

## СПОСОБ ОЦЕНКИ ВЗАИМОСВЯЗАННОСТИ ПНЕВМОГРАММЫ И ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАММЫ НА ОСНОВЕ МЕТОДА ЭНТРОПИИ ПЕРЕНОСА

Р. Р. Муллаянов<sup>1</sup>, А. С. Кружков<sup>2</sup>

<sup>1</sup> mullruslan@yandex.ru, <sup>2</sup> danteform@gmail.ru

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (УГАТУ)

**Аннотация.** Рассматривается метод энтропии переноса как один из способов оценки взаимосвязанности сердечной и дыхательной активностей по записям электрокардиограммы и пневмограммы.

**Ключевые слова:** энтропия переноса; электрокардиограмма; пневмограмма; интервалограмма; информационная энтропия.

По результатам исследования ВОЗ болезни сердечно-сосудистой и дыхательной систем являются самыми распространенными во всем мире на сегодняшний день [1]. Ишемическая болезнь сердца, инсульт, рак легких и обструктивная болезнь уносят больше всего человеческих жизней и входят в десятку ведущих причин смерти.

То, почему болезни сердечно-сосудистой и дыхательной систем попали в список ведущих заболеваний, являющихся причиной высокого показателя смертности среди населения, объясняется тем, что данные системы тесно взаимосвязаны и образуют кардиореспираторную систему. Любые нарушения деятельности одной системы приводят к нарушению деятельности другой.

Самым распространенным методом исследования сердечной деятельности является электрокардиография, который, как правило, проводится неинвазивно.

Электрокардиография – метод электрофизиологического исследования деятельности сердца, основанный на регистрации и анализе электрической активности миокарда, распространяющейся по сердцу в течение сердечного цикла [2]. Регистрация осуществляется с помощью специальных устройства, называемого электрокардиографом.

При анализе электрокардиограммы определяют особые точки – зубцы, местоположение которых несет в себе наиболь-

шее количество информации о сердечной деятельности (рис. 1).

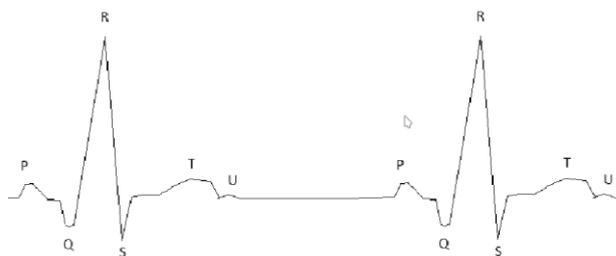


Рис. 1. Зубцы на электрокардиограмме

Определение местонахождения этих точек позволяет провести оценку такого физиологического явления, как вариабельность сердечного ритма, проявляющегося в изменении между началом одного сердечного цикла и началом следующего. Для этого применяют статистические, геометрические методы и спектральный анализ [3].

Для исследования процесса дыхания самым распространенным методом является пневмография, результатом которого является пневмограмма.

Пневмограмма – графическая запись изменения объема грудной клетки во времени, с помощью которого косвенно определяется объем легких и быстрота его изменения, а также и фазы дыхания.

По пневмограмме определяют циклы дыхания, каждый из которых, в свою очередь, состоит из трех фаз дыхательного цикла: фаза вдоха, выдоха и постэкспираторной паузы [3].

На рис. 2 изображен дыхательный паттерн, где  $Trif$  – время достижения пиковой скорости вдоха от начала вдоха,  $Trpf$  – время достижения пиковой скорости выдоха от начала выдоха,  $Ti$  – продолжительность вдоха (с.),  $Te$  – продолжительность выдоха (с.),  $Tr$  – продолжительность постэкспираторной паузы (с.),  $Ttot$  – общая продолжительность дыхательного цикла (с.),  $Vt$  – дыхательный объем (мл.) [3].

