

Приборы медицинского назначения, контроля среды, веществ, материалов и изделий

УДК 615.47:616-072.7

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.32603/1993-8985-2021-24-4-79-89>

## Исследование погрешности оценки характеристик поздних потенциалов желудочков по 12-канальной электрокардиограмме

Ханади Солиман<sup>1</sup>✉, Нгуен Чонг Туен<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Университет Тишрин, Латакия, Сирия

<sup>2</sup> Технический университет имени Ле Куй Дона, Ханой, Республика Вьетнам

✉ [khsoliman@stud.etu.ru](mailto:khsoliman@stud.etu.ru)

### Аннотация

**Введение.** Поздние потенциалы желудочков являются предиктором ряда серьезных нарушений сердца, таких как синдром внезапной смерти, инфаркт миокарда, желудочковые тахикардии. Оценка характеристик поздних потенциалов желудочков позволяет судить о степени таких нарушений и возможных для жизни человека опасных последствиях.

**Цель работы.** Исследование погрешности оценки характеристик поздних потенциалов желудочков по 12-канальной электрокардиограмме (ЭКГ) высокого разрешения.

**Методы и материалы.** Поздние потенциалы желудочков выявляются путем определения модуля электрического вектора сердца по сигналам ортогональных отведений. Для оценки погрешности преобразования использовались синхронные записи ЭКГ-сигналов 12-канальных и ортогональных отведений, методы цифровой фильтрации для снижения уровня шумов и помех, методы выделения характерных точек QRS-комплекса и поздних потенциалов желудочков.

**Результаты.** Преобразование ЭКГ-сигналов 12-канальных отведений в сигналы ортогональных отведений приводит к появлению погрешностей оценки модуля электрического вектора сердца и всех показателей VLP-сигнала. Показана целесообразность использования преобразования Корса. Оно обеспечивает минимальные погрешности оценки модуля электрического вектора сердца на участке QRS-комплекса, погрешности оценки VRMS не более 0.084 %. Для оценки погрешности QRSD и LAS необходимо учитывать характер изменения VLP-сигнала и зоны неопределенности их оценки. Неоднозначность результатов оценки границ нарушений и отсутствия патологии деполяризации желудочков сердца говорит о влиянии большого количества факторов на точность результатов исследований. Погрешности их оценки могут быть причиной гипо- и гипердиагностики опасных нарушений ритма сердца, прогнозирования рисков ухудшения состояния здоровья пациента.

**Заключение.** Результаты исследования позволяют выделить пути снижения погрешности оценки показателей поздних потенциалов желудочков, повысить точность диагностики опасных нарушений ритма сердца и прогноза обострения заболевания из-за структурно-морфологических нарушений миокарда.

**Ключевые слова:** поздние потенциалы желудочков, преобразование ЭКГ-сигналов, погрешности, модуль электрического вектора сердца, оценка характеристик, гипо- и гипердиагностика, нарушения ритма сердца

**Для цитирования:** Ханади Солиман, Нгуен Чонг Туен. Исследование погрешности оценки характеристик поздних потенциалов желудочков по 12-канальной электрокардиограмме // Изв. вузов России. Радиоэлектроника. 2021. Т. 24, № 4. С. 79–89. doi: 10.32603/1993-8985-2021-24-4-79-89

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Источник финансирования.** Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ), исследовательские проекты 18-29-02036 и 19-29-01009.

Статья поступила в редакцию 21.06.2021; принята к публикации после рецензирования 26.07.2021; опубликована онлайн 29.09.2021



## Investigation of Inaccuracies in the Assessment of Ventricular Late Potentials Using 12-lead ECG Recordings

Hanadi Solieman<sup>1</sup>✉, Nguyen Trong Tuyen<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Tishreen University, Latakia, Syria

<sup>2</sup> Le Quy Don Technical University, Hanoi, Vietnam

✉ khsoliman@stud.etu.ru

### Abstract

**Introduction.** Ventricular late potentials (VLP) are predictors of cardiac disorders such as sudden death syndrome, myocardial infarction and ventricular tachyarrhythmias. Therefore, VLP assessment allows the severity and possible dangerous consequences of such disorders to be predicted.

**Aim.** To determine errors associated with VLP assessment by high-resolution 12-lead ECG recordings.

**Materials and methods.** VLPs were determined by the modulus of the cardiac electrical vector using signals from orthogonal leads. The conversion error was assessed using synchronous ECG recordings of 12-channel and orthogonal leads, the method of digital filtering (to reduce noise and interference) and the method of identifying characteristic points of the QRS complex and VLPs.

**Results.** The conversion of 12-lead ECG signals into orthogonal signals results in errors associated with the assessment of both the modulus of the cardiac electrical vector and all VLP indicators. The Kors transformation was shown to provide the minimum errors when assessing the cardiac electrical vector modulus in the QRS area, with the errors related to the VRMS assessment not exceeding 0.084 %. The estimation of the QRSd and LAS errors should consider the nature of VLP variations and the zone of uncertainty in their assessment. The ambiguity of the results of assessing the boundaries of violations and the absence of pathologies in cardiac ventricular depolarization indicates the influence of a large number of factors on research accuracy. Errors in the assessment of these factors may result in under- and overestimation of dangerous heart rhythm disturbances and incorrect prediction of the patient's state.

**Conclusion.** The obtained results can be used for reducing errors associated with the assessment of VLP indicators, improving the diagnostic accuracy of dangerous heart rhythm disturbances and predicting disease exacerbation due to structural and morphological disorders of the myocardium.

**Keywords:** ventricular late potentials, conversion of ECG signals, errors, cardiac electrical vector modulus, evaluation of characteristics, under- and overestimation, cardiac arrhythmias

**For citation:** Hanadi Solieman, Nguyen Trong Tuyen. Investigation of Inaccuracies in the Assessment of Ventricular Late Potentials Using 12-lead ECG Recordings. Radioelectronics. 2021, vol. 24, no. 4, pp. 79–89. doi: 10.32603/1993-8985-2021-24-4-79-89

---

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

**Source of financing.** This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (RFBR), research projects No. 18-29-02036 and 19-29-01009.

