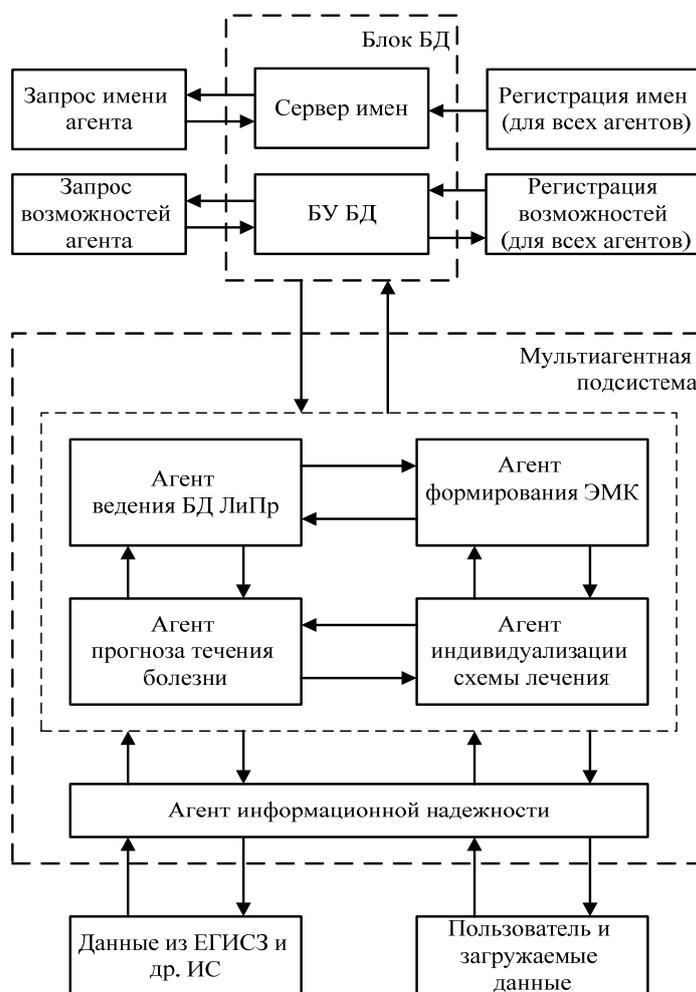


Рис. 2. Структурная схема мультиагентной системы

Работа МАС состоит в том, чтобы разбить решение сложной задачи, решаемой одним объектом – централизованной информационно-измерительной системы электрокардиодиагностики – на более мелкие, более простые задачи, обрабатываемые несколькими объектами – распределенной системой ИА.

Результаты и обсуждение

1. Прогнозирование АВ-блокад I, II и III степени

Прогнозирование частот возникновения АВ-блокад крайне важно [12]. Нарушение атриовентрикулярной проводимости характеризуется задержкой или прекращением проведения импульсов из предсердий через атриовентрикулярный узел, пучок Гиса и его ножки к желудочкам [13]. Одной из причин атриовентрикулярных блокад (АВ-блокад) является нарушение проводимости в атриовентрикулярном соединении. Выделяют атриовентрикулярную блокаду I степени (проявляется удлинением интервала между предсердными и желудочковыми сокращениями), II степени (проявляется увеличением числа сокращений предсердий по отношению

к числу сокращений желудочков из-за блокированного проведения некоторых предсердных импульсов) и III степени (полное отсутствие координации между предсердными и желудочковыми ритмами).

На рис. 3 приведена иллюстрация процесса возникновения АВ-блокад: *a* – приведена иллюстрация периодической стимуляции синусовым узлом сердечной мышцы; *b* – представлена зависимость распространения потенциала действия от рефрактерности возбуждаемых клеток.

