

## ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

УДК 615.47

### БИОМЕТРИЧЕСКАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПО ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАММАМ

*В. Т. Коваль, Н. А. Конорева, М. А. Козюхина, Е. В. Коваль, С. Г. Лазаренко, Н. В. Коваль*  
1477 военно-морской клинический госпиталь Минобороны РФ, г. Владивосток, Россия

### THE BIOMETRICAL IDENTIFICATION OF ELECTROCARDIOGRAMS

*V. T. Koval, N. A. Konoreva, M. A. Kozyukhina, Ye. V. Koval, S. G. Nazarenko, N. V. Koval*  
Naval Clinical Hospital № 1477 of the Ministry of Defense of the Russian Federation,  
Vladivostok, Russia

© Коллектив авторов, 2017 г.

В статье представлены результаты исследований, позволяющих предложить электрокардиографию в целях биометрической идентификации. Дистанционные формы общения во все большей мере заменяют традиционные способы коммуникации. Первоочередной задачей при этом является подтверждение, т.е. идентификация личности, сторон общения. Уже более ста лет электрокардиография (ЭКГ) применяется в клинической практике. Установлено, что ЭКГ содержит не только признаки того или иного заболевания, но и строго индивидуальные особенности, которые могут быть использованы для биометрической идентификации. Исследования выполнялись с применением электрокардиографов, соответствующих международным стандартам IEC 60601-1:1988, IEC 60601-2-25:1993, IEC 60601-2-51:2001. При использовании аналоговых электрокардиографов с частотой 500 Гц результаты исследований совпадали. Наши предложения состоят в выявлении сохраняющихся достаточно продолжительное (в практических целях) время показателей, признаков и расчета на этой основе специальных индексов. Полученные нами результаты позволяют считать использование ЭКГ в качестве биометрического идентификационного сигнала вполне перспективным.

**Ключевые слова:** морская медицина, биометрическая идентификация, дистанционные формы коммуникации, электрокардиография.

Study results suggesting that electrocardiography may be used for biometric identification are presented. Because remote communication is increasingly substituting the traditional communication modes, the identification of communicating subjects and its confirmation become important aspects of communication systems. Electrocardiography is used in clinical practice for more than a century. It has been found that ECG records contain not only manifestations of specific conditions but also individual features than may be used for biometric identification. The present study was carried out using electrocardiographs conforming to the international standards IEC 60601-1:1988, IEC 60601-2-25:1993, and IEC 60601-2-51:2001. The employment of analog devices operating at 500 Hz provided the same results. Our proposal is to detect parameters that remain stable during some practically sufficient time and to compute specific indices based on these parameters. The results obtained so far suggest that this approach is promising.

**Key words:** marine medicine, biometric identification, remote communication, electrocardiography.

**DOI:** <http://dx.doi.org/10.22328/2413-5747-2017-3-4-16-23>

**Введение.** Дистанционные формы общения во все большей мере заменяют традиционные способы коммуникации. Однако глобализация мировых коммуникационных систем в ряде случаев встречает активное противодействие,

в том числе в форме терроризма. Это еще один аргумент в пользу дальнейшего совершенствования способов и методов идентификации.

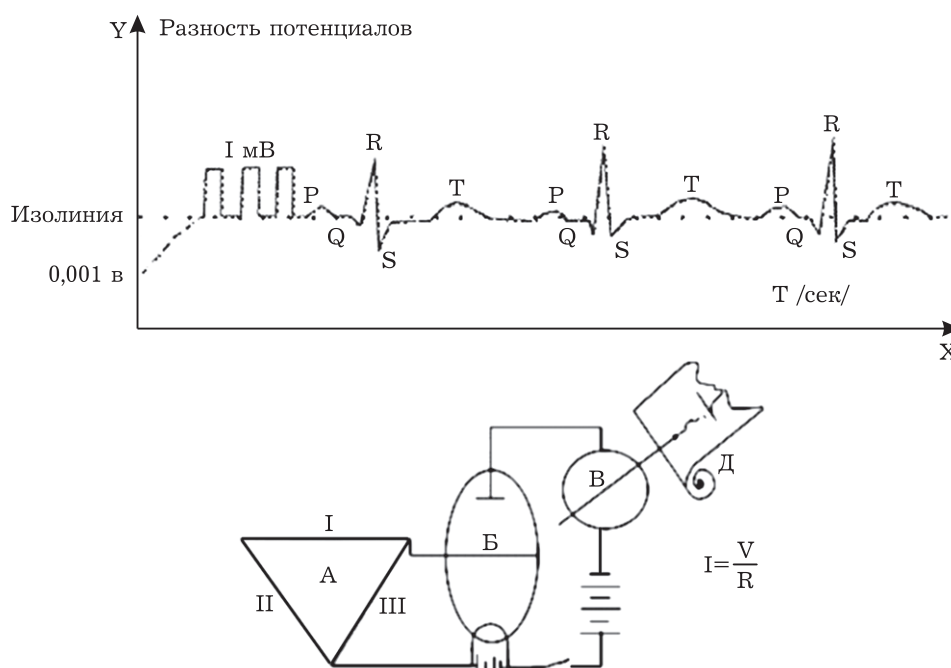
Первоочередной задачей при этом является подтверждение, т.е. идентификация личности,

сторон общения. Уже более ста лет электрокардиография (ЭКГ) применяется в клинической практике. Накопленный опыт позволяет предположить, что ЭКГ содержит не только признаки того или иного заболевания, но и строго индивидуальные особенности, которые могут быть использованы в целях биометрической идентификации [1].