Submitted 21.06.2021; accepted 26.07.2021; published online 29.09.2021

---

**Введение.** Поздние потенциалы желудочков являются предиктором ряда серьезных нарушений сердца, таких как синдром внезапной смерти, инфаркт миокарда, желудочковые тахикардии. Выявление и оценка их характеристик имеет большое диагностическое значение [1, 2]. Возникновение поздних потенциалов желудочков обусловлено за-

держкой процесса деполяризации миокарда сердца из-за нарушений проводимости проводящих путей сердца, структурно-морфологических нарушений миокарда [3]. Оценка временных и энергетических характеристик поздних потенциалов желудочков позволяет судить о степени таких нарушений и возможных для жизни человека

опасных последствиях [4]. Поэтому исследование факторов, влияющих на точность выявления поздних потенциалов и погрешности оценки характеристик, имеет большое значение для диагностики заболеваний, прогнозирования осложнений при инфаркте миокарда.

**Материалы и методы.** Выявляют поздние потенциалы желудочков (Ventricular Late Potential – VLP) путем определения модуля электрического вектора сердца  $VM(t)$  по сигналам ортогональных отведений  $U_X(t), U_Y(t), U_Z(t)$  в промежутке между точками  $QRS_{OFF}$  и J [5]:

$$VM(t) = \left[ U_X^2(t) + U_Y^2(t) + U_Z^2(t) \right]^{1/2}. \quad (1)$$

Точка  $QRS_{OFF}$  характеризует завершение фазы сокращения стенок желудочков, точка J – полное завершение QRS-комплекса, в результате чего токи возбуждения в тканях миокарда полностью отсутствуют. Продолжительность поздних потенциалов желудочков порядка 40 мс, частотный спектр укладывается в диапазоне от 25 до 400 Гц, а амплитуда колеблется от единиц до десятков микровольт. Следует отметить, что система ортогональных отведений ЭКГ-сигнала из-за ее особенностей представлена в основном в средствах съема и мониторинга клинического назначения. В средствах съема и мониторинга, которые используются для внеклинических исследований, в том числе для скорой и неотложной медицинской помощи, используется система 12-канальных отведений ЭКГ-сигнала. Разумеется, для оперативной диагностики опасных нарушений сердца приходится использовать линейное преобразование сигналов 12-канальных отведений в сигналы ортогональных отведений. Известно несколько методов трансформации сигналов из одной системы в другую [6, 7]. Наши исследования показывают, что каждый метод преобразования вносит погрешности. Одни методы дают значительные погрешности в оценке модуля электрического вектора сердца в области предсердных сокращений миокарда, другие в области желудочковых сокращений миокарда. Выявление поздних потенциалов желудочков усложняется тем, что их амплитуда (единицы и десятки микро-

вольт) на три порядка меньше ЭКГ-сигнала и модуля электрического вектора (единицы – десятки микровольт). Эти сигналы регистрируются на фоне сопоставимых по мощности шумов электродной системы и входного каскада дифференциального усилителя. Наличие шумов не позволяет с высокой точностью выделить точки  $QRS_{OFF}$  и J, так как алгоритм их выделения использует процедуру дифференцирования. Стандартная технология выделения поздних потенциалов желудочков [8], предложенная Европейской ассоциацией кардиологов, для снижения уровня шумов использует процедуру синхронного накопления сигналов и пространственного усреднения по сигналам 12 отведений. Результаты исследований VLP-сигналов на основе изучения внутрисердечных потенциалов с использованием катетеров, вводимых во внутреннюю полость желудочков, показывают, что имеют место две группы поздних потенциалов желудочков [9]. Первая группа появляется при образовании рубцов на миокарде и носит стационарный характер. Вторая группа поздних потенциалов желудочков проявляется кратковременно и периодически на ранних стадиях структурно-морфологических нарушений миокарда. Очевидно, что для регистрации этой группы поздних потенциалов желудочков метод синхронного накопления неприменим. При синхронном накоплении кардиоциклов амплитуда поздних потенциалов будет уменьшаться и станет сопоставимой с шумами электродной системы и входного усилителя (шумы  $1/f$  существенно возрастают в диапазоне ниже 100 Гц). Для исследования точности выявления поздних потенциалов желудочков использовалась технология HR ECG. Применялась система регистрации ЭКГ-сигналов CardioLab фирмы General Electric, частота дискретизации ЭКГ-сигналов 12-канальных отведений составляла 1.0 кГц, амплитудное разрешение 24 бит. Электрофизиологические исследования VLP-сигналов проводились в Национальном медицинском исследовательском центре имени В. А. Алмазова [10].

**Цель работы.** Исследование погрешности оценки характеристик поздних потенциалов желудочков по 12-канальной электрокардиограмме HR ECG.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

1. Выделение характерных точек ЭКГ-сигнала – R-зубца, точек  $Q_{ON}$ ,  $QRS_{OFF}$  и J.
2. Преобразование ЭКГ-сигналов 12-канальных отведений в ЭКГ-сигналы ортогональных отведений и вычисление модуля электрического вектора сердца.
3. Выделение микропотенциалов желудочков на фоне значительных по амплитуде комплексов ЭКГ-сигнала.
4. Оценка характеристик поздних потенциалов желудочков, значимых для диагностики и прогнозирования состояния здоровья пациента.
5. Изучение погрешностей оценки характеристик VLP-сигналов.

**Решение поставленных задач. Выделение характерных точек ЭКГ сигнала – R-зубца, точек  $Q_{ON}$ ,  $QRS_{OFF}$  и J.** Точка  $Q_{ON}$  на ЭКГ характеризует начало процесса деполяризации миокарда желудочков, в результате чего миокард начинает сокращение  $QRS_{OFF}$  – завершение фазы, J – окончание QRS-комплекса и переход его в ST-сегмент. Определение мощности ЭКГ-сигнала на промежутке  $Q_{ON}$ – $QRS_{OFF}$  важно для оценки доли мощности поздних потенциалов желудочков в мощности QRS-комплекса.

