

Краткое сообщение

Исследование корреляции между высоко- и низкочастотными колебаниями, выделенными из кардиоинтерваллограмм и фотоплетизмограмм

Сказкина В.В.¹, Ишбулатов Ю.М.¹, Киселев А.Р.^{2,3}¹ ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского», Саратов, Россия² ФГБУ «ННПЦССХ им. А.Н. Бакулева» Минздрава России, Москва, Россия³ ФГБОУ ВО Саратовский ГМУ им. В.И. Разумовского Минздрава России, Саратов, Россия

Резюме

Целью настоящей работы является исследование корреляции индекса синхронизации низкочастотных колебаний в кардиоинтерваллограммах (КИГ) и фотоплетизмограммах (ФПГ) и спектральных оценок (мощность высоко- и низкочастотных составляющих) данных сигналов в ходе двухчасовых записей. Была проведена синхронная двухчасовая запись КИГ и пальцевой ФПГ у 23 здоровых добровольцев в возрасте около 20 лет. Показано сложное нелинейное взаимодействие между высоко- и низкочастотными колебаниями в вегетативной регуляции кровообращения.

Ключевые слова: кардиоинтерваллограмма, фотоплетизмограмма, низкочастотные колебания, высокочастотные колебания.

Библиографическая ссылка: Сказкина В.В., Ишбулатов Ю.М., Киселев А.Р. Исследование корреляции между высоко- и низкочастотными колебаниями, выделенными из кардиоинтерваллограмм и фотоплетизмограмм. *Кардио-ИТ* 2017; 4(2): e0203.

Поступила в редакцию 21 марта 2017. Принята в печать 26 мая 2017.

© 2017, Сказкина В.В., Ишбулатов Ю.М., Киселев А.Р.

Ответственный автор: Киселев Антон Робертович. Адрес для переписки: НИИ кардиологии, 141, ул. Чернышевского, г. Саратов, 410028, Россия.

E-mail: kiselev@cardio-it.ru

Short report

Investigation of the correlation between high- and low-frequency oscillations isolated from cardiointervalograms and photoplethysmograms

Skazkina V.V.¹, Ishbulatov Y.M.¹, Kiselev A.R.^{2,3}¹ Saratov State University n.a. N.G. Chernyshevsky, Saratov, Russia² Bakulev Scientific Center for Cardiovascular Surgery, Moscow, Russia³ Saratov State Medical University n.a. V.I. Razumovsky, Saratov, Russia

Abstract

The aim of this paper is to investigate the correlation of the index of synchronization of low-frequency oscillations in cardiointervalograms (CIG) and photoplethysmograms (PPG) and spectral estimates (power of high- and low-frequency components) of these signals during two-hour recording. A synchronous two-hour recording of CIG and digital PPG was performed in 23 healthy volunteers at the age of about 20 years. A complex nonlinear interaction between high and low frequency oscillations in vegetative regulation of circulation was shown.

Keywords: cardiointervalogram, photoplethysmogram, low-frequency oscillations, high-frequency oscillations.

Cite as Skazkina VV, Ishbulatov YM, Kiselev AR. Investigation of the correlation between high- and low-frequency oscillations isolated from cardiointervalograms and photoplethysmograms. *Cardio-IT* 2017; 4(2): e0203.

Received 21 March 2017. Accepted 26 May 2017.

© 2017, Skazkina V.V., Ishbulatov Y.M., Kiselev A.R.

Corresponding author: Anton R. Kiselev. Address: Research Institute of Cardiology, 141, Chernyshevsky str., Saratov, 410028, Russia.