Может показаться удивительным, но до настоящего времени не удалось создать теорию, вполне адекватно объясняющую процессы, происходящие при работе сердца [1, 2]. Это обстоятельство осложняет интерпретацию ЭКГ,

карда, не превышает 0,001–0,002 В, зарегистрировать их можно только после предварительного усиления. Таким образом, электрокардиограф представляет собой усилитель в комбинации с лентопротяжным механизмом. Стрелка миллиамперметра заменена или оснащена каким-либо пишущим приспособлением, а след на движущейся с определенной скоростью бумаге является собственно электрокардиограммой.

Калибровочный сигнал свидетельствует о степени усиления и может быть выбран произвольно от 0,5 до 1,5 мВ (5–10 мм). Амплитуда зубцов ЭКГ измеряется от изолинии (+-).



**Рис. 1.** А — стандартные отведения по Эйнтховену; Б — триод; В — миллиамперметр; Д — лентопротяжный механизм

вынуждает представителей различных школ и направлений использовать свои условные нормы и правила в форме определенных кодов. Наибольшее признание и распространение получил «миннесотский код», принятый Всемирной Организацией Здравоохранения. Машинная обработка электрокардиограмм на базе этого кода получает все большее распространение [3].

При всей сложности и многообразии процессов, происходящих в миокарде, анализу подвергается их графическое изображение в двухмерной системе координат. Интерпретация изменений электрического сопротивления тканей должна проводиться с учетом этих обстоятельств. Поскольку разность потенциалов, возникающая при возбуждении и сокращении мио-

С графической точки зрения, ЭКГ представляет собой плоскую кривую линию с периодически повторяющейся совокупностью типичных (универсальных) составных элементов, обладающих качественными и количественными особенностями.

Для исключения влияния на потенциалы миокарда потенциалов конечностей, скелетной мускулатуры и других тканей, каждый из проводов с электродами снабжен сопротивлением в 50 000 Ом.

Применительно к участку сердечно-сосудистой системы в интерпретации В. И. Бураковского и Л. Л. Бокерия, поток крови между участками сосудистого русла прямо пропорционален градиенту давления. Коэффициент пропорциональности является проводимостью:

$$q_{i,j}(t) = Q_i, j(P_i(t) - \bar{P}_j(t)), \quad i, j = 1, n,$$

где  $q$  — поток крови между участками  $i$  и  $j$ ;  $Q$  — коэффициент пропорциональности;  $P$  — градиент давления.

В соответствии с законом Ома, для участка цепи, в которой действует ЭДС, выполняется соотношение:

$$I = \frac{V + E}{R},$$

где  $I$  — сила тока;  $V$  — напряжение;  $E$  — электродвижущая сила (ЭДС);  $R$  — сопротивление.

В электрокардиографе калибровка  $V$  остается постоянной, заданной величиной. Следовательно, переменными составляющими являются  $E$  и  $R$  в каждый из моментов регистрации ЭКГ.

Амплитуда зубцов ЭКГ измеряется в милливольтах и зависит от потенциалов миокарда в соответствующий момент времени. На положение сегментов, интервалов ЭКГ относительно изолинии влияет сопротивление в электрической цепи. Мышечные потенциалы скелетной мускулатуры компенсируются шунтами.

Процесс идентификации состоит в сопоставлении эталонного образца с идентифицируемым объектом. Выбранный способ идентификации должен сочетать в себе универсальность исследуемых параметров с их уникальными особенностями и постоянством, воспроизводимостью. Кроме того, эти параметры не должны поддаваться имитации и зависеть от внешних обстоятельств, быть доступными для сравнения с эталоном. С учетом этих требований, ЭКГ представляется весьма перспективным способом биометрической идентификации.

**Цель исследования:** оценить возможность биометрической идентификации электрокардиограммы (ЭКГ).

**Материалы и методы.** В качестве стандартных биометрических идентификационных признаков ЭКГ могут быть использованы:

- продолжительность электрической систолы (формула Базетта);
- предложенный Л. И. Фогельсоном и А. И. Черногоровым систолический показатель и систолический индекс;
- электрическая ось сердца, определяемая по таблице Дьеда.

Дополнительные маркеры:

- отношение амплитуды  $R-S$  к интервалу  $Q-T$ ;
- отношение интервала  $Q-T$  к интервалу  $T-Q$  [1];

— отношение интервала  $P-Q$  к амплитуде  $R-S$ , интервала  $P-Q$  — к интервалам  $Q-T$  и  $R-R$ .