Для выделения указанных точек ЭКГ-сигнала использовался канал первого отведения. Он имеет наибольшую амплитуду по сравнению с сигналами других отведений, а следовательно, и максимальное отношение сигнал/шум. Для повышения точности выделения характерных точек были использованы следующие преобразования сигнала: цифровая фильтрация с использованием фильтра Баттерворта нижних частот второго порядка с частотой среза 30 Гц, который максимально подавлял сетевую помеху 50 Гц, существенно ограничивал шумы электродной системы и входного каскада дифференциального усилителя. На втором этапе использовался фильтр верхних частот второго порядка с частотой среза 0.5 Гц. На третьем этапе выделялся R-зубец с использованием алгоритма Пана–Томпкинса. Изменение его пикового уровня осуществлялось для устранения дрейфа изолинии ЭКГ-сигнала с использованием кубического сплайна. На четвертом этапе выделялись точки  $Q_{ON}$ ,  $QRS_{OFF}$  и J. Для выделения использовалось скользящее окно длительностью 40 мс, предназначенное для

определения угла наклона прямой линии. Начало прямой располагалось в текущей точке нахождения скользящего окна, а конец – на расстоянии 40 мс. Фактически угол наклона представляет производную. Однако процедура дифференцирования чувствительна к шумам, а определение угла наклона, усредненного внутри скользящего окна, позволяет снизить влияние шумов. Точка  $Q_{ON}$  определяется по максимальному значению отрицательного угла наклона до R-зубца, точка  $QRS_{OFF}$  – по первому минимальному углу наклона после R-зубца, точка J – по второму после R-зубца минимальному углу наклона в скользящем окне [11]. Таким образом, рассмотренные преобразования сигналов использовались исключительно для выделения точек  $Q_{ON}$ ,  $QRS_{OFF}$  и J (рис. 1) и последующей оценки характеристик VLP-сигналов, а R-зубца – для оценки динамики характеристик поздних потенциалов желудочков по кардиоциклам.

**Преобразование ЭКГ-сигналов 12-канальных отведений в ЭКГ-сигналы ортогональных отведений и вычисление модуля электрического вектора сердца.** Для снижения погрешностей косвенной оценки характеристик поздних потенциалов желудочков необходимо обеспечить минимальные погрешности преобразования 12-канальных ЭКГ-сигналов в ортогональные на участке желудочковых сокращений. Авторами были исследованы погрешности преобразования ЭКГ-сигналов 12-канальных отведений в сигналы ортогональных отведений с использованием преобразований: Dowers, Kors, PLSV, QLSV и различных метрик оценки погрешности [12]. Показано, что наименьшие погрешности на участке QRS-комплекса, что особенно важно для оценки характеристик VLP-сигналов, обеспечивает преобразование Kors. Основываясь на исследованиях, авторы предлагают использование регрессионного Kors-преобразования:

$$U_X(t) = a_1 U_1(t) + a_2 U_2(t) + \dots + a_8 U_8(t);$$

$$U_Y(t) = b_1 U_1(t) + b_2 U_2(t) + \dots + b_8 U_8(t);$$

$$U_Z(t) = c_1 U_1(t) + c_2 U_2(t) + \dots + c_8 U_8(t),$$

где сигналы  $U_j$  ( $j = \overline{1, 8}$ ) представлены сигналами отведений I, II,  $V_1, V_2, V_3, V_4, V_5, V_6$ , а элементы матрицы  $a_j, b_j, c_j$  имеют следующие значения:

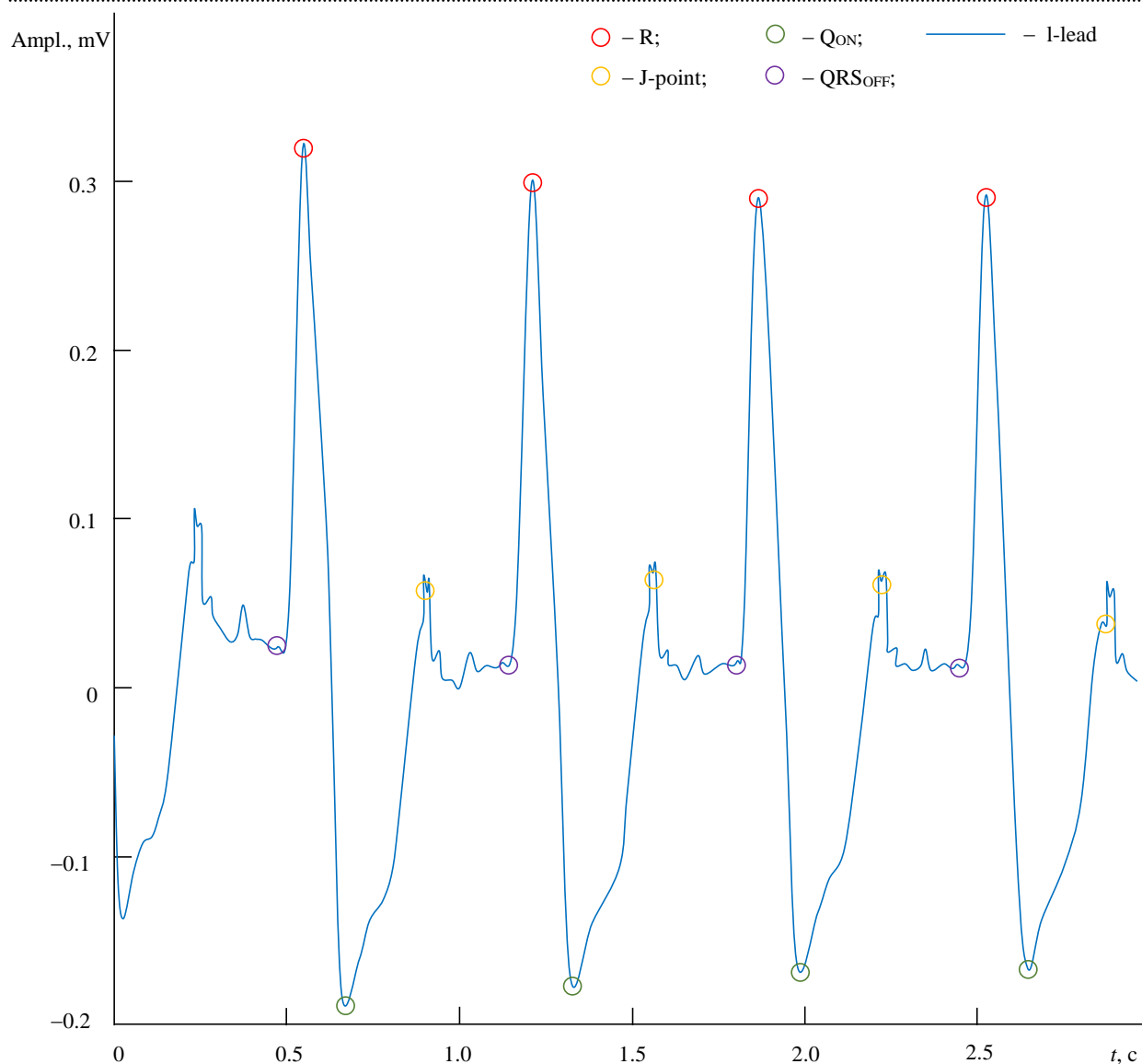


Рис. 1. Характерные точки ЭКГ-сигнала, используемые для оценки характеристик VLP

Fig. 1. Characteristic points of the ECG signal used to assess VLPs

0.13; 0.05; -0.01; 0.14; 0.06; 0.54; 0.38; -0.07;  
0.06; -0.20; -0.05; 0.06; -0.17; 0.13; -0.07; 0.93;  
-0.43; -0.06; -0.14; -0.20; -0.11; 0.31; 0.11; -0.23.

Модуль электрического вектора сердца выявляется в соответствии с (1). На рис. 2 отражена динамика погрешности вычисления модуля электрического вектора сердца на предсердном и желудочковом этапах сокращения миокарда.

**Выделение микропотенциалов желудочков на фоне значительных по амплитуде комплексов ЭКГ-сигнала.** Как было отмечено ранее, поздние потенциалы желудочков значительно меньше амплитуды QRS-комплекса и могут иметь как стационарный, так и нестационарный характер. Поэтому при синхронном накоплении ЭКГ-сигнала

вторая группа поздних потенциалов желудочков будет потеряна [13]. Для выделения таких поздних потенциалов предлагаем использовать следующий метод [14]:

- на первом этапе низкочастотная фильтрация сигнала модуля электрического вектора сердца  $VM(t)$  фильтром Баттерворта с частотой среза 25 Гц, в результате чего из исходного сигнала  $VM(t)$  будут удалены поздние потенциалы желудочков;

- на втором этапе скользящее усреднение полученного сигнала в течение 10 кардиоциклов с шагом смещения окна в один кардиоцикл (этим объясняется выделение характерной точки – R-зубца);



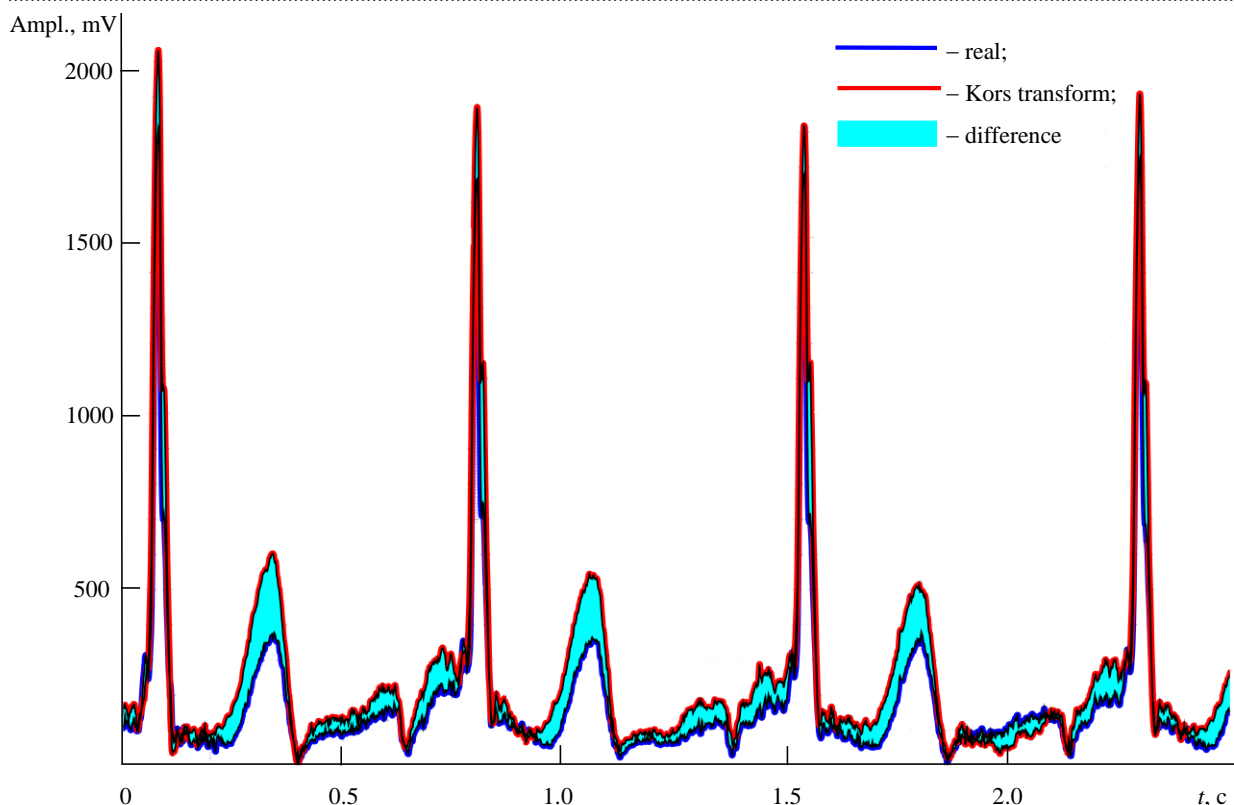


Рис. 2. Погрешности вычисления модуля электрического вектора сердца с использованием Kors-преобразования