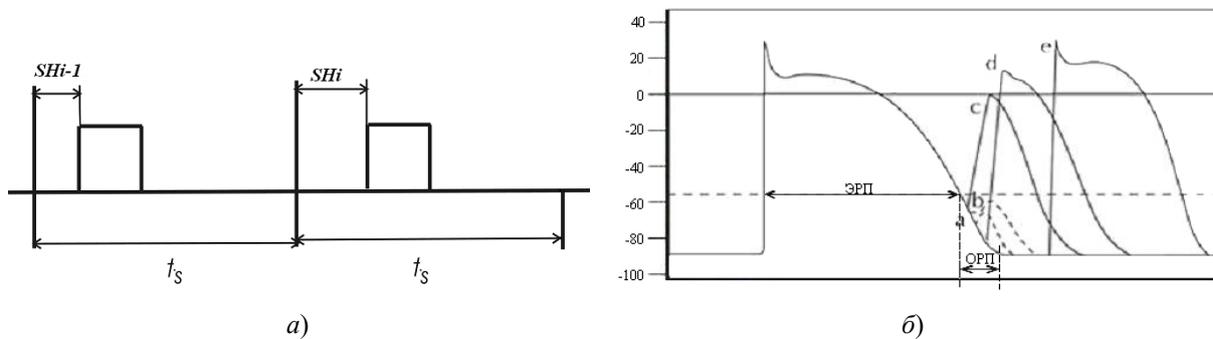


Рис. 3. Процесс возникновения АВ-блокад

Физико-химические процессы, протекающие в миокарде, влияют на скорость восстановительных реакций, что выражается в зависимости продолжительности интервалов распространения импульсов HS (интервал времени от пучка Гиса до синусового узла) и SH (интервал времени от синусового узла до пучка Гиса). При невысоких значениях частоты генерации импульсов синусовым узлом значение интервала SH изменяется незначительно в ограниченных пределах.

Относительный рефрактерный период (ОРП) оценивается по максимальному интервалу сцепления между двумя последующими импульсами, при котором происходит задержка проведения импульса в АВ-узле. Такое состояние соответствует условиям возникновения АВ-блокады I степени. Эффективный рефрактерный период (ЭРП) АВ-узла соответствует максимальному интервалу сцепления между двумя последовательными импульсами, при котором второй импульс на желудочки не проводится. Данное состояние соответствует условиям развития АВ-блокады III степени.

Кривая восстановления сердца [14] позволяет провести анализ зависимости периода t_s между импульсами от интервала времени HS:

$$t_s = HS + f_{VG}(HS) + SH_{\min}. \quad (1)$$

Зависимость частоты сердечных сокращений λ от интервала HS примет вид

$$\lambda = \frac{1}{HS + f_{VG}(HS) + SH_{\min}}. \quad (2)$$

На рис. 4 приведен результат прогнозирования АВ-блокад I, II и III степени.

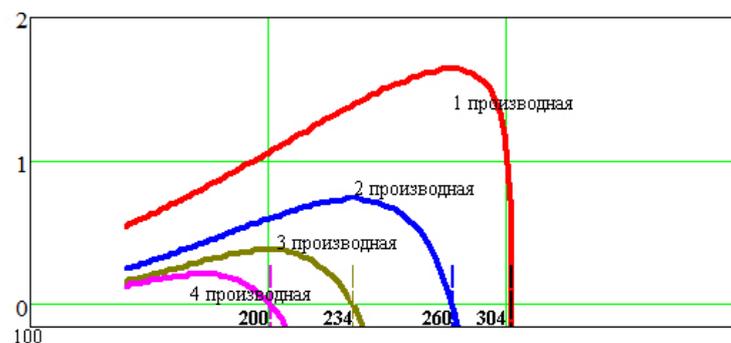


Рис. 4. Результат прогнозирования АВ-блокад

Таким образом, прогнозирование АВ-блокад позволяет оценить атриовентрикулярную проводимость и «тренированность» сердца пациента.

2. Прогнозирование гемодинамически значимой аритмии

Авторами предлагается определение гемодинамически значимой аритмии (ГЗА) осуществлять по результатам анализа ЭКС. Применение только электрокардиографического метода при определении ГЗА позволяет использовать его в реальном масштабе времени и в условиях свободной активности. На рис. 5 приведены временные диаграммы (а) и алгоритм определения ГЗА [5].