Все измерения и расчеты выполняются во втором стандартном отведении (II стандартное по Эйнтховену) или отведениях по Небу: только А или (при необходимости) в любом из отведений (D, A, I).

**Результаты и их обсуждение.** Использование стандартных биометрических идентификационных признаков повышает уровень «индивидуализации» ЭКГ, исключая или значительно снижая вероятность полного или частичного совпадения каждого из индексов в произвольно выбранных ЭКГ, удовлетворяет требованиям биометрической идентификации.

Наряду с несомненными перспективами и достоинствами электрокардиографической идентификации необходимо учитывать ряд проблем: уязвимость по отношению электромагнитным помехам, суточным ритмам, физическим и эмоциональным нагрузкам, вариабельности сердечного ритма и другими факторами, обусловленными продолжительным воздействием особенностей образа жизни и трудовой деятельности.

Усилитель ЭКГ обеспечивает крупномасштабную репродукцию малых потенциалов, увеличивая их в тысячи раз. Усиление выполняется в той же частоте, в которой регистрируется вводимый сигнал. Частотные показатели находятся в пределах 0,05–150 Гц.

Усилители дифференциального типа улавливают различия в напряжении между двумя электродами, игнорируя любое напряжение на самих электродах. Электрокардиографы в данном случае могут стать первичными детекторами-индикаторами незранированных электромагнитных излучений (ЭМИ), искажающих кривую ЭКГ.

Высокая чувствительность, способность увеличивать потенциалы в тысячи раз, делают технические средства диагностики весьма уязвимыми для различных помех. К электромагнитным помехам относят нежелательные физические явления и воздействия ЭМИ, которые нарушают работу технических средств, изменяя их характеристики и параметры.

Источники помех приводят к наложению синусоидальных колебаний различной частоты на полезный сигнал. Амплитуда помех зависит от мощности их источника. ЭКГ претерпевает изменения, затрудняющие или вовсе исключающие возможность дифференциальной диагностики.



Поверхностные потенциалы, обусловленные электрической активностью сердца, на десятки-сотни порядков уступают естественным и искусственным внешним полям. Да и сам пациент является не только генератором биопотенциалов, но и антенной для внешних ЭМИ, так как в проводнике, помещенном в электромагнитное поле, возникает ЭДС. Вокруг нас одновременно существует множество полей: радиоволны, ЛЭП, бытовые и транспортные «искрящие» устройства (электромоторы). Таким образом, надежная биометрическая идентификация предполагает наличие безупречно записанных электрокардиограмм.

данс) изменяется в зависимости от кровоснабжения. Эти изменения едва достигают сотой доли базового импеданса. Очевидно, что в этом смысле всякая электрокардиограмма является в то же время и реограммой, регистрирующей изменения электрического сопротивления в зависимости от степени кровонаполнения тканей [4, 5].

При всех достоинствах предлагаемых кодов, отсутствие вполне адекватной модели происхождения электрокардиограммы лежит в основе трудностей верификации ряда ЭКГ-синдромов и может быть опасным для пациентов лечебных учреждений [6, 7]. Уменьшение количества гемоглобина может быть вызвано