Fig. 2. Errors when calculating the modulus of the electric heart vector using the method of Kors transformation

– на третьем этапе вычитание из текущего кардиоцикла исходного сигнала  $VM(t)$  усредненного сигнала  $\overline{VM}(t)$  и получение разностного (остаточного) сигнала  $\Delta VM(t)$ , который не будет содержать высокоамплитудные компоненты ЭКГ-сигнала;

– на четвертом этапе выделение и анализ в каждом кардиоцикле динамики остаточного сигнала  $\Delta VM(t)$  между отсчетами  $QRS_{OFF}$  и  $J$ , а также QRS-комплекса на сигнале  $VM(t)$ . QRS-комплекс на сигнале  $VM(t)$  будет иметь квазистационарный характер. Его изменение будет определяться шириной скользящего окна, в пределах которого будет формироваться сигнал  $\overline{VM}(t)$ . При стационарном характере поздних потенциалов желудочков при просмотре в каждом кардиоцикле можно утверждать о выявлении первой группы интересующих сигналов. При изменении характеристик поздних потенциалов желудочков можно говорить о второй группе анализируемых сигналов. Эта группа поздних потенциалов желудочков может быть отражена в виде

трехмерной временной диаграммы, в которой ось времени будет постепенно сдвигаться на каждый кардиоцикл (рис. 3).

**Оценка характеристик поздних потенциалов желудочков, значимых для диагностики и прогнозирования состояния здоровья пациента.** В клинической практике для оценки текущего состояния здоровья пациента при структурно-морфологических нарушениях миокарда желудочков используются следующие характеристики [5], [8]:

- QRSd – продолжительность QRS-комплекса от точки  $Q_{ON}$  до точки  $J$ ;
- VRMS – среднеквадратичное напряжение последних 40 мс QRS-комплекса;
- LAS – продолжительность низкоамплитудных сигналов (менее 40 мкВ) в конце QRS-комплекса;
- $E_{VLP}/E_{QRS}$  – доля энергии VLP-сигнала к энергии QRS-комплекса.

Показатель QRSd отражает наличие задержки в распространении потенциала возбуждения по проводящим путям. Чем больше зона структурно-морфологических нарушений миокарда, тем больше задержка в деполяризации миокарда сердца.

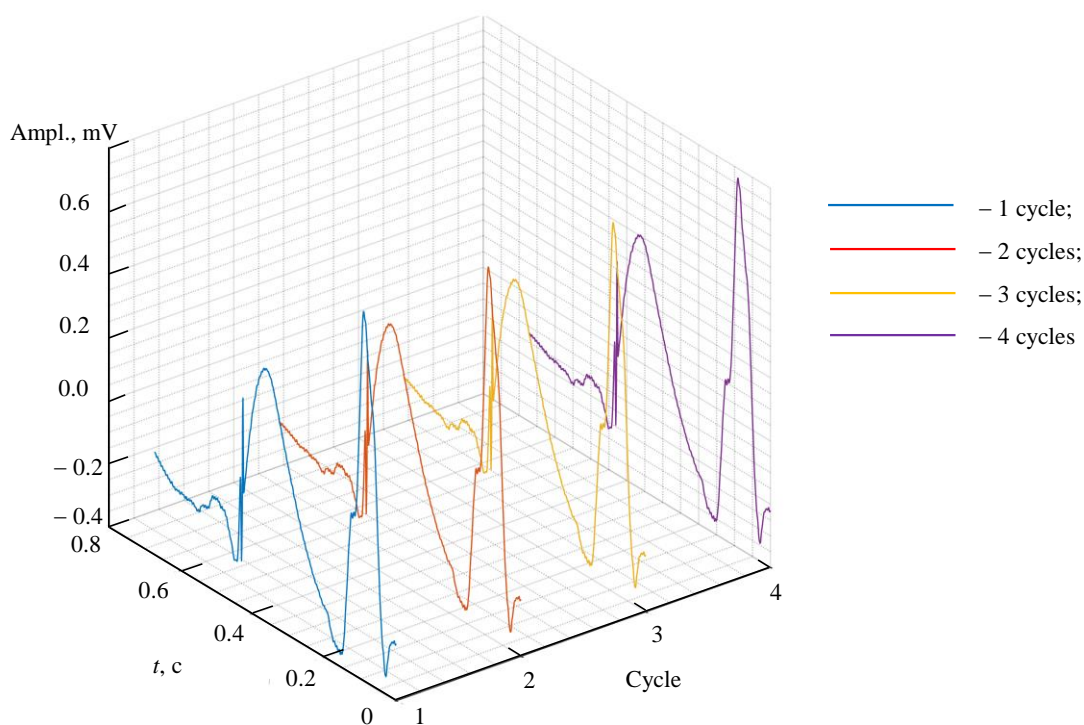


Рис. 3. Поцикловая динамика VLP-сигналов при их нестационарном характере

Fig. 3. Cyclic dynamics of the VLP signals under their non-stationary nature

Показатель VRMS отражает усредненную амплитуду поздних потенциалов желудочков, ее снижение говорит о задержке процесса деполяризации миокарда сердца.

Небольшая продолжительность LAS говорит о быстром завершении процесса деполяризации, хорошей проводимости путей в состоянии миокарда желудочков.