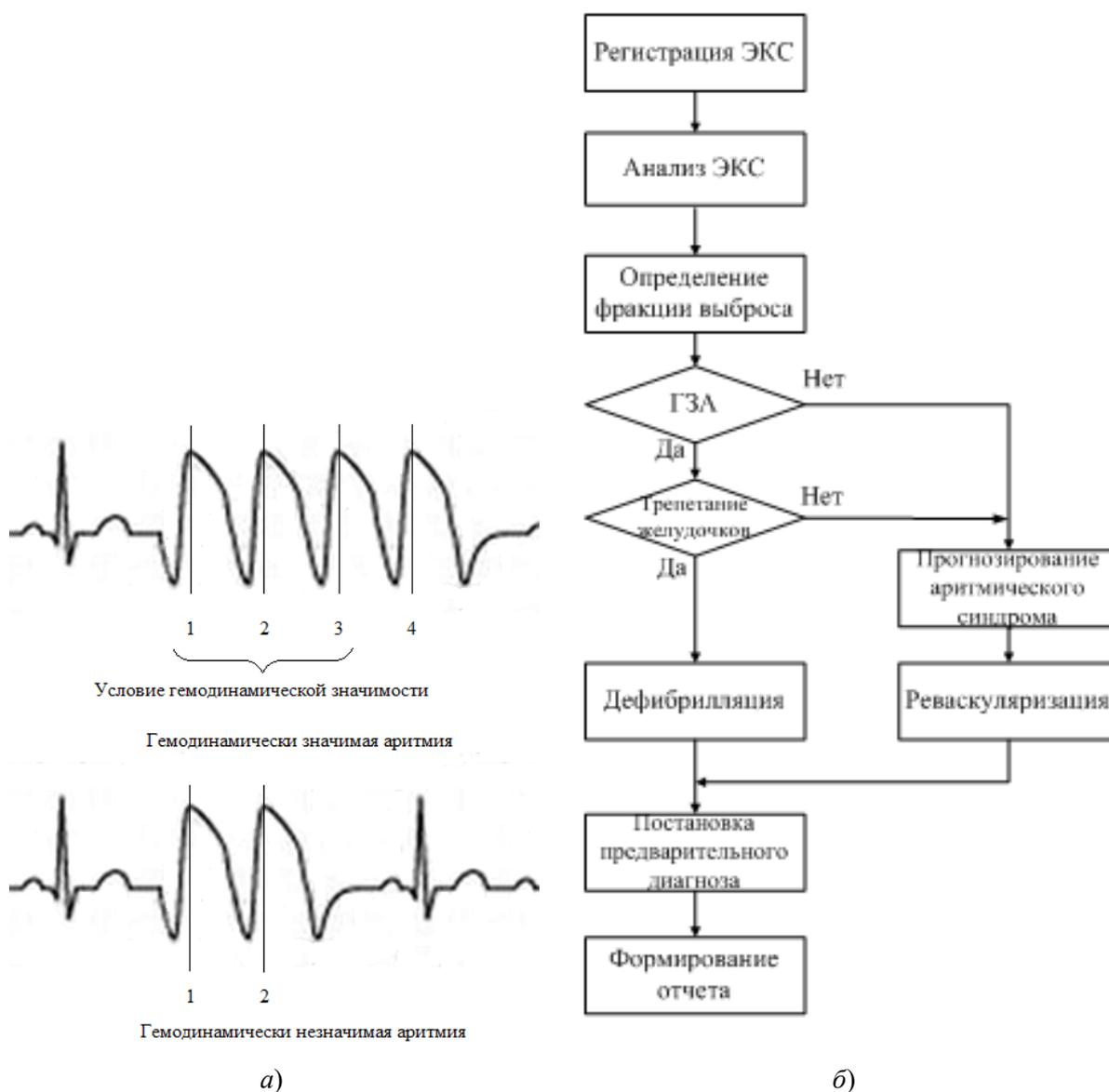


Рис. 5. Временные диаграммы (а) и алгоритм определения гемодинамически значимой аритмии (б)

Предвестником ГЗА служат как врожденные, так и приобретенные формы удлинения интервала QT на ЭКС, являющиеся предикторами фатальных нарушений ритма, которые, в свою очередь, приводят к внезапной смерти больных.

Авторы считают, что одновременное выполнение двух условий:

- 1) установление факта удлинения интервала QT на ЭКС;
 - 2) определение фракции выброса (ФВ) $< 50\%$ для не менее трех последующих кардиоциклов,
- позволит выявить ГЗА.

Длительность интервала QT зависит от частоты сердечных сокращений и пола пациента. Поэтому используют не абсолютную, а скорректированную величину интервала QT (QT_c), которую рассчитывают по формуле Базетта [15–17]:

$$QT_c = k\sqrt{R_1R_2}.$$

При ГЗА на ЭКС регистрируются отсутствие зубцов P и наличие небольших по амплитуде волн; нерегулярность желудочных комплексов нормальной или измененной конфигурации; сопутствующая блокада ножек пучка Гиса, иногда полная атриовентрикулярная блокада (феномен Фредерика)[13].

