

Медико-биологические проблемы

ID: 2012-08-7-A-1619

Оригинальная статья

Киселев А.Р.¹, Караваев А.С.², Гриднев В.И.¹, Посненкова О.М.¹, Пономаренко В.И.³, Прохоров М.Д.³, Хорев В.С.², Астахов О.В.², Безручко Б.П.², Миронов С.А.⁴

Динамика синхронизованности подсистем вегетативной регуляции ритма сердца и артериального давления на фоне двухчасовой иммобилизации в горизонтальном положении у здоровых лиц

¹ ФГБУ Саратовский НИИ кардиологии Минздрава России, Центр продвижения новых кардиологических информационных технологий

² ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского», факультет нано- и биомедицинских технологий, базовая кафедра динамического моделирования и биомедицинской инженерии

³ Саратовский филиал Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН

⁴ ФГУ Центральный Клинический Военный госпиталь ФСБ России

Kiselev A.R.¹, Karavaev A.S.², Gridnev V.I.¹, Posnenkova O.M.¹, Ponomarenko V.I.³, Prokhorov M.D.³, Khorev V.S.², Astakhov O.V.², Bezruchko B.P.², Mironov S.A.⁴

Dynamics of synchronization of autonomic regulation of heart rate and blood pressure in healthy subjects during two-hour immobilization test with horizontal position of body

¹ Saratov Research Institute of Cardiology, Saratov, Russia

² Saratov State Medical University, Saratov, Russia

³ Saratov Branch of the Institute of Radio Engineering and Electronic of Russian Academy of Sciences, Saratov, Russia

⁴ Central Clinical Military Hospital of Russian FSB, Moscow, Russia

Резюме

Цель – изучение динамики синхронизованности 0,1 Гц-колебаний в кардиоинтерваллограмме (КИГ) и фотоплетизмограмме (ФПГ) и спектральных оценок вариабельности сердечного ритма (ВСР) на фоне двухчасовой иммобилизации в горизонтальном положении у здоровых лиц. **Материал и методы:** В исследование было включено 17 практически здоровых лиц (6 мужчин и 11 женщин) в возрасте 29±5 лет. Всем испытуемым была проведена двухчасовая иммобилизационная проба в положении лежа. Вычислялся суммарный процент синхронизованности 0,1 Гц-колебаний в КИГ и ФПГ (S) и мощность высоко- (HF) и низкочастотного (LF) диапазонов спектра ВСР на каждом 10-минутном интервале пробы. **Результаты:** Было выделено две подгруппы испытуемых, статистически значимо различающиеся по значениям показателя S в течение первых 100 минут пробы. При этом подгруппы имели сопоставимую динамику показателя S относительно его исходных значений, а также уровень спектральных оценок ВСР. **Заключение:** В первые 100 минут иммобилизации у всех испытуемых наблюдаются однотипные адаптационные реакции в регуляции кровообращения, независимо от значительной индивидуальной изменчивости абсолютных значений синхронизованности 0,1 Гц-колебаний в КИГ и ФПГ.

Ключевые слова: вегетативная регуляция, ритм сердца, фотоплетизмограмма, 0,1 Гц-колебания, синхронизация, иммобилизационная проба.

Abstract

Objective: This study evaluates the changes in synchronization between 0.1 Hz-rhythms in R-R intervals (RRI) of electrocardiogram and photoplethysmogram (PPG) and the changes in spectral indexes of heart rate variability (HRV) as response to the two-hour immobilization test in healthy subjects. **Methods:** The study included 17 healthy subjects (6 men and 11 women) aged 29±5 years. The signals of RRI and PPG were simultaneously recorded during the two-hour immobilization test (horizontal position of body). Degree S of synchronization between 0.1-Hz rhythms in RRI and PPG and power of low-frequency (LF) range and high-frequency (HF) range of HRV were calculated during the two-hour immobilization test. **Results:** Two groups of subjects matched for individual dynamics of S and power of HRV ranges were identified on the basis of the degree S within the 100 minutes of test. **Conclusion:** The same type of adaptation in autonomic regulation of cardiovascular system was observed in all healthy subjects during the 100 minutes of immobilization, regardless of the individual variability of synchronization between 0.1-Hz rhythms in RRI and PPG.

Key words: autonomic regulation, heart rate, blood pressure, photoplethysmogram, 0.1 Hz-rhythms, synchronization, immobilization test.

