

## Влияние динамических характеристик датчиков дыхания на оценку кардиореспираторной синхронизации у больных с заиканием

В. М. Бахилин<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт уха, горла, носа и речи, 190013, Санкт-Петербург, Россия  
(И. о. директора – докт. мед. наук, проф. С. А. Карпищенко)

## The effect of dynamic characteristics of respiratory sensors on the assessment of cardiorespiratory synchronization in the patients with stutter

V. M. Bakhilin<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Saint Petersburg Research Institute of Ear, Throat, Nose and Speech, Saint Petersburg, 190013, Russia

При оценке диагностических показателей, основанной на анализе одновременных измерений дыхания и ЭКГ, таких как кардиореспираторная синхронизация, используются различные типы датчиков. К числу наиболее часто используемых датчиков относятся термодатчики, преимуществами которых являются простота, возможность работы без специальных масок, что особенно важно в отоларингологии, так как часто необходимо бывает записывать речевое дыхание. Недостатком таких датчиков является инерционность, которую также необходимо учитывать при проведении исследований. Методы оценки кардиореспираторной синхронизации чувствительны к динамическим характеристикам датчиков дыхания. Оценить степень чувствительности методов синхронизации к динамическим характеристикам датчиков – основная цель данной работы. В настоящей работе исследуются динамические характеристики термодатчика дыхания ДДТ-4-20, наиболее часто используемого в медицинских исследованиях, и их влияние на показатели кардиореспираторной синхронизации. В качестве контрольного используется безынерционный датчик давления CJMCU-36. Сравниваются показатели кардиореспираторной синхронизации, рассчитанные по одновременным измерениям инерционным термодатчиком ДДТ-4-20 и безынерционным датчиком давления CJMCU-36. Было установлено, что инерционность тестируемого датчика незначительно нарушает отношение синхронизации, более существенно влияние инерционности датчика на количество и длины инспираторных цепочек.

**Ключевые слова:** инерционный датчик, безынерционный датчик, кардиореспираторная синхронизация.

**Для цитирования:** Бахилин В. М. Влияние динамических характеристик датчиков дыхания на оценку кардиореспираторной синхронизации у больных с заиканием. *Российская оториноларингология*. 2019;18(5):15–19. <https://doi.org/10.18692/1810-4800-2019-5-15-19>

Various types of sensors are used for assessment of diagnostic indicators based on the analysis of simultaneous measurements of respiration and ECG, such as cardiorespiratory synchronization. One of the most commonly used types of sensors is the thermal sensor, the advantages of which are the simplicity, the possibility to work without specialized masks, which is especially important in otolaryngology since it is often necessary to record speech breathing. The disadvantage of such sensors is the inertia, which should also be taken into consideration in the process of examination. The methods of cardiorespiratory synchronization assessment are sensitive to dynamic characteristics of respiratory sensors. To assess the degree of synchronization methods sensitivity to the dynamic characteristics of sensors is the main objective of this work. In this paper, we study the dynamic characteristics of the respiratory thermal sensor DDT-4-20, most commonly used in medical examinations, and its effect on cardiorespiratory synchronization parameters. An inertialess pressure sensor CJMCU-36 is used as a control device. The authors compare the cardiorespiratory synchronization indicators calculated by simultaneous measurements of inertial thermal sensor DDT-4-20 and inertialess pressure sensor CJMCU-36. It has been found that the inertia of the tested sensor slightly violates the synchronization ratio, the effect of the sensor inertia on the number and length of the inspiratory chains is more significant.

Keywords: inertial sensor, inertialess sensor, cardiorespiratory synchronization.