E-mail: kiselev@cardio-it.ru

Введение

Изучение функционального взаимодействия регуляторных систем кровообращения является актуальным направлением развития медицины в последние годы. Ранее был предложен показатель для оценки качества взаимодействия низкочастотных (НЧ) механизмов вегетативной регуляции кровообращения – суммарный процент фазовой синхронизации (индекс S) [1]. Расчет данного показателя основан на количественной оценке фазовой синхронизации колебаний с частотой 0.5-0.15 Гц, выделяемых из синхронных записей кардиоинтерваллограммы (КИГ) и фотоплетизмограммы (ФПГ). Было показано, что исследуемые

НЧ-колебания, характеризующие вегетативную регуляцию разных отделов сердечно-сосудистой системы (ССС), могут спорадически демонстрировать длительные участки фазовой синхронизации. Количественная оценка данных участков с помощью предложенного индекса S показала свою потенциальную перспективность для развития методов клинической диагностики [2, 3]. Корреляция динамики индекса S и спектральных составляющих КИГ и ФПГ в течение длительного времени ранее не изучались.

Целью настоящей работы является исследование корреляции индекса S и спектральных оценок КИГ и ФПГ в ходе двухчасовых записей.

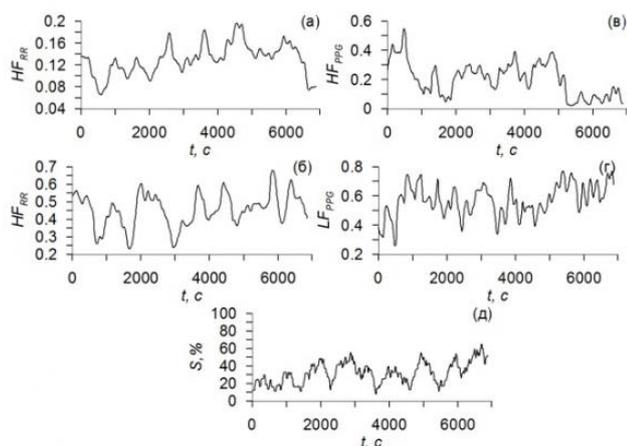


Рисунок 1. Зависимости (а) – HFRR(t), (б) – LFRR(t), (в) – HFPPG(t), (г) – LFPPG(t), (д) – S(t) для испытуемого №6.

Материал и методы

В ходе экспериментов была проведена синхронная запись КИГ и пальцевой ФПГ у 23 условно здоровых добровольцев в возрасте около 20 лет, обладающих средним уровнем физической активности. Регистрация биологических сигналов проводилась при помощи многоканального электроэнцефалографа-анализатора ЭЭГА-21/26 "Энцефалан-131-03" модель 10 (НПКФ «Медиком-МТД», Россия) с комплектом стандартных датчиков. Продолжительность каждой записи составляла 120 минут. Частота дискретизации записи составляла 250 Гц.

Исследование проводилось в утренние часы (9.00-12.00), что позволило исключить влияние суточных колебаний в вегетативной регуляции ССС на результаты. Во время эксперимента человек находился в положении сидя. Дыхание испытуемого было произвольным.

Для исследования динамики колебаний уровня синхронизованности НЧ-колебаний по длительным двухчасовым записям КИГ и ФПГ индекс S оценивали в скользящих окнах длиной 300 секунд, со сдвигом окна в 10 секунд.

НЧ-колебания в КИГ и ФПГ выделялись с помощью полосовой фильтрации [0,05; 0,15] Гц. Предварительно КИГ была аппроксимирована кубическими сплайнами и ресемплирована до частоты дискретизации 5 Гц. Фильтрованный сигнал ФПГ прореживался до частоты дискретизации 5 Гц.

Спектральный анализ КИГ и ФПГ позволил определить различные временные показатели variability сердечного ритма и variability периферического кровотока. В общем случае в Фурье-спектрах этих сигналов можно различить характерные пики на частоте 0,3 Гц, 0,1 Гц и <0,05 Гц.

В настоящей работе рассматривались колебания, относящиеся к НЧ-области спектров. Для выделения этих составляющих variability сердечного ритма и ФПГ использовался прямоугольный цифровой полосовой фильтр с полосой пропускания 0,05-0,15 Гц. Исследование частотных составляющих сигнала были направлены на определение низкочастотных (LF) и высокочастотных (HF) составляющих.

Для полученных 23 записей был проведен расчет S(t) и следующих спектральных составляющих: LF_{КИГ}(t), HF_{КИГ}(t), LF_{ФПГ}(t) и HF_{ФПГ}(t). Типичные зависимости рассчитанных показателей представлены на рисунке 1.