Введение

В наших предшествующих работах было показано потенциальное значение изучения взаимодействия подсистем вегетативной регуляции частоты сердечных сокращений (ЧСС) и артериального давления (АД), обуславливающих появление 0,1 Гц-колебаний в кардиоинтерваллограмме (КИГ) [1-2] и фотоплетизмограмме (ФПГ) [3-5], для клинической кардиологии [6-10]. Были также изучены биофизические основы взаимодействия указанных подсистем [8]. Выявлено, что в норме 0,1 Гц-колебания в КИГ и ФПГ значительную часть времени находятся в состоянии фазовой и частотной синхронизации [9], тогда как снижение уровня их синхронизованности свидетельствует о функциональном разобщении данных регуляторных подсистем и развитии системной вегетативной дисфункции, что характерно для пациентов с сердечно-сосудистыми заболеваниями, в частности, инфарктом миокарда, артериальной гипертензией [9-10]. Диагностическая ценность показателя синхронизованности 0,1 Гц-колебаний в КИГ и ФПГ, относительно общепринятых показателей вариабельности сердечного ритма (ВСР), уже заслуживших признание во всем мире, обусловлена системностью получаемых оценок. При этом изучение физиологических свойств явления синхронизации

подсистем вегетативной регуляции ЧСС и АД остается актуальной задачей. Целью данного исследования являлось изучение динамики синхронизованности 0,1 Гц-колебаний в КИГ и ФПГ и спектральных оценок ВСР на фоне двухчасовой иммобилизации в горизонтальном положении у здоровых лиц.

Материал и методы

Была исследована динамика синхронизованности 0,1 Гц-колебаний в КИГ и ФПГ и спектральных оценок ВСР у 17 практически здоровых добровольцев (6 мужчин и 11 женщин) в возрасте 29 ± 5 лет в ходе проведения функциональной пробы с двухчасовой иммобилизацией.

Иммобилизационная функциональная проба заключалась в нахождении испытуемого в неподвижном состоянии в положении лежа в течение двух часов, при этом не допускались даже минимальные движения частями тела. Проба проводилась в период с 13 до 17 часов. Во время пробы дыхание у всех обследованных было произвольным.

В ходе иммобилизационной пробы производилась синхронная регистрация КИГ и ФПГ с дистальной фаланги указательного пальца при помощи многоканального электроэнцефалографа-анализатора ЭЭГА-21/26 "Энцефалан-131-03" модель 10 (НПКФ «МедиКом-МТД», Россия) с комплектом стандартных датчиков. Регистрация сигналов производилась с частотой 250 Гц при 12-ти разрядном разрешении. Отбирались записи сигналов КИГ и ФПГ, не содержащие помех, экстрасистол, заметного линейного тренда и переходных процессов.

Для последующего анализа все записи КИГ и ФПГ были разделены на фрагменты продолжительностью 10 минут, т.е. на 12 фрагментов для каждого испытуемого.

Спектральные оценки ВСР получали при помощи параметрического метода построения спектра КИГ на основе авторегрессионной модели. Программа анализа спектра ВСР, разработанная в Саратовском НИИ кардиологии (Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 980656 от 12 ноября 1998 года), обеспечивает разрешение по частоте 0,01 Гц в диапазоне от 0,0002 Гц до 0,5 Гц, период квантования массива RR-интервалов – 0,5 сек. Для анализа выделялись высокочастотный (HF: 0,15-0,4 Гц) и низкочастотный (LF: 0,04-0,15 Гц) диапазоны спектра [11], в которых вычислялась частотная мощность спектра.

Для оценки синхронизованности 0,1 Гц-колебаний в КИГ и ФПГ также использовалась разработанная нами методика (Патент на изобретение № 2374986 от 10.12.2008), подробно описанная в [12] и реализованная в соответствующей программе для ЭВМ (Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2008613908 от 15.08.2008). В результате вычислений получали общую длительность всех участков синхронизации указанных 0,1 Гц-колебаний выражали его в процентах от длительности анализируемого фрагмента записи, – определяли суммарный процент синхронизации S. С помощью такого показателя мы характеризовали относительное время синхронизации подсистем вегетативной регуляции ЧСС и АД.

В качестве оценки индивидуальной динамики изучаемых показателей в ходе иммобилизационной пробы использовалась разница между их значениями на каждом из десятиминутных фрагментов (10-20 минута, 20-30, 30-40, 40-50, 50-60, 60-70, 70-80, 80-90, 90-100, 100-110, 110-120 минута) и исходным значением (первые 10 минут записи).