**For citation:** Bakhilin V. M. The effect of dynamic characteristics of respiratory sensors on the assessment of cardiorespiratory synchronization in the patients with stutter. *Rossiiskaya otorinolaringologiya*. 2019;18(5):15–19. <https://doi.org/10.18692/1810-4800-2019-5-15-19>

**Введение**

В отоларингологии показатели, основанные на анализе одновременных измерений дыхания и ЭКГ, используются при исследованиях заикания. При проведении обследований заикающихся пациентов в отделении патологии голоса и речи ФГБУ «Санкт-Петербургский НИИ ЛОР», использовался термодатчик дыхания ДДТ-4-20. Особенностью данного типа датчиков является их тепловая инерционность. Если для измерения частоты дыхания больших требований к техническим характеристикам датчиков дыхания не предъявляется, так как задача измерения частоты дыхания сводится только к выделению дыхательных циклов и их счету за единицу времени [1], то при оценке диагностических показателей, основанных на анализе одновременных измерений дыхания и ЭКГ, таких как кардиореспираторная синхронизация, технические характеристики датчиков дыхания, их динамические характеристики, необходимо учитывать.

В настоящей работе исследуется влияние динамических характеристик контактного термодатчика дыхания ДДТ-4-20 на показатели кардиореспираторной синхронизации. Сравниваются две синхрограммы, построенные по измерениям термодатчика ДДТ-4-20 и датчика давления, вдыхаемого (выдыхаемого) воздушного потока СЖМСУ-36.

Термодатчик ДДТ-4-20 представляет собой три терморезистора, соединенных параллельно, сопротивления которых зависят от температуры. Массы оболочки и самих сопротивлений создают инерционность термодатчиков при измерении температуры. Однако они часто используются на практике вследствие их простоты и удобства. Термодатчики можно использовать для записи речевого дыхания, так как искажения речи и дыхания при применении термодатчиков минимальны [2–4]. Датчики, измеряющие давление воздушного потока, безынерционные, однако при их применении необходимо использовать специальные маски.

**Цель исследования**

Оценить влияние динамических характеристик термодатчика ДДТ-4-20 на точность оценки кардиореспираторной синхронизации.

**Материалы и методы исследования**

Тестировался датчик дыхания ДДТ-4-20. Принцип его работы основан на изменении сопротивления при изменении температуры окружающей среды. Данные безынерционного датчи-

ка давления СЖМСУ-36 использовались в качестве контрольной записи. Для записи ЭКГ использовался датчик AD8232. Синхрограммы построены методом, предложенным в [5]. Для статистической обработки данных использовалась программная среда R, находящаяся в последнее время все более широкое применение [6].

**Результаты и обсуждение исследования**

Понятие фазовой синхронизации подразумевает появление выраженной взаимосвязи между фазами двух осцилляторов (дыхания и сердечного ритма), в то время как амплитуды могут быть некоррелированными. На участках выраженной взаимосвязи (эпохах синхронизации) выполняется условие  $|n\varphi_1(t) - m\varphi_2(t)| < \delta$ , где  $\varphi_{1,2}(t)$  – фазы сердечного ритма и дыхания [4, 5], соответственно;  $n, m$  – целые числа;  $\delta$  – малое число. Мерой синхронизации, как правило, является суммарная длительность эпох синхронизации, отнесенная к длительности всей записи; такая мера, естественно, зависит от выбора числа  $\delta$ .

В компьютер были записаны результаты измерений ЭКГ при одновременных измерениях дыхания датчиками ДДТ-4-20 и СЖМСУ-36. Средний период дыхания в записи составил 2,4 с, среднее отставание тестируемого датчика ДДТ-4-20 – 0,5 с, что составляет 21% от периода дыхания. Средний период сердечного ритма 0,75 с.

Разница между синхрограммами состоит в основном в сдвиге вверх синхрограммы, построенной по данным тестируемого датчика, относительно синхрограммы, построенной по данным контрольного датчика, приблизительно на 0,11 по углу  $\varphi_1$ . На обеих синхрограммах можно выделить эпохи синхронизации, включающие с 15-го по 18-й циклы дыхания, на которых для обеих синхрограмм выполняется условие:  $|n\varphi_1(t) - m\varphi_2(t)| < 0,015$ . Количественная оценка синхрограмм (равная, согласно [5], отношению суммарной длительности эпох синхронизации к общей длине записи) совпадает и равна 0,045. Как видно из таблицы и рис. 1 по количеству соотношений  $n : m$  синхрограммы также близки к друг к другу: количества наиболее часто встречающихся соотношений 3 : 1 и 4 : 1 различаются на 1,5 и 1,1 процента соответственно.

