

Краткое сообщение

## Оценка периода медленных колебаний суммарного процента фазовой синхронизации контуров вегетативной регуляции кровообращения здоровых испытуемых в покое

Сказкина В.В.<sup>1</sup>, Боровкова Е.И.<sup>1</sup>, Кульминский Д.Д.<sup>1,2</sup>, Шварц В.А.<sup>3</sup><sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского», Саратов, Россия<sup>2</sup> Саратовский филиал Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН<sup>3</sup> ФГБУ «ННПССХ им. А.Н. Бакулева» Минздрава России, Москва, Россия

### Резюме

Изучена динамика суммарного процента фазовой синхронизации низкочастотной регуляции сердца и сосудов у 12 здоровых добровольцев в возрасте около 20 лет. Во время эксперимента испытуемый находился в положении сидя и дышал произвольно. Общая длина записи составляла 120 минут. Впервые выявлены колебания суммарного процента фазовой синхронизации с характерным периодом около 1000 секунд.

**Ключевые слова:** суммарный процент фазовой синхронизации, вегетативная регуляция, кровообращение, здоровые лица.

**Библиографическая ссылка:** Сказкина В.В., Боровкова Е.И., Кульминский Д.Д., Шварц В.А. Оценка периода медленных колебаний суммарного процента фазовой синхронизации контуров вегетативной регуляции кровообращения здоровых испытуемых в покое. *Кардио-ИТ* 2017; 4(1): e0103.

Поступила в редакцию 26 января 2017. Принята в печать 22 февраля 2017.

© 2017, Сказкина В.В., Боровкова Е.И., Кульминский Д.Д., Шварц В.А.

**Ответственный автор:** Шварц Владимир Александрович. Адрес для переписки: Отделение хирургического лечения интерактивной патологии, ФГБУ «ННПССХ им. А.Н. Бакулева» Минздрава России, 135, Рублевское шоссе, Москва, 121552, Россия. E-mail: shvartz.va@ya.ru.

Short report

## Estimation of the period of slow oscillations of the total percentage of phase synchronization of contours of vegetative regulation of blood circulation in healthy subjects at rest

Skazkina V.V.<sup>1</sup>, Borovkova E.I.<sup>1</sup>, Kulminsky D.D.<sup>1,2</sup>, Shvartz V.A.<sup>3</sup><sup>1</sup> Saratov State University n.a. N.G. Chernyshevsky, Saratov, Russia<sup>2</sup> Saratov Branch of the Institute of Radio Engineering and Electronics of Russian Academy of Sciences<sup>3</sup> Bakulev Scientific Center for Cardiovascular Surgery, Moscow, Russia

### Abstract

The dynamics of the total percentage of phase synchronization of low-frequency regulation of the heart and blood vessels was studied in 12 healthy volunteers at the age of about 20 years. During the experiment, the subject was sitting and breathing arbitrarily. The total length of the recording was 120 minutes. For the first time, fluctuations in the total percentage of phase synchronization with a characteristic period of about 1000 seconds are revealed.

**Keywords:** total percentage of phase synchronization, vegetative regulation, blood circulation, healthy individuals.

*Cite as* Skazkina VV, Borovkova EI, Kulminsky DD, Shvartz VA. Estimation of the period of slow oscillations of the total percentage of phase synchronization of contours of vegetative regulation of blood circulation in healthy subjects at rest. *Cardio-IT* 2017; 4(1): e0103.

Received 26 January 2017. Accepted 22 February 2017.

© 2017, Skazkina V.V., Borovkova E.I., Kulminsky D.D., Shvartz V.A.

**Corresponding author:** Vladimir A. Shvartz. Address: Department of Surgical Treatment for Interactive Pathology, Bakulev Scientific Center for Cardiovascular Surgery, 135, Rublevskoe shosse, Moscow, 410028, Russia. E-mail: shvartz.va@ya.ru.

### Введение

В функционировании сердечно-сосудистой системы (ССС) важную роль играют механизмы нервной и гуморальной регуляции, исследование взаимодействия которых является актуальной задачей современной физиологии. Внешними проявлениями функционирования подобных регуляторных механизмов является возникновение различных периодических процессов в биологических сигналах, регистрируемых в ССС [1].