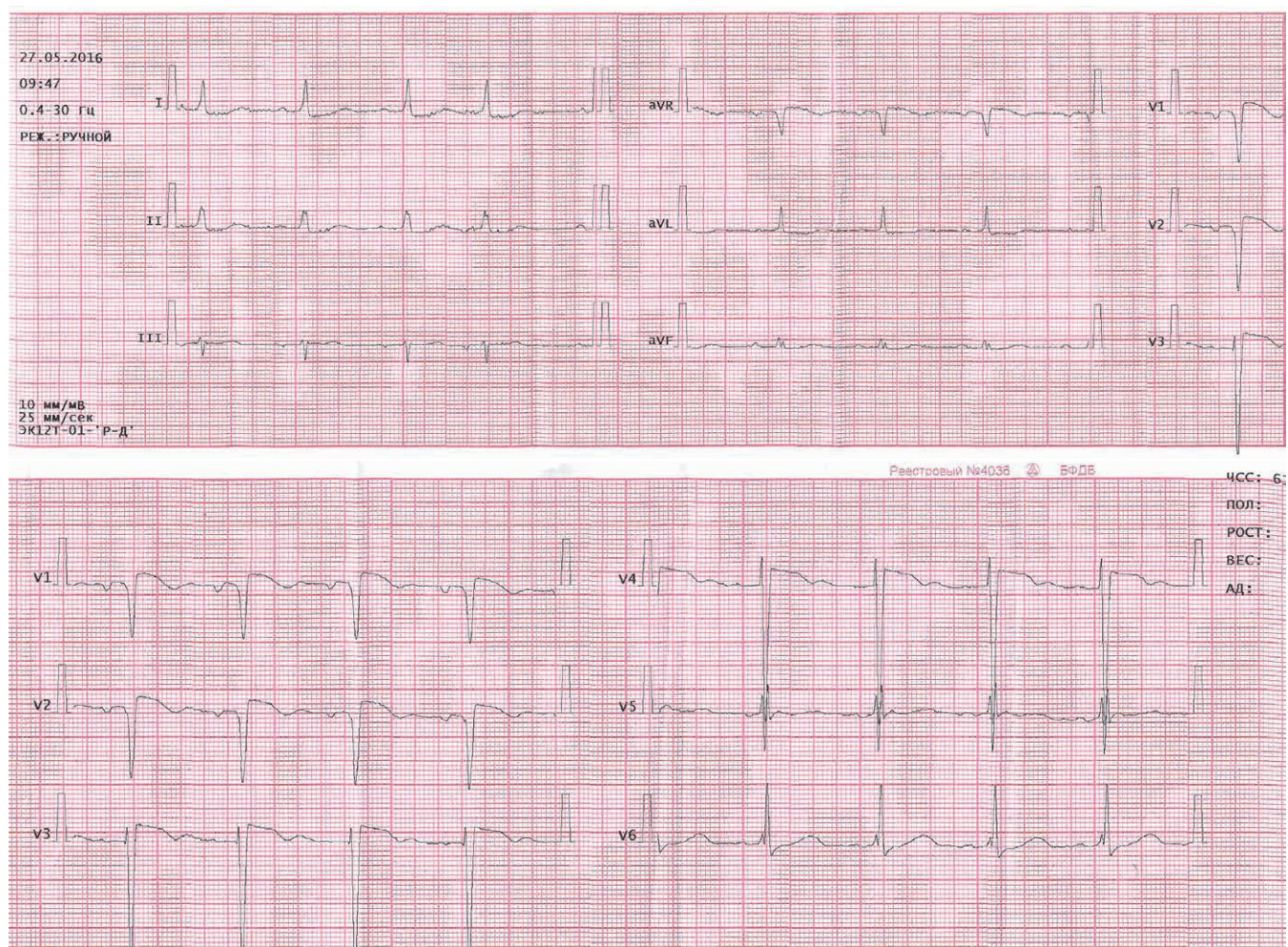


Рис. 2. ЭКГ без помех

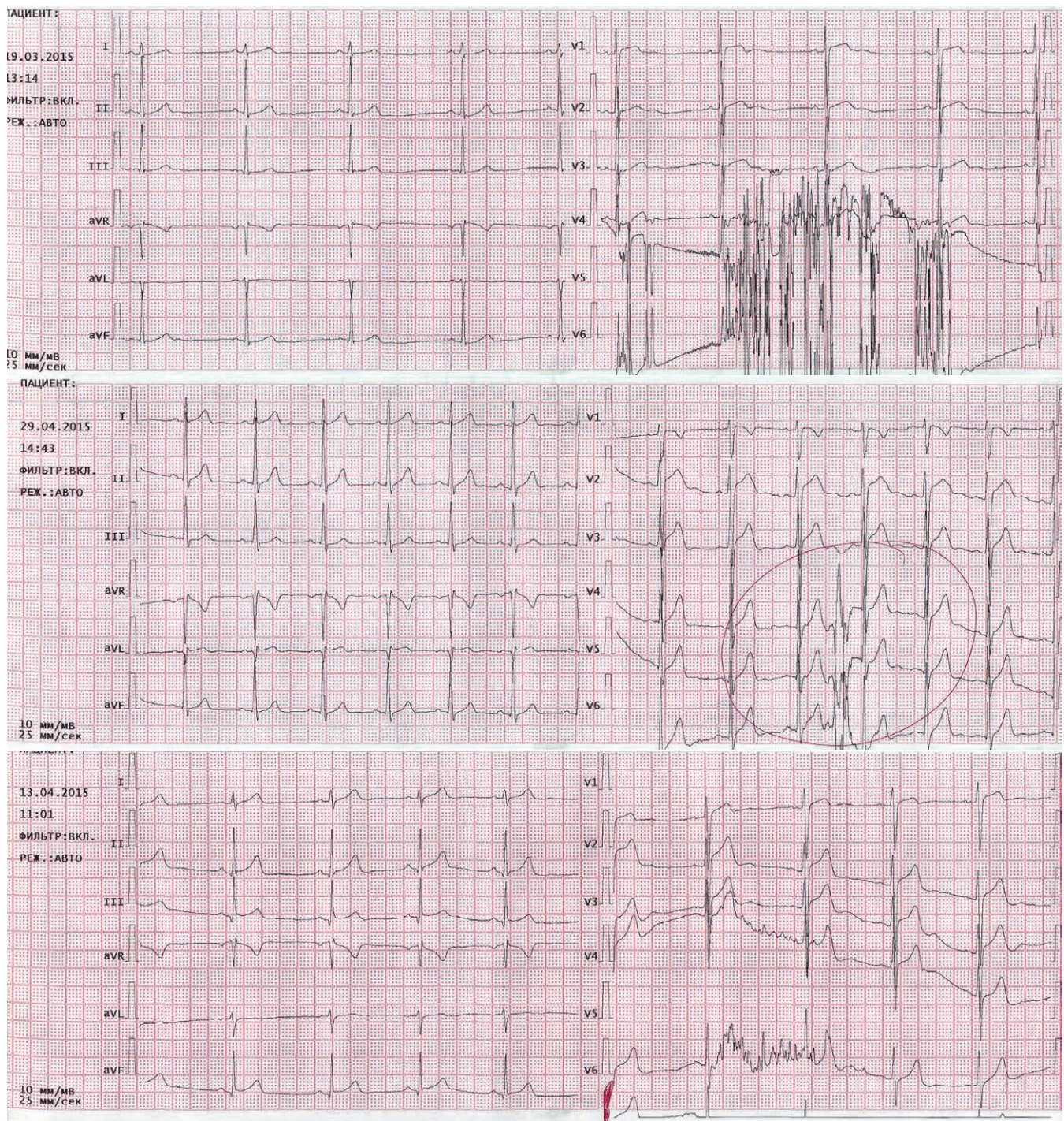
Технические требования к электрокардиограммам определяются международными стандартами IEC 60601-1:1988, IEC 60601-2-25:1993, IEC 60601-2-51:2001. Все чаще применяются приборы с синдромальной диагностикой и «машинной» версией заключений.