Показатель  $E_{VLP}/E_{QRS}$  отражает долю энергии поздних потенциалов желудочков в энергии QRS-комплекса.

Для мониторинга и прогнозирования состояния здоровья пациента большое значение имеет динамика перечисленных показателей. Увеличение QRSd, LAS и  $E_{VLP}/E_{QRS}$  и снижение VRMS говорит об ухудшении состояния сердца пациента, характер изменения каждого из перечисленных показателей отражает различные структурно-морфологические изменения в миокарде желудочков [5].

**Изучение погрешностей оценки характеристик поздних потенциалов желудочков.** Исследование погрешности преобразования 12-канального ЭКГ-сигнала в сигналы ортогонального отведения и вычисление модуля электрического вектора сердца с использованием преобразования Kors [12] показало, что на участке QRS-комплекса

среднеквадратическая ошибка оценки амплитуды поздних потенциалов желудочков не превышает 0.013 %. Построение зоны 0.042 % отклонения от VLP-сигнала позволяет определить влияние погрешности преобразования ЭКГ-сигналов на показатели QRSd, VRMS, LAS и  $E_{VLP}/E_{QRS}$ . Очевидно, что предельная относительная погрешность оценки амплитудных характеристик, в частности VRMS, не будет превышать 0.084 %. Для оценки погрешности определения временных характеристик QRSd и LAS необходимо учитывать характер изменения VLP-сигнала. В данном случае, безусловно, надо воспользоваться определением точек пересечения графика функции модуля электрического вектора сердца с характерными точками кардицикла, уровня функции поздних потенциалов желудочков с уровнем амплитуды менее 40 мкВ. В соответствии с решением американской школы кардиологов следует обращать особое внимание при получении у пациента следующих показателей поздних потенциалов желудочков: fQRSd более 114 мс, LAS40 более 38 мс и VRMS40 менее 20 мкВ [15, 16]. В указанных условиях учтены в том числе и погрешности косвенной оценки показателей VLP-сигналов. Проблема влияния погрешности косвенной оценки показателей

VLP-сигналов на решение по диагностике нарушений и выбора тактики лечения всегда характеризовалась остротой. Ряд исследователей на результатах статистически представительной выборки показали целесообразность использования следующих граничных условий (таблица).

Граничное условие наличия ППЖ  
The boundary condition of VLP presence

Показатель	Есть VLP	Возможно наличие	Нет VLP
QRSd, мс	> 126	113–125	< 112
VRMS, мкВ	< 13	14–21	> 22
LAS, мс	> 43	37–42	< 36

Неоднозначность граничных условий, определяющих наличие и отсутствие поздних потенциалов сердца, говорит о том, что на результаты оценки влияло множество факторов. К ним следует отнести точность фиксации электродов на теле человека, анатомические особенности расположения сердца в грудной клетке, точность совмещения координатных систем регистрации ЭКГ-сигналов, уровень шумов и помех при регистрации сигналов, особенности обработки и анализа сигналов. Тем не менее есть сопоставимые границы изменения показателей VLP-сигналов, которые можно использовать для диагностики состояния сердца и прогнозирования обострения заболевания. В процессе диагностики заболевания

сердца специалисты должны понимать, что влияние различных факторов на погрешности оценки показателей поздних потенциалов сердца и разброс граничных условий могут приводить как к гипо-, так и к гипердиагностике (ошибки первого и второго рода классификации состояния), а следовательно, и к ошибкам врачебного решения по оказанию медицинской помощи. С точки зрения сохранения жизни пациента при получении показателей VLP-сигналов в зоне неопределенности «Возможно наличие» врач должен учитывать дополнительные признаки заболевания, а при их отсутствии – отдавать предпочтение в пользу гипердиагностики.

**Заключение.** Использование ЭКГ-сигналов 12-канального отведения для косвенной оценки поздних потенциалов желудочков всегда приводит к погрешностям оценки его показателей. Сравнительные исследования формул преобразований и оценка их среднеквадратичной погрешности выявили, что преобразование Корса обеспечивает минимальные погрешности преобразования на участке QRS-комплекса. Эти погрешности влияют на погрешности оценки показателей VLP-сигналов: QRSd, VRMS, LAS и  $E_{VLP}/E_{QRS}$  и приводят к ошибкам диагностики структурно-морфологических нарушений миокарда желудочков сердца. Оценка характеристик поздних потенциалов желудочков позволяет судить о степени таких нарушений и возможных для жизни человека опасных последствиях.

## Список литературы

1. Non-invasive detection of late potentials in man: A new marker for ventricular tachycardia / G. Breithardt, R. Becker, L. Seipel, R. R. Abendroth, J. Ostermeyer // Eur Heart J. 1981. Vol. 2 (1). P. 1–11. doi: 10.1093/oxfordjournals.eurheartj.a061158
2. Олейников В. Э., Лукьянова М. В., Душина Е. В. Предикторы внезапной сердечной смерти у больных, перенесших инфаркт миокарда, определяемые при холтеровском мониторировании ЭКГ // Российский кардиологический журн. 2015. № 3 (119). С. 108–116. doi: 10.15829/1560-4071-2015-03-108-116
3. Ярченкова Л. Л. Поздние потенциалы желудочков как предикторы нарушений ритма сердца при артериальной гипертензии. Иваново: Изд-во Иван. гос. мед. акад., 2003. С. 227.
4. Латфуллин И. А., Ким З. Ф., Тептин Г. М. Поздние потенциалы желудочков // Вестн. аритмологии. 2008. № 53. С. 44–55.