3. Моделирование re-entry

Наиболее распространенным механизмом начала фатальных аритмий является механизм повторного входа импульса re-entry (риэнтри). Необходимыми условиями для его реализации являются наличие замедления проведения импульса из-за большого ОРП (см. рис. 3) и однонаправленной блокады в каком-либо участке миокарда.

Моделирование распространения возбуждения в сердце с использованием двухкомпонентной модели Алиева – Панфилова, которая воспроизводит основные свойства волн возбуждения в сердечной мышце [6]. Данная модель представляет собой систему дифференциальных уравнений параболического типа:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} &= -ku(u-a)(u-1) - uv + \Delta u, \\ \frac{\partial v}{\partial t} &= -\left(\varepsilon_0 + \frac{\mu_1 v}{u + \mu_2} \right) (v + ku(u-a-1)), \end{aligned}$$

где $\varepsilon_0 \ll 1$, k , a , μ_1 , μ_2 – параметры модели.

Для решения данной системы дифференциальных уравнений в частных производных используется метод сеток (метод конечных разностей) [18].

При моделировании учитывается пространственно-временная организация процесса возбуждения в миокарде. Первоначально проводится моделирование распространения возбуждения в миокарде на плоскости. Для этого поверхность модели сердца проецируется на плоскость, т.е. получается «развертка» поверхности модели сердца пациента на сетку решений модели Алиева – Панфилова (см. рис. 6) [19]. Однако поверхность сердца, как поверхность, гомеоморфную сфере, нельзя развернуть на плоскости без разрыва или смятия.

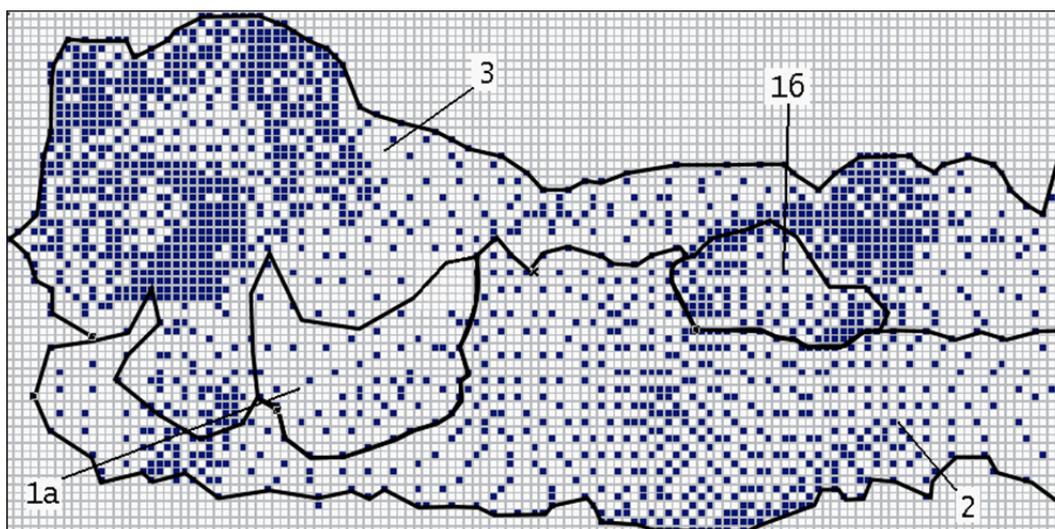


Рис. 6. «Развертка» поверхности модели сердца пациента на сетку решений модели Алиева – Панфилова:
 1а – область точек правого предсердия; 1б – область точек левого предсердия;
 2 – область точек желудочков; 3 – область точек артерий и вен

Суть проекции состоит в том, чтобы наилучшим образом «спроектировать» реальную поверхность модели сердца на плоскость, учитывая при этом все искажения и сводя их к минимуму. Главное при построении «развертки» поверхности модели сердца пациента на сетку решений модели Алиева – Панфилова, чтобы каждой исходной точке на поверхности модели сердца пациента соответствовала только одна точка на сетке решений модели Алиева – Панфилова карте. Результаты моделирования распространения волны возбуждения на «развертке» поверхности модели сердца (а) и соответствующие им участки на компьютерной модели сердца (б) приведены на рис. 7.