Анализируя ЭКГ, следует помнить, что электрическое сопротивление тканей (базовый импе-

различными причинами, тогда как появляющиеся при этом изменения ЭКГ имеют признаки, равновероятные для гипоксии, ишемии, анемии различной этиологии.

Если возбужденный участок миокарда электроотрицателен по отношению к невозбужденному (Д. Реймон), следует признать, что возбудиться способна лишь живая ткань.





**Рис. 3.** Помехи, не связанные с воздействием ЭМИ (технологические)

На ЭКГ зубец R есть признак потенциала, генерируемого живой тканью. Появление комплекса типа QS свидетельствует об инфаркте миокарда. Уширение зубца Q больше 0,03 означает увеличение сопротивления ткани вследствие появления рубцов.

Предположения об инфаркте без QS не могут считаться корректными.

Дальнейшая эволюция инфаркта связана с образованием рубцов. Электрическое сопротивление соединительной ткани (рубцов), больше, чем

у неповрежденных тканей миокарда. Соответственно, в зоне рубцовых изменений регистрируются уширенные патологические зубцы Q или комплексы QS. Эти же критерии используются для топической диагностики и идентификации.

Вероятно, особенности ЭКГ при соединительнотканых дисплазиях также могут быть следствием изменений электропроводности тканей.

Таким образом, имеются основания полагать, что ЭКГ является одновременно и реограммой. Интерпретация изменений электрического со-