Однако имеются и существенные различия: во-первых, инерционность датчика нарушает отношение синхронизации. Так, на 11-м цикле дыхания на контрольной синхрограмме отмечено 4 сердечных удара, тогда как на тестируемой синхрограмме – 3 сердечных удара; на 13-м цикле дыхания наоборот: 3 сердечных удара на кон-

Таблица

Количество соотношений  $n : m$  в синхрограммах по измерениям дыхания контрольным и тестируемым датчиками

Table

The number of ratios  $n:m$  in synchrograms based on the respiration measurement with control and tested sensors

$n : m$	Контрольный датчик		Тестируемый датчик		Разница, %
	Количество	%	Количество	%	
2:1	10	9,26	8	7,48	1,78
3:1	70	64,81	71	66,36	1,54
4:1	24	22,22	25	23,36	1,14
5:1	3	2,78	0	0,00	2,78
6:1	1	0,93	3	2,80	1,88

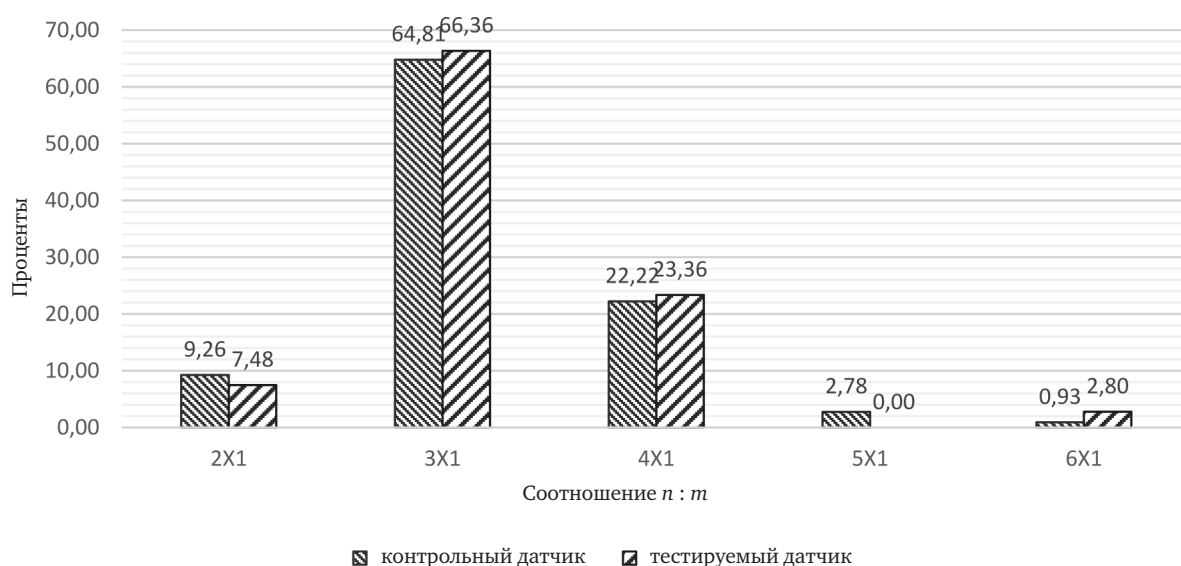


Рис. 1. Количество соотношений  $n : m$ , в процентах.

Fig. 1. The number of  $n : m$  ratios, percent.