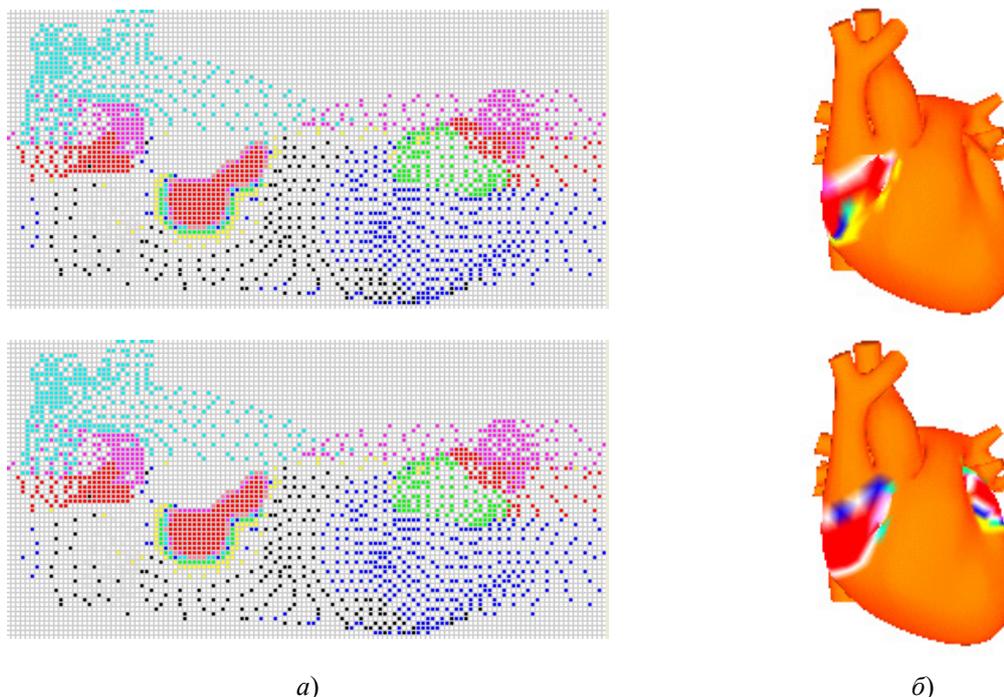


Рис. 7. Моделирование распространения волны возбуждения:
а – на «развертке» поверхности модели сердца; б – на компьютерной модели сердца

Для моделирования распространения возбуждения в сердце по результатам анализа электрокардиосигнала (ЭКС) представляется информация о временных отсчетах начала и окончания процессов деполяризации и реполяризации анатомических частей сердца, а также информация о поврежденных зонах на поверхности сердца. На основании этих данных корректируются параметры модели Алиева – Панфилова для разных точек поверхности сердца.

Заключение и выводы

По мнению авторов, оценка состояния сердца пациента в реальном времени по данным анализа ЭКС является востребованной услугой, так как риск жизнеопасных аритмий, приводящих к внезапной сердечной смерти, остается одной из нерешенных задач современного здравоохранения [20]. Распространенность летальности от ВСС, произошедшей за пределами стационара, в Европе составляет 38 случаев на 100 000 населения [21, 22]. Этому риску подвержены как люди пожилого возраста с известными болезнями сердца, так и молодые люди, не подозревающие о наличии у них проблем со здоровьем. Отдельной категорией являются люди, подверженные риску для здоровья из-за специфики своей работы, а также спортсмены.

Для снижения рисков жизненно опасных состояний сердца требуется, во-первых, совершенствование способов диагностики состояния сердца и, во-вторых, развитие портативных систем мониторинга состояния сердца в условиях свободной активности.

Своевременная диагностика и оказание экстренной кардиологической помощи имеет первостепенное значение.

Таким образом, оснащение информационно-измерительной системы электрокардиодиагностики методами и средствами прогнозирования ЖА обеспечивает стратификацию тяжести аритмического синдрома и позволяет вовремя оказать экстренную кардиологическую помощь.