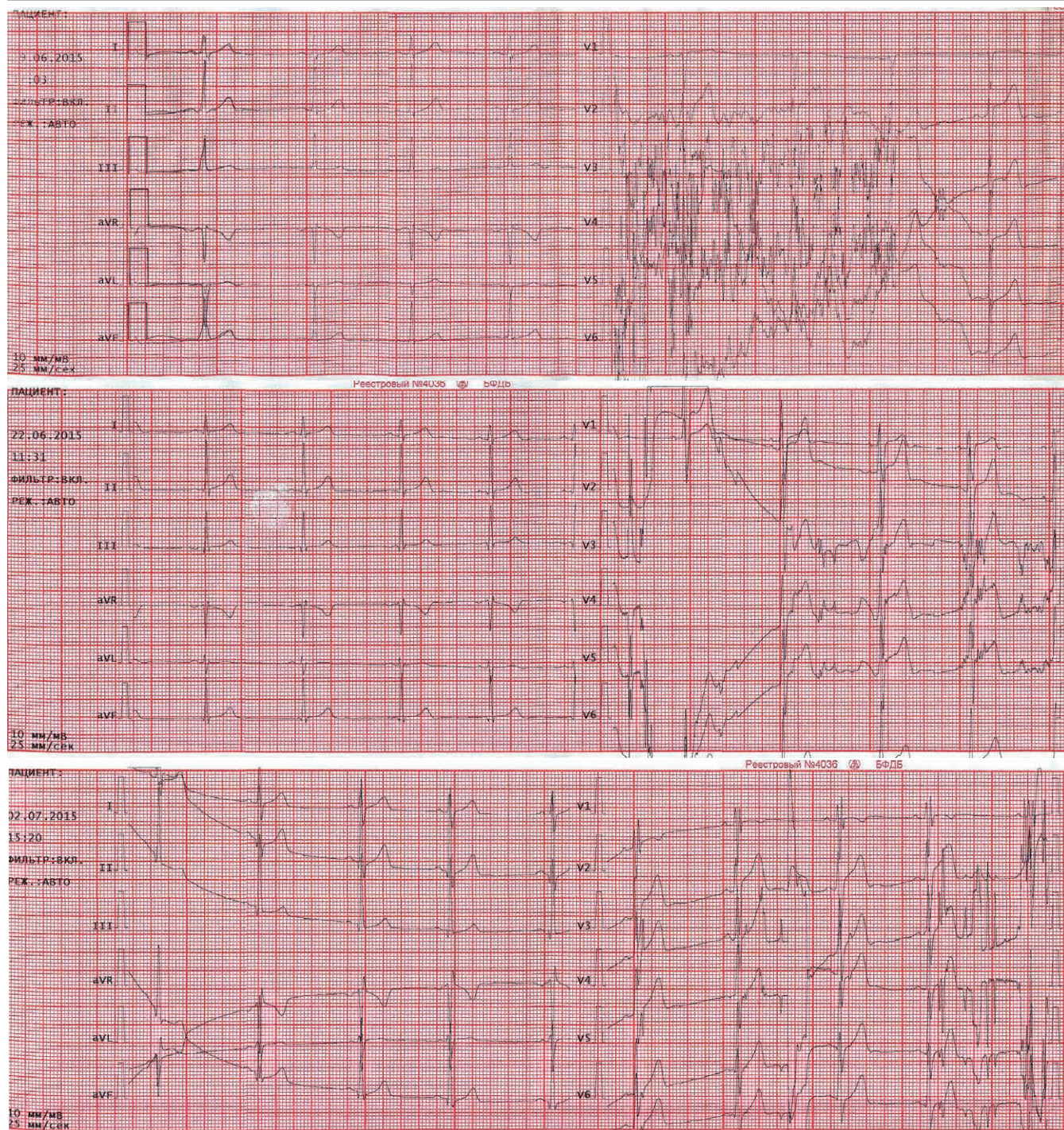


Рис. 4. Помехи комбинированные

противления тканей должна проводиться с учетом этого обстоятельства.

Для биометрической идентификации может быть использована реакция на ЭКГ-пробу с физической нагрузкой.

Физическая нагрузка, дозируемая индивидуально, требует повышенной обеспеченности миокарда кислородом, позволяя определить степень соответствия метаболических потребностей миокарда способности коронарных артерий, обеспечивать кровоснабжение сердца [8].

К числу наиболее распространенных и физиологических проб относится велоэргометрия, позволяющая использовать широкий диапазон нагрузок. Стабильность регистрации ЭКГ обеспечивает возможность ее оценки при выполнении нагрузки и в восстановительном периоде.

В проведении велоэргометрической пробы выполняется непрерывное наблюдение за рядом физиологических параметров (ЭКГ, ЧСС, АД) обследуемого. Выявление различных признаков снижения толерантности к нагрузке эталона