Одним из перспективных методов исследования состояния вегетативной регуляции ССС является определение степени синхронизованности низкочастотных (с частотой около 0,1 Гц) колебательных процессов в сердечном ритме и

периферическом кровотоке. Для этой цели ранее был предложен новый показатель – суммарный процент фазовой синхронизации (индекс S) низкочастотных колебаний в вариабельности ритма сердца (ВРС) и фотоплетизмограмме (ФПГ) [2], который имеет потенциальную значимость для клинической кардиологии. В частности, было выявлено, что наиболее высокая степень синхронизации низкочастотных колебаний в сердечном ритме и периферическом кровотоке характерна для здоровых молодых людей, тогда как у пациентов, перенесших инфаркт миокарда, ее уровень был значительно ниже [3], что ассоциировалось с повышенным риском фатальных сердечно-сосудистых событий [4]. Возможности клинического использования индекса S изучались и у других категорий пациентов [5, 6].

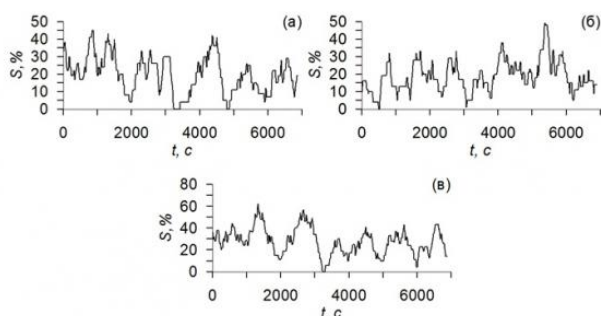


Рисунок 1. Зависимости индекса S от времени для ФПГ, регистрируемых с ноги (а), руки (б) и уха (в), у испытуемого №3.

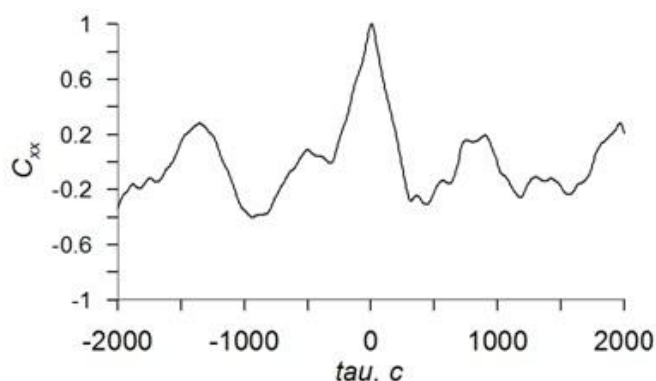


Рис. 2. Зависимость АКФ от времени сдвига для S(t).

Однако изучение свойств суммарного процента фазовой синхронизации низкочастотных колебаний в ССС до этого выполнялось только на коротких записях (около 10 минут) биологических сигналов [2-5]. Особый интерес вызывает медленная динамика колебаний данного вегетативного показателя, что требует регистрации многочасовых записей биологических сигналов. Помимо длительного эксперимента, анализ сигналов биологической природы, которым свойственна зашумленность, нестабильность и нелинейность, требует использования специальных подходов нелинейной динамики и статистики.

В данной работе медленная динамика суммарного процента фазовой синхронизации низкочастотных колебаний в ССС была исследована с помощью двухчасовых записей кардиоинтерваллограммы (КИГ) и фотоплетизмограммы (ФПГ). Подобные исследования могут дать фундаментальные представления об особенностях гуморальных влияний на систему вегетативной регуляции сердца и сосудов.

### Материал и методы

В ходе экспериментов была проведена синхронная запись кардиоинтерваллограммы (КИГ) и фотоплетизмограммы (ФПГ) сосудов у 12 добровольцев (5 женщин, 7 мужчин) в возрасте около 20 лет. Все испытуемые не имели каких-либо патологий ССС, а также других хронических заболеваний.