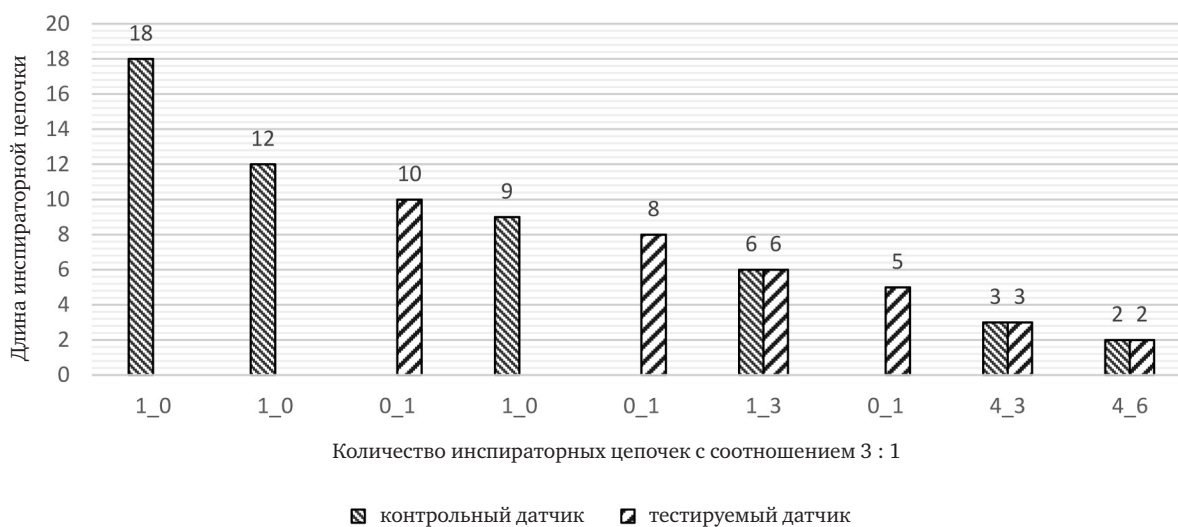


Рис. 2. Частоты встречаемости и длины инспираторных цепочек с соотношением 3 : 1.

Fig. 2. The rate of incidence and inspiratory chain length with the ratio 3 : 1.