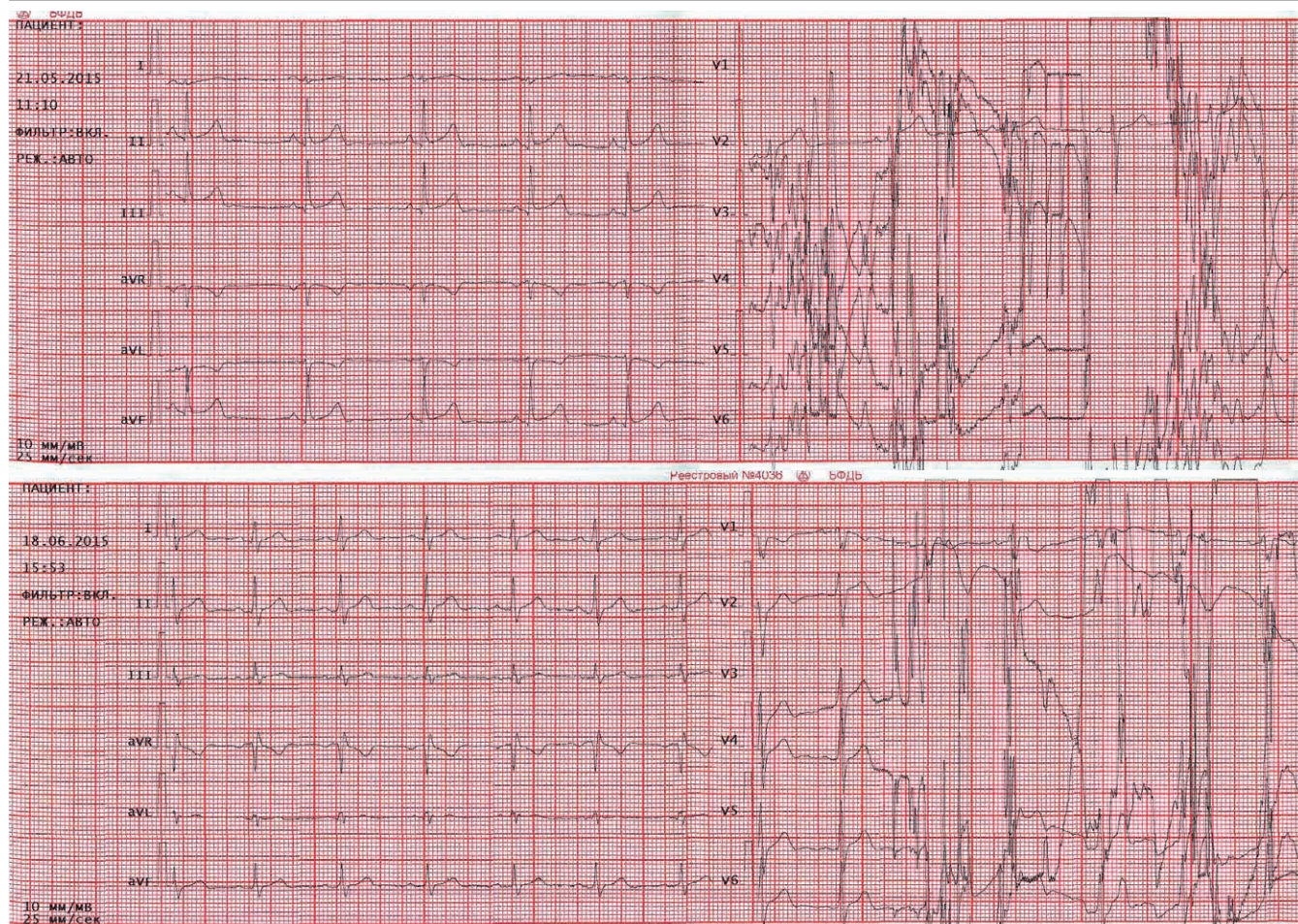


Рис. 5. Высокоамплитудные импульсные помехи, вызванные ЭМИ

и исследуемого образца дает основание для заключения о степени идентичности. Признаки перенесенных заболеваний также могут иметь индивидуальные особенности [9].

Анализ многочисленных клинико-инструментальных и ангиографических исследований показывает, что использование функциональных методов диагностики в комплексе с клиническими данными позволяет в 85–90% случаев получать достоверные результаты [10]. Изменения ЭКГ в виде «пардьеобразной кривой» отмечаются при стенокардии Принцметала.

Обзор доступной информации позволяет считать использование ЭКГ в качестве биометрического идентификационного сигнала вполне перспективным. Для этого подходят обычные электрокардиографы с частотой 500 Гц. Низкочастотный шум в спектре расположен на частоте менее 1 Гц, проявляет себя «блужданием» изолинии. Он обусловлен дыхательными экскурсиями грудной клетки, неудовлетворительными контактами на электродах и т.п.

Высокочастотный шум может отмечаться «внутри» отдельного сердцебиения. Подавление

шумов возможно цифровыми фильтрами Батерворда или вейвлетами. В результате обработки одномерного сигнала получают матрицу полезной информации. По матрице получают типовой паттерн сердцебиения. По опорным точкам паттерна вычисляют темпоральные и амплитудные расстояния. Некоторые исследователи выделяют аналитические признаки-коэффициенты разложения сигнала в различных базисах (Фурье, косинус, вайвлеты и т.д.). Затем используют Фурье-дескриптор, добиваясь 99% правильной идентификации (219 из 220 ЭКГ) (Рыцков И.К., Кизуб Л.А., Вишневецкий В.В.).

**Вывод.** Таким образом, биометрическая идентификация состоит в выявлении сохраняющихся достаточно продолжительное (в практических целях) время показателей, признаков и расчета на этой основе специальных индексов. Предлагаемое решение позволит исключить простое «сличение» эталонного экземпляра ЭКГ с предлагаемыми вариантами. С помощью программы, подобной «миннесотскому» коду, представляется возможным не только получать информацию



о степени отклонений показателей ЭКГ от нормальных значений, но и решать задачи биометрической идентификации. При этом достаточно регистрации всего лишь одного отведения с двух стандартных точек.

Для построения более полной принципиальной модели системы биометрической иденти-

фикации может быть использована топическая диагностика нарушений коронарного кровообращения и некоторые другие типичные дифференциально-диагностические признаки ЭКГ при блокадах и аритмиях, в том числе архивные данные электрокардиографических и других функциональных исследований.

## ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Татаркина Н.Д., Коваль В.Т. Функциональные маркеры ишемической болезни сердца // Материалы межрегиональной научно-практической конференции «Актуальные вопросы развития медицины на транспорте на рубеже 21 века», Владивосток, 2000. С. 146–149. [Tatarkina N.D., Koval' V.T. Funkcional'nye markery ishemicheskoy bolezni serdca // Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferencii «Aktual'nye voprosy razvitiya mediciny na transporte na rubezhe 21 veka». Vladivostok, 2000, pp. 146–149. (In Russ.).]
2. Розенбаум А.Н., Кислова И.И. Нечеткое оценивание истинности // Труды международного симпозиума «Надежность и качество». Пенза: ПГУ, 2008. Т. 1. С. 29–31. [Rozenbaum A.N., Kislova I.I. Nечetкое ocenivanie istinnosti // Trudy mezhdunarodnogo simpoziuma «Nadezhnost' i kachestvo». Penza: PGU, 2008, Vol. 1, pp. 29–31. (In Russ.).]
3. Розенбаум А.Н., Коваль В.Т. Построение формальной модели функционирования биологического объекта в среде обитания // Труды международного симпозиума «Надежность и качество». Пенза: ПГУ, 2008. Т. 1. С. 241. [Rozenbaum A.N., Koval' V.T. Postroenie formal'noj modeli funkcionirovaniya biologicheskogo ob'ekta v srede obitaniya. Trudy mezhdunarodnogo simpoziuma «Nadezhnost' i kachestvo». Penza: PGU, 2008, Vol. 1, pp. 241 (In Russ.).]
4. Гогин Е.Е. Гипертоническая болезнь и мозаика симптоматических гипертензий // Терапевтический архив, 2001. № 9. С. 5–8. [Gogin E.E. Gipertonicheskaya bolezni' i mozaika simptomaticheskikh gipertenzij. Terapevticheskij arhiv, 2001, No. 9, pp. 5–8. (In Russ.).]
5. Шулуток Б.И. Гипертоническая болезнь и другие формы артериальных гипертензий. СПб.: Ренкор, 1998. 200 с. [Shulutko B.I. Gipertonicheskaya bolezni' i drugie formy arterial'nyh gipertenzij. Saint-Petersburg: Renkor, 1998, 200 p. (In Russ.).]
6. Коваль В.Т., Розенбаум А.Н. Нечеткая логика в диагностическом алгоритме // Здоровье. Экология. Наука. 2008. № 3. [Koval' V.T., Rozenbaum A.N. Nечetkaya logika v diagnosticheskom algoritme. Zdorov'e. Ehkologiya. Nauka, 2008, No. 3. (In Russ.).]
7. Коваль В.Т., Татаркина Н.Д., Пономаренко Ю.В. Региональные нарушения гемодинамики и артериальные гипертензии: тезисы докладов // Российский национальный конгресс кардиологов. М., 2000. [Koval' V.T., Tatarkina N.D., Ponomarenko Yu.V. Regional'nye narusheniya gemodinamiki i arterial'nye gipertenzii: tezisы dokladov. Rossijskij nacional'nyj kongress kardiologov. Moscow, 2000. (In Russ.).]
8. Фолков Б., Нил Э. Кровообращение. М.: Медицина, 1976. [Folkov B., Nil E.H. Krovoobrashchenie. Moscow: Medicina, 1976. (In Russ.).]
9. Коваль В.Т., Окунь Б.В., Татаркина Н.Д., Коваль Е.В., Хорошун Р.М., Конорева Н.А. Техногенная этиология сердечно-сосудистых заболеваний // Здоровье. Медицинская экология. Наука. 2002. № 1–2. С. 47. [Koval' V.T., Okun' B.V., Tatarkina N.D., Koval' E.V., Horoshun R.M., Konoreva N.A. Tekhnogennaya ehtiologiya serdechno-sosudistykh zabolevanij. Zdorov'e. Medicinskaya ehkologiya. Nauka, 2002, No. 1–2, pp. 47. (In Russ.).]
10. Фейгенбаум Х. Эхокардиография. М.: Видар, 1999. [Fejgenbaum H. Ehkhokardiografiya. Moscow: Vidar, 1999 (In Russ.).]

Поступила в редакцию: 20.02.2017 г.

Контакт: Коваль Василий Трофимович, fregat80@mail.ru

### Сведения об авторах:

Коваль Василий Трофимович — кандидат медицинских наук, заведующий отделением функциональной диагностики 1477 ВМКГ МО РФ, полковник медслужбы запаса; e-mail: fregat80@mail.ru;

Коваль Нелли Викторовна — врач функциональной диагностики КГБУЗ «Владивостокская клиническая больница № 4», кандидат медицинских наук, г. Владивосток, ул. Воропаева д. 5, тел.: +7 (423) 295-78-75, vostokparus@mail.ru;

Коваль Евгений Васильевич — врач-хирург ФГКУ «1477 ВМКГ» МО РФ; г. Владивосток, Ивановская ул., д. 4; тел.: +7 (423) 246-78-14, доб. 5–12, vostokparus@mail.ru;

Конорева Наталья Анатольевна — врач отделения функциональной диагностики ФГКУ «1477 ВМКГ» МО РФ; тел.: +7 (951) 019-39-18, e-mail: ms.konoreva62@mail.ru;

Лазаренко Светлана Геннадьевна — врач отделения функциональной диагностики ФГКУ «1477 ВМКГ» МО РФ; тел.: +7 (914) 796-17-61;

Козюхина Марина Анатольевна — врач отделения функциональной диагностики ФГКУ «1477 ВМКГ» МО РФ; тел.: +7 (994) 057-880.