Регистрация КИГ и ФПГ проводилась при помощи многоканального электроэнцефалографа-анализатора ЭЭГА-21/26 «Энцефалан-131-03» модель 10 (НПКФ «Медиком-МДТ», Россия) с комплектом стандартных датчиков. Частота дискретизации составляла 250 Гц, разрядность – 14 бит, полоса пропускания по всем каналам 0,05-100 Гц. Общая длина

записи составляла 120 минут (2 часа). Каналы ФПГ регистрировали сигнал с трех участков тела испытуемого: дистальная фаланга безымянного пальца правой руки, дистальная фаланга второго пальца левой ноги и мочка правого уха.

Эксперименты проводили в первой половине дня. Исследования у девушек проводили в межменструальный период. Во время эксперимента испытуемый находился в положении сидя и дышал произвольно.

Периодичность медленных ритмов оценивали на основе автокорреляционных функций (АКФ).

### Результаты и обсуждение

В представленном исследовании в ходе анализа двухчасовых записей условно здоровых молодых людей в состоянии покоя была впервые выявлена значительная изменчивость степени фазовой синхронизации низкочастотных колебаний в хронотропной регуляции сердца и регуляции сосудистого тонуса во времени. Это явление проявляется в высокоамплитудных колебаниях зависимости от времени суммарного процента фазовой синхронизации – индекс S. Характерный период этих колебаний хорошо виден при визуальном анализе зависимостей S(t) (рисунок 1), составляя порядка 1000 секунд.

Для исследования периодичности полученных зависимостей была определена АКФ в диапазоне от -2000 до 2000 секунд. Данная мера позволила подтвердить колебания с периодом около 1000 секунд в динамике индекса S. В качестве примера на рисунке 2 представлена АКФ для одного из S(t).

Полученные результаты могут быть причиной изменения дизайна исследований индекса S в клинической практике. В частности, наличие медленных колебаний в 1000 и более секунд обуславливает необходимость увеличения продолжительности регистрации КИГ и ФПГ для оценки значений индекса S и выраженности его медленной динамики, обусловлено, возможно, гуморальной регуляцией кровообращения.

### Заключение

В ходе исследований динамики качества фазовой синхронизации низкочастотных колебаний в ВРС и ФПГ были впервые выявлены ее колебания с характерным периодом около 1000 секунд. Изучение механизмов, вызывающих появления таких осцилляций, является предметом дальнейших исследований.

### Конфликт интересов

Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ МД-3318.2017.7. и гранта РФФИ № 16-32-00326.

### Литература

1. Киселев А.Р., Гриднев В.И. Колебательные процессы в вегетативной регуляции сердечно-сосудистой системы. *Саратовский научно-медицинский журнал* 2011; 7(1): 34-39. <https://elibrary.ru/item.asp?id=16909949>.
2. Kiselev A.R., Karavaev A.S., Gridnev V.I., et al. Method of estimation of synchronization strength between low-frequency oscillations in heart rate variability and photoplethysmographic waveform variability. *Russ Open Med J* 2016; 5: e0101. <https://doi.org/10.15275/rusomj.2016.0101>.
3. Киселев А.Р., Беспятов А.Б., Посенкова О.М. и др. Внутренняя синхронизация основных 0,1 Гц-частотных ритмов в системе вегетативного управления сердечно-сосудистой системой.

- Физиология человека* 2007; 33(2): 69-75.  
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1748699>.
4. Киселев А.Р., Гриднев В.И., Караваев А.С. и др. Оценка пятилетнего риска летального исхода и развития сердечно-сосудистых событий у пациентов с острым инфарктом миокарда на основе синхронизации 0,1 Гц-ритмов в сердечно-сосудистой системе. *Саратовский научно-медицинский журнал* 2010; 6(2): 328-338. <https://elibrary.ru/item.asp?id=15279658>.
  5. Нейфельд И.В., Киселев А.Р., Караваев А.С. и др. Особенности показателей вегетативной регуляции кровообращения и вариабельности сердечного ритма у женщин в перименопаузе. *Анналы аритмологии* 2014; 11(2): 98-108. <http://dx.doi.org/10.15275/annaritmol.2014.2.4>.
  6. Киселев А.Р., Гриднев В.И., Караваев А.С. и др. Персонализация подхода к назначению гипотензивной терапии у больных артериальной гипертензией на основе индивидуальных особенностей вегетативной дисфункции сердечно-сосудистой системы. *Артериальная гипертензия* 2011; 17(4): 354-360. <https://elibrary.ru/item.asp?id=17023979>.