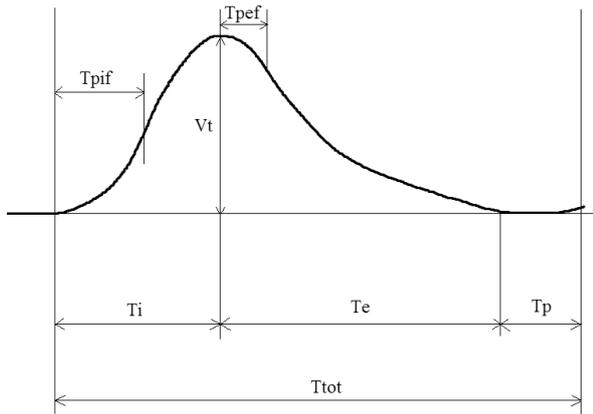


Рис. 2. Интервалограммы по ЭКГ и пневмограмме соответственно

Для проведения оценки функционального состояния дыхательной системы определяются точки наиболее быстрого вдоха и выдоха, поскольку наличие заболеваний могут сказаться на средней скорости вдоха или выдоха, например, при ХОБЛ [2]. Также определяются длительности фаз, например, при пневмонии уменьшается длительность фазы выдоха [2].

Приведенные методы анализа сердечно-сосудистой и дыхательной систем позволяют исследовать подсистемы кардиореспираторной системы по отдельности, но дают мало информации о ее функциональном состоянии в целом.

В данной работе предлагается использование метода оценки передаточной энтропии как способ оценки функционального состояния кардиореспираторной системы.

Энтропия переноса была разработана для определения направления передачи информации между двумя, вероятно взаимосвязанными, процессами [4]. Она может быть записана следующим образом:

$$T_{X \rightarrow Y} = H(y_i | y_{i-t}^{(l)}) - H(y_i | y_{i-t}^{(l)}, x_{i-t}^{(k)}) \\ = \sum_{y_i, y_{i-t}^{(l)}, x_{i-t}^{(k)}} p(y_i, y_{i-t}^{(l)}, x_{i-t}^{(k)}) \log \left( \frac{p(y_i | y_{i-t}^{(l)}, x_{i-t}^{(k)})}{p(y_i | y_{i-t}^{(l)})} \right),$$

где  $i$  – определенная точка временного ряда,  $\tau$  и  $t$  – временные задержки по  $X$  и  $Y$  соответственно,  $k$  и  $l$  – размер окон, охватывающих предыдущие значения по  $X$  и  $Y$  соответственно.

На практике сложность составляет оценка совместных вероятностей [5]. Наиболее распространенными методами являются метод с фиксированными ячейками, оценка плотности ядра и метод адаптивного разбиения. Но в данной работе будет применен метод оценки плотности ядра, поскольку он менее всех из предъявленных методов подвержен смещению результатов оценки совместной вероятности благодаря отсутствию ячеек [6].

В трехмерном пространстве  $y_i$ ,  $y_{i-t}$  и  $x_{i-t}$  совместная вероятность относительно выбранной точки может быть получена с помощью следующего выражения:

$$p(\tilde{y}_i, \tilde{y}_{i-t}, \tilde{x}_{i-t}) \\ \approx \frac{1}{P} \sum_{j=1}^P \frac{K\left(\frac{\tilde{y}_i - y_{t,j}}{h_{y_i}}\right) K\left(\frac{\tilde{y}_{i-t} - y_{i-t,j}}{h_{y_{i-t}}}\right) K\left(\frac{\tilde{x}_{i-t} - x_{i-t,j}}{h_{x_{i-t}}}\right)}{h_{y_i} h_{y_{i-t}} h_{x_{i-t}}},$$

где  $P$  – количество точек данных,  $h_{(\cdot)}$  – ширина полосы пропускания для точки, указанной в нижнем индексе. Для определения полосы пропускания было использовано следующее эмпирическое правило [5]:

$$h_{(\cdot)} = 1,06aP^{-\frac{1}{5}}\sigma,$$

где  $a$  – множитель масштаба;  $\sigma$  – стандартное отклонение точек в измерении.

В качестве ядра было выбрано широко используемое ядро Гаусса, которое записывается в следующем виде:

$$K(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-0,5u^2}.$$

В данной работе для распознавания R-зубцов на электрокардиограмме использовался метод Бальда. Выделение фаз дыхания выполнялось вручную. По ним строились интервалограммы (рис. 3).