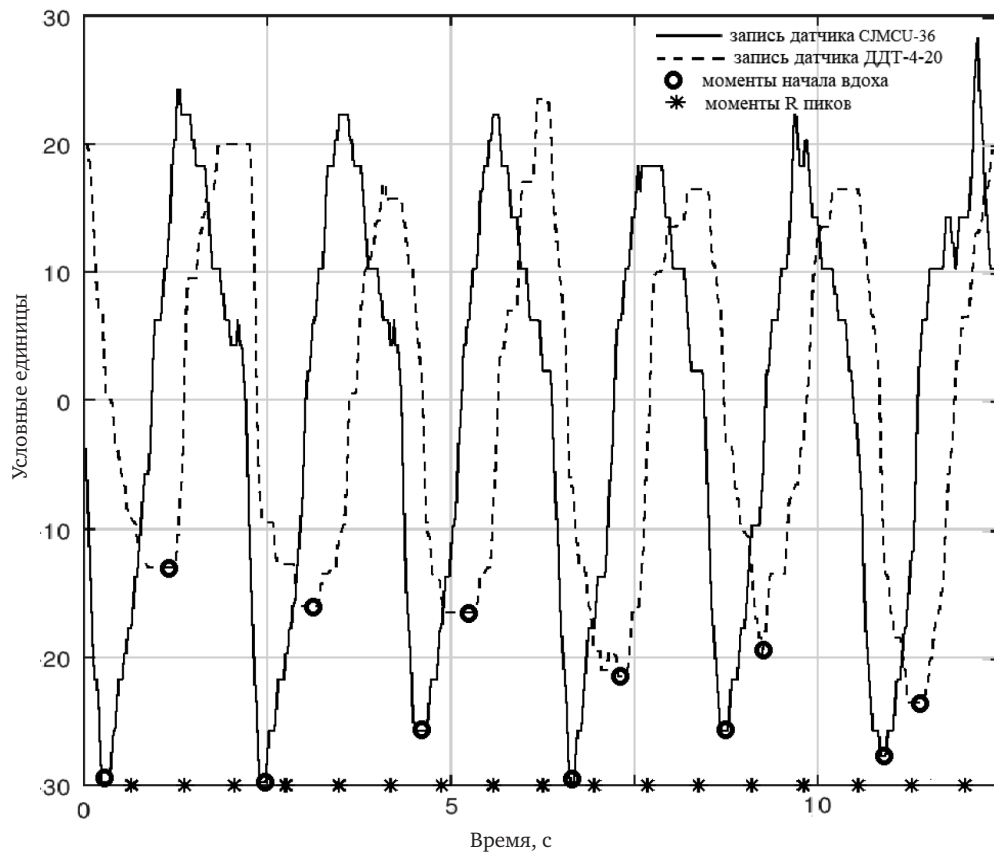


Рис. 3. Фрагмент одновременной записи дыхания двумя датчиками.  
 Fig. 3. A fragment of simultaneous record of respiration with two sensors.

трольной синхрограмме и 4 сердечных удара на испытуемой синхрограмме. Во-вторых, различны количества и длины инспираторных цепочек фиксированных соотношений  $n : m$ , и, в-третьих, в записях контрольного и тестируемого датчиков в 60 из 110 дыхательных циклов один и тот же сердечный удар принадлежит различным (соседним) дыхательным циклам. Для оценки различий сравним количество соотношений  $n : m$ , а также количество и длины инспираторных цепочек соотношений  $n : m$ .

Количество и длина инспираторных цепочек наиболее часто встречающихся соотношений  $n : m$  в двух синхрограммах иллюстрируются и рис. 2.

Этот рисунок демонстрирует разницу длин и частот встречаемости инспираторных цепочек 3 : 1 в синхрограммах, построенных по измерениям дыхания контрольным и тестируемым датчиками. В измерениях дыхания контрольного датчика длина цепочки достигает 18 и 12 циклов дыхания, тогда как в измерениях тестируемого датчика длина цепочки не превышает 10 дыхательных циклов.

Длины и частоты инспираторных цепочек соотношений 3 : 1 в контрольной и тестируемой синхрограммах различаются по критерию Стьюдента ( $p = 0,039$ ), что наглядно демонстрируется рис. 2.

На рис. 3 представлен фрагмент одновременной записи дыхания двумя датчиками и снизу звездочками отмечены моменты сердечных ударов. Заметно, что время запаздывания тестируемого датчика соизмеримо с RR-интервалами, а 5 из 6 сердечных ударов находятся на разных дыхательных циклах, измеренных различными датчиками.

При последовательном попадании (непопадании) R-пиков в интервал отставания тестируемого датчика нарушаются последовательность и длина инспираторных цепочек.

**Выводы**

Синхрограммы, построенные по одновременным записям ЭКГ и дыхания, одновременно измеряемого двумя датчиками, не различаются по количественной оценке.

Длины и частоты встречаемости инспираторных цепочек 3 : 1 в синхрограммах, построенных по измерениям дыхания контрольным и тестируемым датчиками, статистически значимо различаются по критерию Стьюдента ( $p < 0,05$ ).

Более половины (53%) R-пиков, близких по времени появления к точкам начал дыхательных циклов контрольной синхрограммы, оказались расположенными в предыдущих дыхательных циклах тестируемой синхрограммы.

Для синхрогаммы, построенной по данным контрольного датчика, соотношение дыхательных циклов с одинаковым  $n : m$  (3 : 1) в последовательности всех дыхательных циклов составила 59,1% (65 из 110 циклов). Для синхрогаммы, построенной по данным тестируемого датчика, соотношение дыхательных циклов с одинаковым  $n : m$  (3 : 1) в последовательности всех дыхательных циклов составила 56,4% (62 из 110 циклов).

