

V Всероссийский симпозиум и III Международная



**МЕДЛЕННЫЕ
КОЛЕБАТЕЛЬНЫЕ
ПРОЦЕССЫ
В ОРГАНИЗМЕ
ЧЕЛОВЕКА**

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ
И ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ
НЕЛИНЕЙНОЙ ДИНАМИКИ
В ФИЗИОЛОГИИ
И МЕДИЦИНЕ**



Новокузнецк 2007

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ МЕДИЦИНСКИХ НАУК

СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ

ФИЛИАЛ ГУ СО РАМН “КУЗБАССКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР”

**ГУ НИИ КОМПЛЕКСНЫХ ПРОБЛЕМ ГИГИЕНЫ И
ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ**

**ГОУ ДПО “НОВОКУЗНЕЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ИНСТИТУТ
УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ВРАЧЕЙ РОСЗДРАВА”**

**ДЕПАРТАМЕНТ ОХРАНЫ ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ АДМИНИСТРАЦИИ
КЕМЕРОВСКОЙ ОБЛАСТИ**

ОАО СМО “СИБИРЬ”

**МЕДЛЕННЫЕ КОЛЕБАТЕЛЬНЫЕ
ПРОЦЕССЫ В ОРГАНИЗМЕ
ЧЕЛОВЕКА**

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ
НЕЛИНЕЙНОЙ ДИНАМИКИ В ФИЗИОЛОГИИ И
МЕДИЦИНЕ**

**МАТЕРИАЛЫ V ВСЕРОССИЙСКОГО СИМПОЗИУМА С МЕЖДУНАРОДНЫМ
УЧАСТИЕМ И ШКОЛЫ-СЕМИНАРА**

15-18 МАЯ 2007

Новокузнецк 2007

СИНХРОНИЗАЦИЯ НИЗКОЧАСТОТНЫХ РИТМОВ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ

*Безручко Б.П.¹, Караваяев А.С.¹, Пономаренко В.И.², Прохоров М.Д.², Гриднев В.И.³,
Киселев А.Р.³, Посненкова О.М.³*

¹*Саратовский государственный университет, г. Саратов*

²*Саратовский филиал Института радиотехники и электроники РАН, г. Саратов*

³*Саратовский НИИ кардиологии МЗ РФ, г. Саратов*

Резюме

Цель. Изучение синхронизации ритмических процессов с частотой 0,1 Гц, выделенных из ритмограмм и пульсограмм здоровых людей и пациентов с острым инфарктом миокарда.

Материалы и методы. Исследовано 8 мужчин в возрасте 20-34 лет без признаков сердечной патологии и 32 пациента с острым инфарктом миокарда (21 мужчина и 11 женщин) в возрасте 41-80 лет. Выполнялась одновременная регистрация электрокардиограммы, пульсограммы и механической записи дыхания в положении лежа в течение 10 минут при спонтанном дыхании. У пациентов с инфарктом миокарда записи проводились дважды - на первой и третьей неделе течения заболевания. Ритмический процесс с частотой 0,1 Гц выделялся из ряда RR - интервалов и пульсограмм с помощью полосовой фильтрации. Затем вычислялась фаза колебаний обоих процессов. Диагностика синхронизации ритмов проводилась на основе анализа динамики разности их фаз.

Основные результаты. Выявлены высокие значения параметров синхронизации 0,1 Гц-ритмов у здоровых людей. У пациентов с острым инфарктом миокарда обнаружено значительное снижение качества синхронизации 0,1 Гц-ритмов, причем за период с первой по третью неделю течения заболевания наблюдается повышение качества синхронизации ритмов под действием лечебно-реабилитационных мероприятий. Однако показатели синхронизации на третьей неделе течения инфаркта миокарда остаются значительно ниже таковых у здоровых людей.

Заключение. Параметры синхронизации 0,1 Гц-ритмов сердечно-сосудистой системы могут быть использованы в качестве независимого критерия эффективности проводимых лечебно-реабилитационных мероприятий у пациентов, находящихся на лечении по поводу острого инфаркта миокарда.

Ключевые слова: синхронизация, 0,1 Гц-ритмы, сердечно-сосудистая система.

SYNCHRONIZATION OF LOW-FREQUENCY RHYTHMS OF CARDIOVASCULAR SYSTEM

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

¹*Saratov State University, Saratov*

²*Institute of Radio Engineering and Electronics of RAS, Saratov Branch, Saratov*

³*Saratov Institute of Cardiology, Saratov*

Summary

The aim of the paper is investigation of synchronization between rhythmic processes with the frequency 0,1 Hz extracted from heart rate variability data and pulsograms of healthy subjects and patients after acute myocardial infarction.

Materials and methods. Eight healthy men aged 20-34 years and 32 patients (21 men and 11 women) aged 41-80 years after acute myocardial infarction (AMI) were studied. The electrocardiograms, pulsograms and mechanical records of respiration were simultaneously measured in the lying position within 10 minutes under spontaneous breathing. The signals for patients after AMI were recorded twice: at the first and the third week after AMI. The rhythmic process with the frequency 0,1 Hz was extracted from the sequence of RR - intervals and pulsograms using bandpass filtration. Then the phase of oscillations for the both processes was calculated. The presence of synchronization between the rhythms was detected from the analysis of their phase difference behavior.

Main results. It is revealed that healthy subjects have high values of synchronization between the rhythmic processes with the frequency 0,1 Hz. The patients after acute myocardial infarction demonstrate low values of synchronization. The duration of synchronization regions in patients after 3 weeks after AMI increases in comparison with the same patients during the first week after AMI. However, the duration of synchronization regions remains significantly lower than in healthy subjects.