Список литературы

1. Аритмии сердца: механизмы, диагностика, лечение : монография : в 3 т. / под ред. В. Дж. Мандела ; пер. с англ. М. : Медицина, 1996. Т. 2. 464 с.
2. Смирнова М. Д. [и др.]. Какие «новые» факторы целесообразно учитывать при оценке сердечно-сосудистого риска? // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. 2018. № 17. С. 77–85.
3. Серегин С. П. [и др.]. Математические модели прогнозирования и профилактики рецидивов инфаркта миокарда в реабилитационном периоде : монография / под науч. ред. д-ра техн. наук, проф. Н. А. Корневского. Курск : Юго-Зап. гос. ун-т, 2015. 166 с.
4. Горохова С. [и др.]. Новые технологии прогнозирования риска развития ИБС // Врач. 2011. № 14. С. 22–25.
5. Патент № 2644303 Российская Федерация, А61В 5/0402 (2006.01), А61В 5/0456 (2006.01). Способ оказания экстренной кардиологической помощи / Бодин О. Н., Аржаев Д. А., Бодин А. Ю., Ожикенов К. А., Полосин В. Г., Рахматуллоев А. Ф., Рахматуллоев Р. Ф., Рахматуллоев Ф. К., Сафронов М. И., Сергеенков А. С., Убиенных А. Г. № 2016145352 ; заявл. 18.11.2016 ; опубл. 08.02.2018. 26 с.
6. Патент № 2719467 Российская Федерация, G06F 17/10 (2020.01). Способ комплексного контроля состояния многопараметрического объекта по разнородной информации / Баранов В. А., Безбородова О. Е., Бодин О. Н., Герасимов А. И., Печерская Е. А., Шерстнев В. В. № 2019134726 ; заявл. 11.11.2019 ; опубл. 17.04.2020. 44 с.
7. Гурьева М. Э., Журавлева М. В., Алеева Г. Н. Критерии качества жизни в медицине и кардиологии // Русский медицинский журнал. 2006. Т. 14, № 10. С. 761–763.
8. Гайнулин Ш. М. [и др.]. Табакокурение и риск сердечно-сосудистых заболеваний среди трудоспособного населения г. Москвы // Российский кардиологический журнал. 2006. № 1. С. 5–7.
9. Белялов Ф. И. Алкоголь и профилактика сердечно-сосудистых заболеваний // Кардиология. 2004. Т. 44, № 4. С. 78–82.
10. Безбородова О. Е., Крамм М. Н., Ожикенов К. А., Ожикенова А. К. Мультиагентные технологии в медицинских информационных системах / под ред. О. Н. Бодина. Алматы : Лантар Трейд, 2021. 314 с.
11. Заявка на патент РФ № 2020121332. Способ и система оптимизации лечебно-диагностической медицинской помощи / Бодин О. Н., Безбородова О. Е., Крамм М. Н. ; рег. 26.06.2020, решение о выдаче патента от 06.05.2021.
12. Рахматуллоев Ф. К. Чреспищеводная электрокардиостимуляция сердца и клиническая электрофизиология антиаритмических средств : монография. Пенза : Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2006, 112 с.
13. Орлов В. Н. Руководство по электрокардиографии. М. : Медицина, 1984. 528 с.
14. Патент № 2591839 Российская Федерация, А61В 5/0402. Способ прогнозирования АВ-блокады I, II и III степени / Бодин О. Н., Полосин В. Г., Рахматуллоев Ф. К., Логинов Д. С. Балахонова С. А. № 2015127839/14 ; заявл. 10.07.2015 ; опубл. 20.07.2016. 15 с.
15. Бокерия Л. А., Ревиншвили А. Ш., Проничева И. В. Синдром удлиненного интервала QT – клиника, диагностика, лечение // Анналы аритмологии. 2005. Т. 2, № 4. С. 7–17.
16. Афанасьева Т. Ю., Ослопова Ю. В., Терегулов Ю. Э., Ослопов В. Н. Долгий QT : монография. Казань : МеДДоК, 2013. 208 с.
17. Bazett H. C. An analysis of the time-relations of electrocardiograms // Heart. 1920. Vol. 7. P. 353–370.
18. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. М. : Наука, 1984.
19. Патент № 2358646 Российская Федерация, А61В 5/0402 (2006.01). (54) Способ моделирования и визуализации распространения возбуждения в миокарде / Бодин О. Н., Гладкова Е. А., Кузьмин А. В., Митрохина Н. Ю., Мулюкина Л. А., Строкова И. В. № 2007123430/14 ; заявл. 27.12.2008 ; опубл. 20.06.2009. 23 с.
20. Бокерия О. Л., Биниашвили М. Б. Внезапная сердечная смерть и ишемическая болезнь сердца // Анналы аритмологии. 2013. Т. 10, № 2. С. 69–79.
21. Goldstein S., Bayes-de-Luna A., Guindo-Soldevila J. Sudden cardiac death. Armonk, Futura, 1994. P. 13–26.
22. Israel C. W. Mechanisms of sudden cardiac death // Indian Heart J. 2014. № 66. P. 10–17.