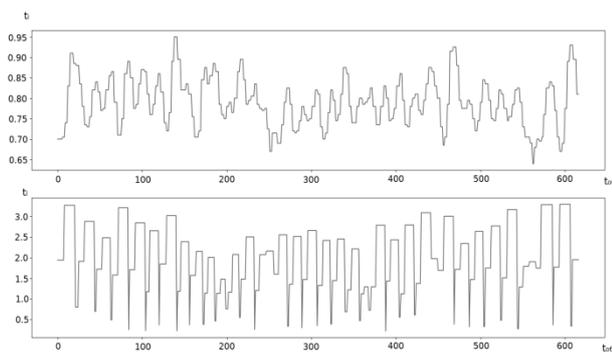


Рис. 3. Интервалограммы по ЭКГ и пневмограмме соответственно

На рис. 4 изображена зависимость значения энтропии переноса от ширины полосы пропускания для исходных данных.

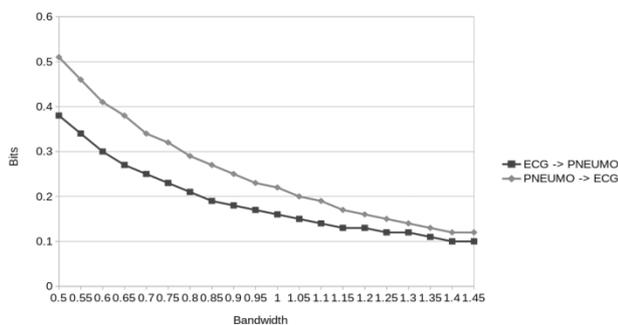


Рис. 4. Зависимость значения энтропии переноса от ширины полосы пропускания

Примеры пар значений энтропии переноса для некоторых величин ширины функции гаусовского ядра приведены на рис. 5, где над дугами указаны значения полученной энтропии переноса, а стрелочками – направление переноса информации от одного процесса к другому.

В данной работе был впервые рассмотрен способ вычисления энтропии переноса для интервального представления электрокардиограммы и пневмограммы. В пневмограмме для построения интервалограммы было использовано трехфазное представление дыхательного цикла [3]. Полученные соотношения энтропий переноса в двух разных направлениях показывают, что информации о длительности фаз дыхания в параметрах сердечной деятельности представлено больше, чем в обратном направлении. Это соответствует физиологическим представлениям о том, что на основании анализа параметров ЭКГ можно определить параметры дыхательной активности.

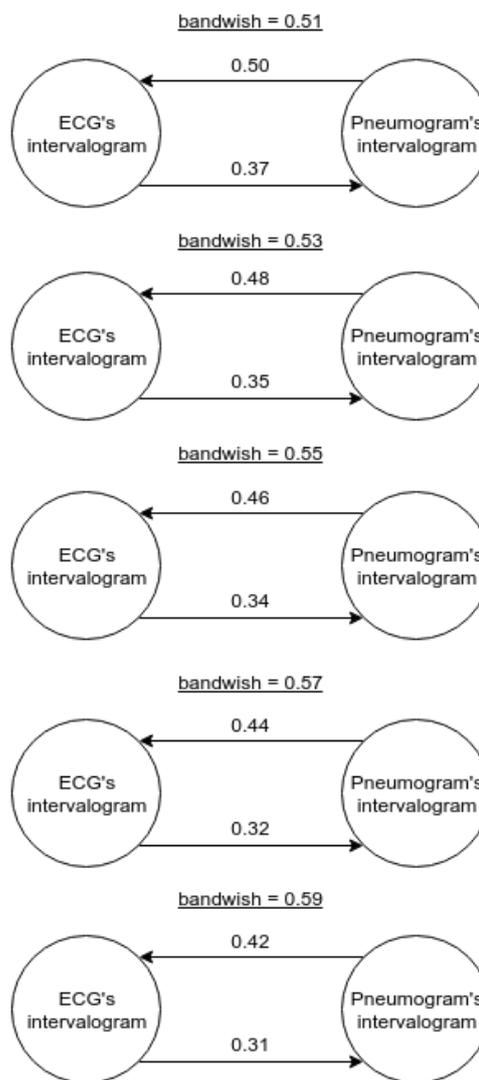


Рис. 5. Значения энтропии переноса для разных направлений и ширины полосы пропускания