Статистическую обработку данных выполняли при помощи программного пакета «Statistica 6.1». Сравнения переменных выполнялись при помощи критерия парных сравнений Вилкоксона. Выделение подгрупп производилось на основе кластерного анализа. Данные представлены в виде медианы и значений квартильного диапазона, – Me (25%; 75%). Надежность используемых статистических оценок принималась не менее 95%.

Результаты и обсуждение

Исходно (первые 10 минут функциональной пробы) в исследуемой группе здоровых лиц были зарегистрированы следующие значения изучаемых показателей вегетативной регуляции сердечно-сосудистой системы:

- показатель синхронизации 0,1 Гц-ритмов S – 22,2 (15,9; 41,6) %,
- мощность LF диапазона спектра ВСР – 402 (209; 648) мс^2 ,
- мощность HF диапазона спектра ВСР – 481 (166; 715) мс^2 ,
- средний уровень ЧСС – 69 (60; 73) уд/мин.

При кластерном анализе индивидуальных особенностей динамики показателя S в ходе двухчасовой иммобилизационной пробы было выделено две подгруппы испытуемых, статистически значимо различающиеся по значениям показателя S в течение первых 100 минут пробы (рисунок). При этом первая подгруппа (выделена белым цветом на рисунке; 9 человек, из них 6 женщин) характеризуется значимо более высокими значениями показателя S, относительно второй (выделена серым цветом на рисунке; 8 человек, из них 5 женщин). После 100-й минуты иммобилизации значения показателя синхронизованности 0,1 Гц-колебаний в КИГ и ФПГ становятся сопоставимыми в выделенных подгруппах.

Отметим, что выделенные подгруппы испытуемых имели сопоставимый уровень индивидуальной изменчивости значений показателя S в ходе пробы в течение первых 100 минут пробы, относительно его исходного уровня. При этом индивидуальная динамика значений показателя S между каждыми 10-минутными фрагментами пробы также была сопоставима. Таким образом, нет доказательств о статистически значимой связи между общей закономерностью динамики показателя S в ходе иммобилизационной пробы и его исходными значениями в течение первых 100 минут пробы. Однако очевидно, что в течение указанного периода времени испытуемые сохраняют характерный для их подгруппы уровень значений показателя синхронизованности 0,1 Гц-колебаний.

Выделенные подгруппы не различались по абсолютным значениям и динамике уровня ЧСС, а также мощности LF и HF диапазонов спектра ВСР в течение всей двухчасовой иммобилизационной пробы.

Полученные результаты свидетельствуют о значительной индивидуальной изменчивости показателя синхронизованности 0,1 Гц-колебаний в КИГ и ФПГ среди здоровых лиц, проявляющееся широким диапазоном от минимального до максимального его значений (см. рисунок). Тем не менее, показано, что для испытуемых с исходно более низким исходным уровнем показателя S характерны более низкие его значения, относительно альтернативной подгруппы, в течение практически всей иммобилизационной пробы. Можно предположить, что в состоянии покоя (в положении лежа) для каждого человека в норме присущ индивидуальный уровень активности взаимодействия подсистем вегетативной регуляции ЧСС и АД. При этом лица с более

высокими значениями указанного показателя имеют и большой диапазон его изменчивости, что может быть обусловлено повышенной активностью регуляторных процессов у них в покое. На данный момент невозможно сделать заключения относительно того, какой тип вегетативного статуса в покое соответствует абсолютному здоровью. Вероятно, выявленная индивидуальная изменчивость уровня активности взаимодействия подсистем вегетативной регуляции ЧСС и АД характеризует особенности вегетативного статуса у лиц различных конституциональных типов. Однако данный вопрос требует дальнейшего изучения.