### Заключение

Значительная инерционность тестируемого датчика нарушает отношение синхронизации. Еще более значительным может оказаться влияние инерционности на количество и длины инспираторных цепочек. Это необходимо учитывать при выборе датчика для обследования.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

---

### ЛИТЕРАТУРА

1. Divya S. Avalur, Marco Aiello, Human Breath Detection using a Microphone, Master's thesis August 30, 2013.
2. Корнеенков А. А., Бахилин В. М., Абдурахманов М. А., Сердюков С. В. Математико-статистические методы анализа кардиореспираторной координации у больных с заиканием. *Российская оториноларингология*. 2018; 5:50–57. doi: 10.18692/1810-4800-2018-5-50-57
3. Корнеенков А. А., Бахилин В. М., Абдурахманов М. А., Сердюков С. В. Анализ кардиореспираторной координации у больных с заиканием. *Русский медицинский журнал*. 2018;10:59–63. [https://www.rmj.ru/articles/otorinologiya/Analiz\\_kardiorespiratornoy\\_koordinacii\\_u\\_bolnyh\\_s\\_zaikaniem/](https://www.rmj.ru/articles/otorinologiya/Analiz_kardiorespiratornoy_koordinacii_u_bolnyh_s_zaikaniem/)
4. Reilly K. J., Moore C. A. Respiratory Sinus Arrhythmia during Speech Production. *J. Speech Lang Hear Res*. 2003 February; 46(1):164–177.
5. Schäfer C., Rosenblum M. G., Abel H. H., Kurths J. Synchronization in the human cardiorespiratory system. *Physical Review E*. 1999;60;1.
6. Корнеенков А. А. Визуализация мета анализа клинических исследований. *Российская оториноларингология*. 2019;1:8–15. doi: 10.18692/1810-4800-2019-1-8-15

### REFERENCES

1. Divya S. Avalur, Marco Aiello, Human Breath Detection using a Microphone, Master's thesis August 30, 2013.
2. Korneenkov A. A., Bakhilin V. M., Abdurakhmanov M. A., Serdyukov S. V. Mathematical and statistical methods for analyzing cardiorespiratory coordination in patients with stuttering. *Rossiiskaya otorinologiya*. 2018;5:50-57. (in Russ.). doi: 10.18692/1810-4800-2018-5-50-57
3. Korneenkov A. A., Bakhilin V. M., Abdurakhmanov M. A., Serdyukov S. V. Analysis of cardiorespiratory coordination in patients with stuttering. *Russkii meditsinskii zhurnal*. 2018;10:59-63. (in Russ.). [https://www.rmj.ru/articles/otorinologiya/Analiz\\_kardiorespiratornoy\\_koordinacii\\_u\\_bolnyh\\_s\\_zaikaniem/](https://www.rmj.ru/articles/otorinologiya/Analiz_kardiorespiratornoy_koordinacii_u_bolnyh_s_zaikaniem/)
4. Reilly K. J., Moore C. A. Respiratory Sinus Arrhythmia during Speech Production. *J. Speech Lang Hear Res*. 2003 February; 46(1):164–177.
5. Schäfer C., Rosenblum M. G., Abel H. H., Kurths J. Synchronization in the human cardiorespiratory system. *Physical Review E*. 1999;60;1.
6. Korneenkov A. A. Visualization meta analysis of clinical studies. *Rossiiskaya otorinologiya*. 2019;1:8-15. (in Russ.). doi: 10.18692/1810-4800-2019-1-8-15

---

### Информация об авторе

✉ **Бахилин Виктор Михайлович** – научный сотрудник лаборатории информатики и статистики, Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт уха, горла, носа и речи (190013, Россия, Санкт-Петербург, Бронницкая ул., д. 9); тел.: 8-921-973-06-62, e-mail: sc.victor.6219@gmail.com  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0116-9890>

### Information about author

✉ **Victor M. Bahilin** – research associate of the Laboratory of Informatics and Statistics, Saint Petersburg Research Institute of Ear, Throat, Nose and Speech (Russia, 190013, Saint Petersburg, 9, Bronnitskaia str.); tel.: 8-921-973-06-62, e-mail: sc.victor.6219@gmail.com  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0116-9890>