Для того чтобы ответить на вопрос, насколько высокоамплитудные модуляции индекса S во времени определяются низкочастотной динамикой ритмов в LF и HF диапазонах, проводились исследования корреляций S(t) попарно с LF_{КИГ}(t), HF_{КИГ}(t), LF_{ФПГ}(t) и HF_{ФПГ}(t): C_{LF-КИГ}(τ), C_{HF-КИГ}(τ), C_{LF-ФПГ}(τ) и C_{HF-ФПГ}(τ).

Расчет C(τ) осуществлялся независимо от значения τ по участку реализации фиксированной длины 3000 секунд, что позволило исключить влияние на оцениваемую величину взаимных корреляционных функций при оценке коэффициентов на больших (относительно длины реализаций) лагах.

Результаты

В ходе анализа полученных корреляционных взаимодействий удалось найти подтверждение реципрокному характеру отношений HF и LF частотных составляющих в сигналах КИГ на нулевом или близком к 0 лаге.

Интересным наблюдением было наличие в 5 случаях (33% для C_{LF-КИГ}(τ) и 30% для C_{LF-ФПГ}(τ)) отрицательных корреляций S(t) с LF_{КИГ}(t) и S(t) с LF_{ФПГ}(t), т.е. падение интенсивности колебаний в LF-диапазоне сопровождалось увеличением степени синхронизации S(t).

Также интересен факт наличия больших значимых корреляций обоих знаков суммарного процента фазовой синхронизации с колебаниями спектральной мощности КИГ и ФПГ в HF-диапазоне, который по построению не перекрывается по частоте с ритмами, используемыми для расчета S(t).

Заключение

Полученные результаты могут являться подтверждением сложного нелинейного взаимодействия между LF и HF-колебаниями в ССС.

Конфликт интересов

Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ МД-3318.2017.7.

Литература

1. Киселев А.Р., Караваяев А.С., Гриднев В.И. и др. Метод оценки степени синхронизации низкочастотных колебаний в variability ритма сердца и фотоплетизмограмме. *Кардио-IT* 2016; 3(1): e0101. <http://dx.doi.org/10.15275/cardioit.2016.0101>.
2. Киселев А.Р., Гриднев В.И., Караваяев 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>.
3. Киселев А.Р., Гриднев В.И., Караваяев 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, Karavaev AS, Gridnev VI, et al. Method of assessment of synchronization between low-frequency oscillations in heart rate variability and photoplethysmogram. *Cardio-IT* 2016; 3(1): e0101. <http://dx.doi.org/10.15275/cardioit.2016.0101>.
2. 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>.
3. 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>.

Ишбулатов Юрий Михайлович – студент магистратуры, кафедра динамического моделирования и биомедицинской инженерии, ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского», Саратов, Россия. <http://orcid.org/0000-0003-2871-5465>.

Киселев Антон Робертович – докт. мед. наук; научный сотрудник, Отделение хирургического лечения интерактивной патологии, ФГБУ «ННПЦССХ им. А.Н. Бакулева» Минздрава России, Москва, Россия; ведущий научный сотрудник, Отдел продвижения новых кардиологических информационных технологий, Научно-исследовательский институт кардиологии, ФГБОУ ВО Саратовский ГМУ им. В.И. Разумовского Минздрава России, Саратов, Россия. <http://orcid.org/0000-0003-3967-3950>.

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>.

Yurii M. Ishbulatov – MS student, Department of Dynamic Modeling and Biomedical Engineering, Saratov State University n.a. N.G. Chernyshevsky, Saratov, Russia. <http://orcid.org/0000-0003-2871-5465>.

Anton R. Kiselev – MD, DSc; Researcher, Department of Surgical Treatment for Interactive Pathology, Bakulev Scientific Center for Cardiovascular Surgery, Moscow, Russia; Leading Researcher, Department of New Cardiologic Informational Technologies, Research Institute of Cardiology, Saratov State Medical University n.a. V.I. Razumovsky, Saratov, Russia. <http://orcid.org/0000-0003-3967-3950>.