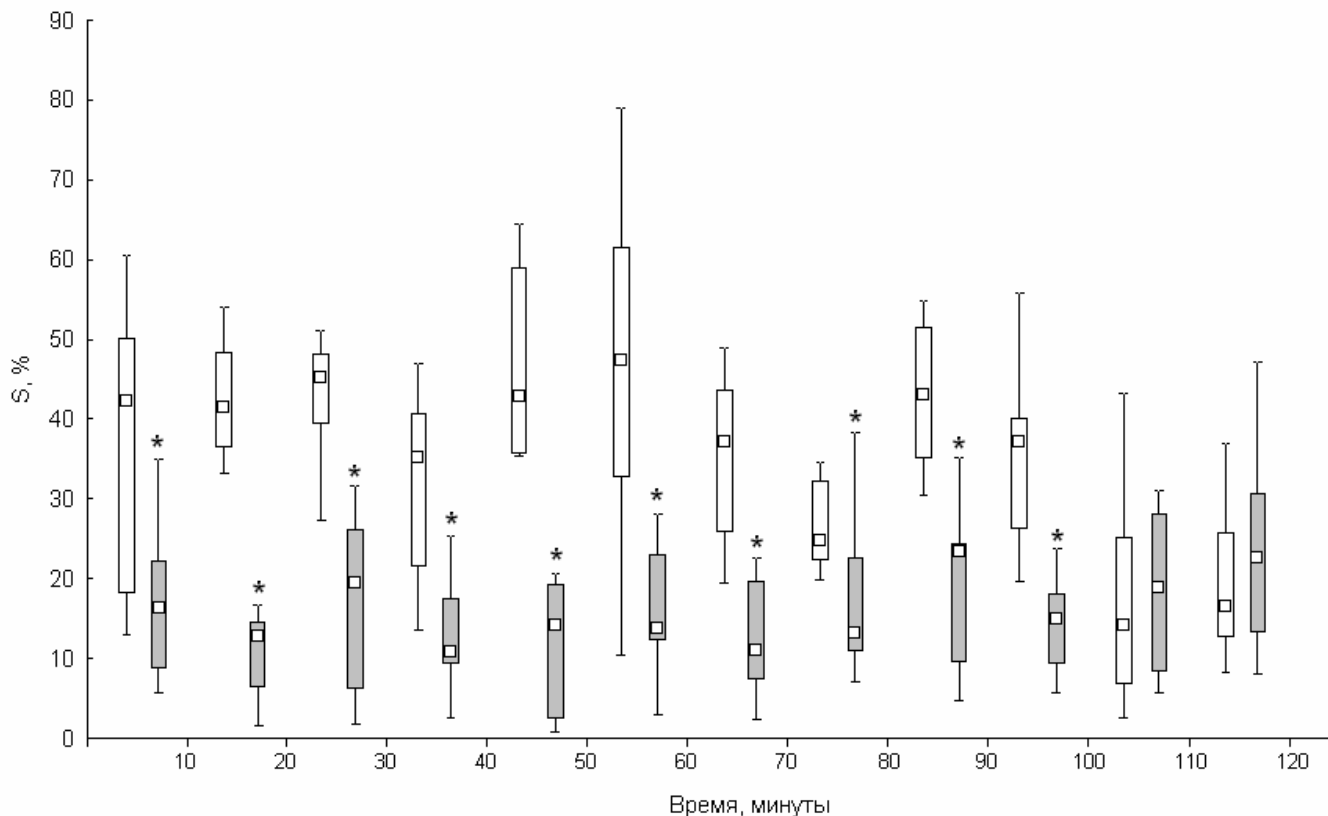


Рис. Динамика значений показателя S в двух подгруппах испытуемых (белый и серый фон), выделенных в результате кластерного анализа. Примечание: * - статистически значимые ($p < 0,05$) отличия от альтернативной подгруппы.

Представляет интерес наблюдение, что обе подгруппы испытуемых имели сопоставимую направленность динамики показателя S в течение первых 100 минут иммобилизации. Это может свидетельствовать в целом об однотипности адапционных реакций в ответ на продолжительную иммобилизацию, независимо от исходного уровня синхронизованности 0,1 Гц-колебаний в КИГ и ФПГ. После 100-й минуты нахождения в неподвижном состоянии значения показателя S у лиц с исходно более высокими его значениями снижаются до уровня, сопоставимого со второй подгруппой.

Можно предположить, что более низкий базовый уровень синхронизованности подсистем вегетативной регуляции ЧСС и АД, характерный для испытуемых, выделенных на рисунке серым цветом, может рассматриваться как наиболее физиологичный для горизонтальной позиции тела, с точки зрения соотношения активности регуляторных процессов и адапционных потребностей сердечно-сосудистой системы. Данная гипотеза требует дальнейших исследований. Присутствие лиц с достаточно низким базовым уровнем синхронизованности 0,1 Гц-колебаний в КИГ и ФПГ обуславливает в целом достаточно низкие значения показателя S в среднем по группе (значения приведены в начале раздела «Результаты и обсуждения»).