#### References

1. Kiselev AR, Gridnev VI. Oscillatory processes in vegetative regulation of cardiovascular system. *Saratov J Med Sci Res* 2011; 7(1): 34-39. Russian. <https://elibrary.ru/item.asp?id=16909949>.
2. Kiselev AR, Karavaev AS, Gridnev VI, et al. Method of estimation of synchronization strength between low-frequency oscillations in heart rate variability and photoplethysmographic waveform variability. *Russ Open Med J* 2016; 5: e0101. <https://doi.org/10.15275/rusomj.2016.0101>.
3. Kiselev AR, Bespyatov AB, Posnenkova OM, et al. Internal synchronization of the main 0.1-Hz rhythms in the autonomic control of the cardiovascular system. *Human Physiology* 2007; 33(2): 188-193. <http://dx.doi.org/10.1134/S0362119707020089>.
4. Kiselev AR, Gridnev VI, Karavaev AS, et al. Evaluation of five-year risk of lethal outcome and development of cardiovascular disorders in patients with acute myocardial infarction on basis of 0.1-Hz rhythms synchronization in cardiovascular system. *Saratov J Med Sci Res* 2010; 6(2): 328-338. Russian. <https://elibrary.ru/item.asp?id=15279658>.
5. Neufeld IW, Kiselev AR, Karavaev AS, et al. Peculiarities of indexes of autonomic regulation of blood circulation and heart rate variability in perimenopausal women. *Annaly Aritmologii* 2014; 11(2): 98-108. Russian. <http://dx.doi.org/10.15275/annaritmol.2014.2.4>.
6. Kiselev AR, Gridnev VI, Karavaev AS, et al. Individual approach to antihypertensive drug selection in hypertensive patients based on individual features of autonomic cardiovascular dysfunction. *Arterial Hypertension* 2011; 17(4): 354-360. Russian. <https://elibrary.ru/item.asp?id=17023979>.

#### Информация об авторах:

**Сказкина Виктория Викторовна** – студент магистратуры, кафедра динамического моделирования и биомедицинской инженерии, ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского», Саратов, Россия. <http://orcid.org/0000-0001-9380-8292>.

**Боровкова Екатерина Игоревна** – ассистент, кафедра динамического моделирования и биомедицинской инженерии, ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского», Саратов, Россия. <http://orcid.org/0000-0002-9621-039X>.

**Кульминский Данил Дмитриевич** – научный сотрудник, Саратовский Филиал Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, Саратов, Россия. <http://orcid.org/0000-0002-3936-2813X>.

**Шварц Владимир Александрович** – канд. мед. наук, научный сотрудник, Отделение хирургического лечения интерактивной патологии, ФГБУ «ННПЦСХ им. А.Н. Бакулева» Минздрава России, Москва, Россия. <http://orcid.org/0000-0002-8931-0376>.

#### Authors:

**Viktorii V. Skazkina** – MS student, Department of Dynamic Modeling and Biomedical Engineering, Saratov State University n.a. N.G. Chernyshevsky, Saratov, Russia. <http://orcid.org/0000-0001-9380-8292>.

**Ekaterina I. Borovkova** – Assistant, Department of Dynamic Modeling and Biomedical Engineering, Saratov State University n.a. N.G. Chernyshevsky, Saratov, Russia. <http://orcid.org/0000-0002-9621-039X>.

**Danil D. Kulminsky** – Research Fellow, Saratov Branch of the Institute of Radio Engineering and Electronics. V.A. Kotelnikov RAS, Saratov, Russia. <http://orcid.org/0000-0002-3936-2813X>.

**Vladimir A. Shvartz** – MD, PhD, Researcher, Department of Surgical Treatment for Interactive Pathology, Bakulev Scientific Center for Cardiovascular Surgery, Moscow, Russia. <http://orcid.org/0000-0002-8931-0376>.