5. Думпис Я. Ю., Вайнштейн А. Б., Яшин С. М. Регистрация поздних потенциалов желудочков с помощью сигнал-усредненной ЭКГ // Клиническая аритмология / под общ. ред. В. А. Ардашова. М.: Медпрактика, 2009. С. 176–194.
6. Синтез сигналов скорректированных ортогональных отведений Макфи–Парунгао по данным электрокардиограммы в 12 отведениях / В. Г. Трунов, Э. А. Айду, Е. В. Блинова, Т. А. Сахнова // Мед. алфавит. Т. 1: Современная функциональная диагностика. 2017. № 14. С. 16–20.
7. Jaros R., Martinek R., Danys L. Comparison of Different Electrocardiography with Vectorcardiography Transformations // Sensors. Jul. 2019. Vol. 19, iss. 14. P. 3072. doi: 10.3390/s19143072
8. Standards for analysis of late ventricular potentials using high resolution of signal-averaged electrocardiography. A statement of task force committee between the



European society of cardiology, the American heart association and college of cardiology / G. Breithardt, M. E. Cain, N. El-Sherif, N. C. Flowers, V. Hombach, M. Janse, M. B. Simson, G. Steinbeck // Eur. Heart J. 1991. Vol. 83, iss. 4. P. 1481–1488. doi: 10.1161/01.cir.83.4.1481

9. Prediction of local abnormal ventricular myocardial electrical activation on surface ECG in patients with structural heart disease / Z. Yuldashev, A. Nemirko, E. Mikhaylov, D. Lebedev, A. Anisimov, A. Skorobogatova, D. Ripka // Proc. of the 13<sup>th</sup> Intern. Joint Conf. on Biomedical Engineering Systems and Technologies (BIOSTEC 2020). Valletta, Malta, 2020. P. 395–401. doi: 10.5220/0009374103950401

10. Processing of Synchronous Recordings of Surface ECG and Intracardiac Potentials for Diagnostics of Dangerous Heart Rate Disturbances / Z. Yuldashev, A. Nemirko, L. Manilo, E. Mikhaylov, D. Lebedev, A. Anisimov // Ural Symp. on Biomedical Engineering, Radioelectronics and Information Technology (USBREIT). Yekaterinburg, 25–26 Apr. 2019. P. 102–105. doi: 10.1109/USBREIT.2019.8736673

11. Sadhukhan D., Mitra M. Detection of ECG Characteristic Features Using Slope Thresholding and Relative Magnitude Comparison // Third Intern. Conf. on Emerging Applications of Information Technology (EAIT-2012). Kolkata, India, 29–30 Nov. 2012. P. 122–126. doi: 10.1109/EAIT.2012.6407876

12. Solieman H., Ripka D., Yuldashev Z. M. Investigation of the Transformation Methods Accuracy of 12-Lead ECG to Orthogonal Leads Using Multiple Error Evaluation Metrics // Proc. Ural Symp. on Biomedical Engineering, Radioelectronics and Information Technology, USBREIT 2021. Yekaterinburg, 13–14 May 2021. P. 70–72. doi: 10.1109/USBREIT51232.2021.9455108

13. Guaragnella C., Rizz M., Giorgio A. Marginal Component Analysis of ECG Signals for Beat-to-Beat Detection of Ventricular Late Potentials // J. Electronics. 2019. Vol. 8(9). P. 1–15. doi: 10.3390/electronics8091000

14. Юлдашев З. М., Немирко А. П., Рипка Д. С. Алгоритм выявления нарушений электрического возбуждения миокарда желудочков по поверхностной ЭКГ // Биотехносфера. 2019. № 6. С. 21–27. doi: 10.25960/bts.2019.6.21

15. ACC Expert Consensus Document: Signal-Averaged Electrocardiography / M. E. Cain, J. L. Anderson, M. F. Arnsdorf, J. W. Mason, M. M. Scheinman, A. L. Waldo // J. of American College of Cardiology. 1996. Vol. 27(1). P. 238–249.

16. Иванов Г. Г., Сыркин А. Л. Электрокардиография высокого разрешения – теоретические предпосылки и методические аспекты использования метода // Новые методы электрокардиографии / под ред. С. В. Грачева. М.: Техносфера, 2007. С. 19–48.

## Информация об авторах

**Солиман Ханади** – аспирантка 2-го курса, ассистент кафедры биотехнических систем Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета "ЛЭТИ" им. В. И. Ульянова (Ленина), ассистент университета Тишрин (Сирия). В 2018 году закончила с отличием бакалавриат университета Тишрин (Сирия) по направлению "Электромеханика – мехатроника", в 2020 году закончила с отличием магистратуру СПбГЭТУ "ЛЭТИ" по направлению "Биотехнические системы и технологии". Автор 6 научных публикаций и одного патента. Сфера научных интересов – медицинское приборостроение, медицинская информатика, обработка и анализ биомедицинских сигналов и данных.

Адрес: Университет Тишрин, Южный въезд, Латакия, Сирия

E-mail: khsoliman@stud.etu.ru

<https://orcid.org/0000-0002-9868-8960>

**Нгуен Чонг Туен** – кандидат технических наук (2018) по специальности "Приборы, системы и изделия медицинского назначения", преподаватель кафедры биомедицинской инженерии Технического университета имени Ле Куй Дона (Республика Вьетнам). Окончил с отличием бакалавриат (2012) и магистратуру (2014) по направлению "Биотехнические системы и технологии". Автор более 30 научных публикаций. Сфера научных интересов – медицинское приборостроение, обработка и анализ биомедицинских сигналов и данных, телемедицинские системы диагностики.