При проведении исследования и непосредственных вычислений был выявлен такой недостаток данного метода, как вычислительное время. Незначительное изменение параметров может привести к существенному приросту времени на выполнение вычислений энтропии переноса. Поэтому для оптимизации данного алгоритма следует применять различные способы распараллеливания вычислений.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ВОЗ, 10 ведущих причин смерти в мире [ Электронный ресурс ]. URL: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs310/ru/> (дата посещения: 10.02.2019) [ WHO. 10 leading causes of death in the World [ Online ], (in Russian). Available: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs310/ru/> ]

2. **Струтынский А. В.** Электрокардиограмма: анализ и интерпретация 14-е изд. – М. : МЕДпресс-информ, 2012. – 224 с. [ A.V. Strutyński. *Electrocardiogram: analysis and interpretation*, (in Russian). Moscow: MED-press, 2012. pp. 224 ]

3. **Зулкарнеев Р. Х.** Кардиореспираторная вариабельность при заболеваниях органов дыхания: Автореф. дис. на соиск. степени доктора мед. наук. М., 2007. - 42с. [ R.H. Zulkarneev. *Cardiorespiratory variability in diseases of the respiratory system*, (in Russian). Moscow: Dissertations for the degree of Doctor of Science, 2007. pp. 42 ]

4. **Prokopenko, M., Lizier, J. T.** Transfer Entropy and Transient Limits of Computation // Scientific Reports 4. 2014, article number: 5394 [ Prokopenko, M., Lizier, J.T., *Transfer Entropy and Transient Limits of Computation*, Scientific Reports 4. 2014, article number: 5394 ]

5. **Lee Joon, et al.,** Transfer entropy estimation and directional coupling change detection in biomedical time series // BioMedical Engineering Online. 2012. pp. 11-19. [ Lee Joon, et al., *Transfer entropy estimation and directional coupling change detection in biomedical time series*, BioMedical Engineering Online. 2012., pp. 11-19. ]

6. **Deniz Gencaga, Kevin H. Knuth and William B. Rossow.** A Recipe for the Estimation of Information Flow in a Dynamical System // Entropy 2015, vol. 17, issue 1, pp. 438-470 [ Deniz Gencaga, Kevin H. Knuth and William B. Rossow. *A Recipe for the Estimation of Information Flow in a Dynamical System*. Entropy 2015, vol. 17, issue 1, pp. 438-470 ]

#### ОБ АВТОРАХ

**МУЛЛАЯНОВ Руслан Рустемович**, магистрант, каф. ТК.

**КРУЖКОВ Александр Сергеевич**, аспирант, каф. АСУ.

#### METADATA

**Title:** Method for assessing the relationship of pneumogram and electrocardiogram based on transfer entropy method

**Authors:** R. R. Mullayanov<sup>1</sup>, A. S. Krushkov<sup>2</sup>

**Affiliation:**

Ufa State Aviation Technical University (UGATU), Russia.

**Email:** <sup>1</sup> mullruslan@yandex.ru, <sup>2</sup> danteform@gmail.ru

**Language:** Russian.

**Source:** Molodezhnyj Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), no. 1 (20), pp. 119-122, 2019. ISSN 2225-9309 (Print).

**Abstract:** The method of transfer entropy is considered as one method for assessing the interrelation of cardiac and respiratory activities from electrocardiogram and pneumogram records.

**Key words:** transfer entropy; electrocardiogram; pneumogram; intervalogram; information entropy.

**About authors:**

**MULLAYANOV, Ruslan Rustemovich**, master student 2 year, Ufa state aviation technical University

**KRUSHKOV, Alexander Sergeevich**, postgraduate, Ufa state aviation technical University