References

1. Mandel V.Dzh. [ed.]. *Aritmii serdtsa: mekhanizmy, diagnostika, lechenie: monografiya: v 3 t. = Cardiac arrhythmias: mechanisms, diagnosis, treatment : monograph : in 3 vols.* Transl. from Engl. Moscow: Meditsina, 1996;2:464. (In Russ.)
2. Smirnova M.D. [et al.]. What "new" factors should be taken into account when assessing cardiovascular risk? *Kardiovaskulyarnaya terapiya i profilaktika = Cardiovascular therapy and prevention.* 2018; (17):77–85. (In Russ.)

3. Seregin S.P. [et al.]. *Matematicheskie modeli prognozirovaniya i profilaktiki retsidivov infarkta miokarda v reabilitatsionnom periode: monografiya = Mathematical models of prediction and prevention of recurrent myocardial infarction in the rehabilitation period : monograph*. Kursk: Yugo-Zap. gos. un-t, 2015:166. (In Russ.)
4. Gorokhova S. [et al.]. New technologies for predicting the risk of coronary heart disease. *Vrach = Doctor*. 2011;(14):22–25. (In Russ.)
5. Patent 2644303 Russian Federation, A61B 5/0402 (2006.01), A61B 5/0456 (2006.01). Method of providing emergency cardiological care. Bodin O.N., Arzhaev D.A., Bodin A.Yu., Ozhikenov K.A., Polosin V.G., Rakhmatullov A.F., Rakhmatullov R.F., Rakhmatullov F.K., Safronov M.I., Sergeenkov A.S., Ubiennykh A.G. No. 2016145352; appl. 18.11.2016; publ. 08.02.2018. (In Russ.)
6. Patent 2719467 Russian Federation, G06F 17/10 (2020.01). A method for complex control of the state of a multiparametric object based on heterogeneous information. Baranov V.A., Bezborodova O.E., Bodin O.N., Gerasimov A.I., Pecherskaya E.A., Sherstnev V.V. No. 2019134726; appl. 11.11.2019; publ. 17.04.2020. (In Russ.)
7. Guryleva M.E., Zhuravleva M.V., Aleeva G.N. Quality of life criteria in medicine and cardiology. *Russkiy meditsinskiy zhurnal = Russian Medical Journal*. 2006;14(10):761–763. (In Russ.)
8. Gaynulin Sh.M. [et al.]. Tobacco smoking and the risk of cardiovascular diseases among the able-bodied population of Moscow. *Rossiyskiy kardiologicheskii zhurnal = Russian Journal of Cardiology*. 2006; (1):5–7. (In Russ.)
9. Belyalov F.I. Alcohol and prevention of cardiovascular diseases. *Kardiologiya = Cardiology*. 2004;44(4):78–82. (In Russ.)
10. Bezborodova O.E., Kramm M.N., Ozhikenov K.A., Ozhikenova A.K. *Mul'tiagentnye tekhnologii v meditsinskikh informatsionnykh sistemakh = Multi-agent technologies in medical information systems*. Almaty: Lantar Treyd, 2021:314. (In Russ.)
11. Patent 2020121332 Russian Federation. Method and system of optimization of therapeutic and diagnostic medical care. Bodin O.N., Bezborodova O.E., Kramm M.N.; reg. 26.06.2020, the decision to grant a patent dated 06.05.2021. (In Russ.)
12. Rakhmatullov F.K. *Chrespishchevodnaya elektrokardiostimulyatsiya serdtsa i klinicheskaya elektrofiziologiya antiaritmicheskikh sredstv: monografiya = Transesophageal cardiac pacing and clinical electrophysiology of antiarrhythmic drugs : monograph*. Penza: Izd-vo Penz. gos. un-ta, 2006:112. (In Russ.)
13. Orlov V.N. *Rukovodstvo po elektrokardiografii = Electrocardiography Manual*. Moscow: Meditsina, 1984:528. (In Russ.)
14. Patent 2591839 Russian Federation, A61B 5/0402. A method for predicting AV blockades of I, II and III degrees. Bodin O.N., Polosin V.G., Rakhmatullov F.K., Loginov D.C. Balakhonova S.A. No. 2015127839/14; appl. 10.07.2015; publ. 20.07.2016. (In Russ.)
15. Bokeriya L.A., Revishvili A.Sh., Pronicheva I.V. Long QT syndrome - clinic, diagnosis, treatment. *Annaly aritmologii = Annals of Arrhythmology*. 2005;2(4):7–17. (In Russ.)
16. Afanas'eva T.Yu., Oslopova Yu.V., Teregulov Yu.E., Oslopov V.N. *Dolgiy QT: monografiya = Long QT : a monograph*. Kazan: MeDDoK, 2013:208. (In Russ.)
17. Bazett H.C. An analysis of the time-relations of electrocardiograms. *Heart*. 1920;7:353–370.
18. Korn G., Korn T. *Spravochnik po matematike dlya nauchnykh rabotnikov i inzhenerov = Handbook of Mathematics for researchers and Engineers*. Moscow: Nauka, 1984. (In Russ.)
19. Patent 2358646 Russian Federation, A61B 5/0402 (2006.01). (54) A method for modeling and visualizing the propagation of excitation in the myocardium. Bodin O.N., Gladkova E.A., Kuz'min A.V., Mitrokhina N.Yu., Mulyukina L.A., Strokova I.V. No. 2007123430/14; appl. 27.12.2008; publ. 20.06.2009. (In Russ.)
20. Bokeriya O.L., Biniashvili M.B. Sudden cardiac death and coronary heart disease. *Annaly aritmologii = Annals of Arrhythmology*. 2013;10(2):69–79. (In Russ.)
21. Goldstein S., Bayes-de-Luna A., Guindo-Soldevila J. *Sudden cardiac death*. Armonk, Futura, 1994:13–26.
22. Israel C.W. Mechanisms of sudden cardiac death. *Indian Heart J*. 2014;(66):10–17.