Необходимо отметить, что показатель синхронизованности 0,1 Гц-колебаний в КИГ и ФПГ позволяет оценивать функциональную целостность вегетативной регуляции сердечно-сосудистой системы, тогда как общепринятые показатели ВСР изучают преимущественно состояние вегетативной регуляции только сердца.

Заключение

Среди здоровых лиц наблюдается значительная индивидуальная изменчивость значений показателя синхронизованности 0,1 Гц-колебаний в КИГ и ФПГ, характеризующего взаимодействие подсистем вегетативной регуляции ЧСС и АД. Однако в первые 100 минут иммобилизации у всех испытуемых наблюдаются однотипные системные адапционные реакции, но с сохранением значений показателя синхронизованности на уровне, близком к исходному. После 100-й минуты иммобилизации значения указанного показателя у всех здоровых лиц стабилизируются на относительно низком уровне, являющегося предположительно наиболее оптимальным для поддержания адекватности вегетативной регуляции кровообращения при минимальном уровне активности регуляторных механизмов.

Литература

1. Cooley R.L., Montano N., Cogliati C., van de Borne P., Richenbacher W., Oren R., Somers V.K. Evidence for a Central Origin of the Low-Frequency Oscillation in RR-Interval Variability // *Circulation* 1998; 98: 556-561.
2. De Boer R.W., Karemaker J.M., Stracker J. Hemodynamic fluctuations and baroreflex sensitivity in humans: a beat-to-beat model // *Am J Physiol* 1987; 253(3): 680-689.
3. Higgins J. L., Fronek A. Photoplethysmographic Evaluation of the Relationship between Skin Reflectance and Skin Blood Volume // *Journal of Biomedical Engineering* 1986; 8(2): 130-136.
4. Rhee S., Yang B-H, Asada H. Theoretical Evaluation of the Influence of Displacement on Finger Photoplethysmography for Wearable Health Monitoring Sensors // *ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, Symposium on Dynamics, Control, and Design of Biomechanical Systems*. Nashville, Tennessee, November 14-19, 1999.
5. Крупаткин А.И., Сидорова В.В. Лазерная доплеровская флоуметрия микроциркуляции крови. Практическое руководство. / М.: Издательство Медицина. 2005. 18 С.
6. Kiselev A.R., Gridnev V.I., Prokhorov M.D., Karavaev A.S., Posnenkova O.M., Ponomarenko V.I., Bezruchko B.P. Selection of optimal dose of beta-blocker treatment in myocardial infarction patients based on changes in synchronization between 0.1-Hz oscillations in heart rate and peripheral microcirculation // *Journal of Cardiovascular Medicine* 2012; 13(8): 491-498.
7. Kiselev A.R., Gridnev V.I., Prokhorov M.D., Karavaev A.S., Posnenkova O.M., Ponomarenko V.I., Bezruchko B.P., Shvartz V.A. Evaluation of 5-Year Risk of Cardiovascular Events in Patients after Acute Myocardial Infarction Using Synchronization of 0.1-Hz Rhythms in Cardiovascular System // *Ann Noninvasive Electrocardiol* 2012; 17(3): 204–213.
8. Киселев А.Р., Хорев В.С., Гриднев В.И., Прохоров М.Д., Караваев А.С., Посненкова О.М., Пономаренко В.И., Безручко Б.П., Шварц В.А. Взаимодействие 0,1 Гц-колебаний в вариабельности ритма сердца и вариабельности кровенаполнения дистального сосудистого русла // *Физиология человека* 2012; 38(3): 92-99.
9. Kiselev A.R., Gridnev V.I., Karavaev A.S., Posnenkova O.M., Prokhorov M.D., Ponomarenko V.I., Bezruchko B.P. The Dynamics of 0.1 Hz Oscillations Synchronization in Cardiovascular System during the Treatment of Acute Myocardial Infarction Patients // *Applied Medical Informatics* 2011; 28(1): 1-8.
10. Киселев А.Р., Гриднев В.И., Караваев А.С., Посненкова О.М., Прохоров М.Д., Пономаренко В.И., Безручко Б.П. 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.
11. Heart Rate Variability. Standarts of Measurement, Physiological Interpretation and Clinical Use // *Circulation* 1996; 93: 1043-1065.
12. Karavaev A.S., Prokhorov M.D., Ponomarenko V.I., Kiselev A.R., Gridnev V.I., Ruban E.I., Bezruchko B.P. Synchronization of low-frequency oscillations in the human cardiovascular system // *Chaos* 2009; 19: 033112.