Адрес: 236 Хоанг Куок Вьет, Ханой, Республика Вьетнам

E-mail: nguyentuyen1988@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-9408-2622>

## References

1. Breithardt G., Becker R., Seipel L., Abendroth R. R., Ostermeyer J. Non-invasive detection of late potentials in man: A new marker for ventricular tachycardia. *Eur Heart J.* 1981, vol. 2 (1), pp. 1–11. doi: 10.1093/oxfordjournals.eurheartj.a061158
2. Oleynikov V. E., Lukianova M. V., Dushina E. V. Sudden death predictors in patients after myocardial infarction by holter ecg monitoring. *Russ. J. Cardiol.* 2015, no. 3 (119), pp. 108–116. doi: 10.15829/1560-4071-2015-03-108-116
3. Yarchenkova L. L. Late ventricular potentials as predictors of cardiac arrhythmias in arterial hypertension. *Ivanovo. Izd-vo Ivan. gos. akad.* 2003. P. 227.
4. Latfullin I. A., Kim Z. F., Teptin G. M. Late ventricular potentials. *J. of Arrhythmology.* 2008, no. 53, pp. 44–55.
5. Dumpis Ya. Yu., Vainshtein A. B., Yashin S. M. Registration of late ventricular potentials using an averaged ECG signal. *Clinical arrhythmology.* Ed. V. A. Ardashov. M., *Medpraktika*, 2009, pp. 176–194.
6. Trunov V. G., Aidu E. A., Blinova E. V., Sakhnova T. A. Synthesis of McFee-Parungao corrected orthogonal lead system signals from 12 lead electrocardiogram. *Medical alphabet. Vol. 1. Modern functional diagnostics.* 2017, no. 14, pp. 16–20.
7. Jaros R., Martinek R., Danys L. Comparison of Different Electrocardiography with Vectorcardiography Transformations. *Sensors*, Jul. 2019, vol. 19, iss. 14, 3072 p. doi: 10.3390/s19143072
8. Breithardt G., Cain M. E., El-Sherif N., Flowers N. C., Hombach V., Janse M., Simson M. B., Steinbeck G. Standards for analysis of late ventricular potentials using high resolution of signal- averaged electrocardiography. A statement of task force committee between the European society of cardiology, the American heart association and college of cardiology. *Eur. Heart J.* 1991, vol. 83, iss. 4, pp. 1481–1488. doi: 10.1161/01.cir.83.4.1481
9. Yuldashev Z., Nemirko A., Mikhaylov E., Lebedev D., Anisimov A., Skorobogatova A., Ripka D. Prediction of local abnormal ventricular myocardial electrical activation on surface ECG in patients with structural heart disease. *Proc. of the 13<sup>th</sup> Intern. Joint Conf. on Biomedical Engineering Systems and Technologies (BIOSTEC 2020)*, Valletta, Malta. 2020, pp. 395–401. doi: 10.5220/0009374103950401
10. Yuldashev Z., Nemirko A., Manilo L., Mikhaylov E., Lebedev D., Anisimov A. Processing of Synchronous Recordings of Surface ECG and Intracardiac Potentials for Diagnostics of Dangerous Heart Rate Disturbances. *Ural Symp. on Biomedical Engineering, Radioelectronics and Information Technology (USBREIT)*. Yekaterinburg, 25–26 Apr. 2019, pp. 102–105. doi: 10.1109/USBREIT.2019.8736673
11. Sadhukhan D., Mitra M. Detection of ECG Characteristic Features Using Slope Thresholding and Relative Magnitude Comparison. *Third Intern. Conf. on Emerging Applications of Information Technology (EAIT-2012)*, Kolkata, India, 29–30 Nov. 2012, pp. 122–126. doi: 10.1109/EAIT.2012.6407876
12. Solieman H., Ripka D., Yuldashev Z. M. Investigation of the Transformation Methods Accuracy of 12-Lead ECG to Orthogonal Leads Using Multiple Error Evaluation Metrics. *Proc. Ural Symp. on Biomedical Engineering, Radioelectronics and Information Technology, USBREIT 2021*. Yekaterinburg, 13–14 May 2021, pp. 70–72. doi: 10.1109/USBREIT51232.2021.9455108
13. Guaragnella C., Rizz M., Giorgio A. Marginal Component Analysis of ECG Signals for Beat-to-Beat Detection of Ventricular Late Potentials. *J. Electronics.* 2019, vol. 8(9), pp. 1–15. doi: 10.3390/electronics8091000
14. Yuldashev Z. M., NEMIRKO A. P., RIPKA D. S. Detection algorithm of the abnormal ventricular myocardial electrical activation on surface ECG. *Biotechnosphaera.* 2019, no. 6, pp. 21–27. doi: 10.25960/bts.2019.6.21
15. Cain M. E., Anderson J. L., Arnsdorf M. F., Mason J. W., Scheinman M. M., Waldo A. L. ACC Expert Consensus Document: Signal-Averaged Electrocardiography. *J. of American College of Cardiology.* 1996, vol. 27(1), pp. 238–249.
16. Ivanov G. G., Syrkin A. L. High-resolution electrocardiography-theoretical prerequisites and methodological aspects of using the method. *New methods of electrocardiography.* Ed. by S. V. Grachev. M., *Technosphaera*, 2007, pp. 19–48.

## Information about the authors

**Hanadi Solieman**, post-graduate student of the 2-year, assistant of the Department of Bioengineering Systems, St Petersburg Electrotechnical University, an assistant at the Mechatronics program for Distinguished at Tishreen University (Syria). In 2018, she graduated with 83.05 % from Bachelor in Electromechanics – Mechatronics at Tishreen University. In 2020, she graduated with honors from the Master's program of the Saint Petersburg Electrotechnical University in Bioengineering Systems and technologies. Systems and technologies. She is an author of 6 scientific publications and one patent. Area of expertise: medical instrumentation, medical informatics, processing and analysis of biomedical signals and data.

Address: Tishreen University, Southern Entrance, Latakia, Syria

E-mail: khsoliman@stud.etu.ru

<https://orcid.org/0000-0002-9868-8960>

**Nguyen Trong Tuyen**, Cand. Sci. (Eng.) (2018) in the field of Devices, systems, and medical products, a lecturer at the Department of Biomedical Engineering, Le Cui Don Technical University, Republic of Vietnam. Nguyet Chong Tuen graduated with honors from the Bachelor's program (2012), Master's program (2014) in the field of Bioengineering Systems and Technologies. He is the author of over 30 scientific publications. Area of expertise: medical instrumentation, processing, and analysis of biomedical signals and data, telemedicine diagnostic systems.

Address: 236 Hoang Quoc Viet, Hanoi, Republic of Vietnam

E-mail: nguyentuyen1988@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-9408-2622>

---