Информация об авторах / Information about the authors

Айнұр Тоқтарғалиқызы Бекбай

докторант,

Казахский национальный исследовательский

университет имени К. И. Сатпаева

(Казахстан, Алматы, ул. Сатпаева, 22а)

E-mail: ainura_b.t@mail.ru

Ainur T. Bekbay

Doctoral student,

K. I. Satpayev Kazakh National Research University

(22a Satpayev street, Almaty, Kazakhstan)

Касымбек Адильбекович Ожикенов

кандидат технических наук, доцент,
заведующий кафедрой робототехники
и технических средств автоматизации,
Казахский национальный исследовательский
университет имени К. И. Сатпаева
(Казахстан, Алматы, ул. Сатпаева, 22а)
E-mail: k.ozhikenov@satbayev.university

Олег Николаевич Бодин

доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры информационно-
измерительной техники
и метрологии,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: bodin_o@inbox.ru

Алтай Алишерович Туякбаев

кандидат технических наук, доцент,
ассистент-профессор кафедры робототехники
и технических средств автоматизации,
Казахский национальный исследовательский
университет имени К. И. Сатпаева
(Казахстан, Алматы, ул. Сатпаева, 22а)
E-mail: a.tuyakbayev@satbayev.university

Kassymbek A. Ozhikenov

Candidate of technical sciences, associate professor,
head of sub-department of robotics and technical
means of automation,
K. I. Satpayev Kazakh National Research University
(22a Satpayev street, Almaty, Kazakhstan)

Oleg N. Bodin

Doctor of technical sciences, professor,
professor of sub-department of information
and measuring equipment and metrology,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Altay A. Tuyakbayev

Candidate of technical sciences, associate professor,
assistant-professor of sub-department
of robotics and technical means of automation,
K. I. Satpayev Kazakh National Research University
(22a Satpayev street, Almaty, Kazakhstan)

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /
The authors declare no conflicts of interests.**

Поступила в редакцию/Received 16.06.2021

Поступила после рецензирования/Revised 23.06.2021

Принята к публикации/Accepted 24.06.2021