Conclusion. The parameters of synchronization between the cardiovascular system rhythms with the frequency 0,1 Hz can be used as independent criterion for the control of the treatment efficiency for patients after AMI.

Key words: synchronization, 0,1 Hz-rhythms, cardiovascular system.

Введение

При анализе variability сердечного ритма (BCP) в клинической практике широко используются линейные методы, которые показали свою значимость и легли в основу создания определенных стандартов интерпретации показателей BCP [1]. Однако в настоящее время все большее внимание уделяется изучению нелинейных оценок variability сердечного ритма, которые оказываются во многих случаях более эффективными по сравнению с классическими линейными методами [5]. Известно, что в сердечно-сосудистой системе человека выявляются несколько основных колебательных процессов [6], при этом, согласно современным представлениям о функционировании сложных систем [3], данные ритмические процессы могут быть синхронизованы между собой [4, 8, 9]. Под понятием синхронизации в этом случае понимается процесс подстройки частот и фаз ритмов автоколебательных процессов в результате их взаимодействия.

Одним из основных ритмов в сердечно-сосудистой системе человека являются почти периодические колебания с частотой около 0,1 Гц, выявляемые как в сердечном ритме, так и в колебаниях артериального давления [2, 6], что свидетельствует об участии данных колебаний в функционировании всей сердечно-сосудистой системы. Считается, что данный колебательный процесс характеризует свойства центрального звена вегетативного управления сердечно-сосудистой системой [7]. Изучение параметров синхронизации данного ритмического процесса, выделяемого из сердечного ритма, с тем же процессом, выделяемым из пульсограммы, может представлять определенный интерес с точки зрения клинической практики.

Целью данной работы являлось изучение синхронизации ритмических процессов с частотой 0,1 Гц, выделенных из ритмограмм и пульсограмм здоровых людей и пациентов с острым инфарктом миокарда, а также оценка перспектив использования данного метода в клинической практике.

Материалы и методы исследования

В исследование было включено две группы испытуемых: 8 добровольцев (23 записи) мужского пола в возрасте от 20 до 34 лет без признаков сердечной патологии и 32 пациента с ишемической болезнью сердца (21 мужчина и 11 женщин) в возрасте от 41 до 80 лет, находившихся на стационарном лечении в клинике Саратовского НИИ кардиологии по поводу острого инфаркта миокарда. Все испытуемые дали добровольное согласие на включение их в данное исследование.

Диагноз острого инфаркта миокарда основывался на следующих критериях: 1) приступ ишемических болей продолжительностью более 30 минут; 2) характерные изменения на электрокардиограмме (ЭКГ) в виде типичного подъема сегмента S-T и возможного появления патологического зубца Q; 3) повышение уровня специфических сердечных ферментов в крови. Всем пациентам с инфарктом миокарда было проведено полное клиническое обследование. В данной группе у 19 человек было выявлено появление патологического зубца Q, по данным электрокардиографии, а у 13 человек был зарегистрирован неQ-инфаркт миокарда. Признаки обширного инфаркта имелись у 7 пациентов.

Всем испытуемым выполнялась одновременная регистрация ЭКГ, пульсограммы и механической записи дыхания в горизонтальном положении тела. Продолжительность каждой записи составляла 10 минут. Регистрация сигналов производилась с частотой 250 Гц при 16 - разрядном разрешении. Во время регистрации сигналов дыхание у всех испытуемых было произвольным. В группе пациентов с острым инфарктом миокарда вышеуказанные записи проводились непосредственно впервые 3-5 дней с момента наступления инфаркта, а также на третьей неделе течения заболевания. Записи у всех испытуемых выполнялись в период с 1300 до 1600.

Из произведенных записей ЭКГ мы получали информацию о variability сердечного ритма. Для выделения ритмического процесса с частотой около 0,1 Гц мы проводили фильтрацию последовательности RR - интервалов, устраняя высокочастотные колебания ($>0,15$ Гц), связанные преимущественно с дыханием, и очень низкочастотные колебания ($<0,05$ Гц). После осуществления такой полосовой фильтрации мы вычисляли фазу ϕ_1 0,1 Гц-колебательного процесса в записи RR - интервалов, используя преобразование Гильберта [8]. Аналогичным образом проводилась фильтрация пульсограмм полосовым фильтром с полосой пропускания 0,05-0,15 Гц и с помощью преобразования Гильберта определялась фаза ϕ_2 0,1 Гц-колебательного процесса в пульсограмме.

Наличие синхронизации между ритмами с частотой около 0,1 Гц, выделенными из последовательности RR - интервалов и из пульсограммы, мы определяли, вычисляя разность фаз $\varphi = \phi_1 - \phi_2$, где φ - обобщенная разность фаз, или относительная фаза [9]. При выполнении условия $|\varphi - C| < const$, где C - некоторая константа, имеет место фазовая синхронизация. При этом на графике зависимости относительной фазы от времени имеется участок, на котором φ колеблется около некоторого постоянного значения. По графику разности фаз мы подсчитывали общую длительность всех участков синхронизации, то есть время, на протяжении которого ритмы были синхронизованы, и выражали ее в процентах от длительности всей записи.

Рассчитанный таким способом показатель мы назвали суммарным процентом фазовой синхронизации S . С его помощью мы характеризовали степень синхронизации между ритмами с частотой около 0,1 Гц в сигнале пульсограммы и variability сердечного ритма.

Для анализа отбирались записи сигналов ЭКГ и пульсограмм, не содержащие помех, экстрасистол, заметного линейного тренда и переходных процессов.

Результаты исследования

В ходе обработки результатов исследования не было выявлено статистически значимых различий по изучаемым параметрам синхронизации в группе больных с острым инфарктом миокарда в зависимости от пола, возраста, Q или не Q-типа инфаркта миокарда, а также обширности повреждения миокарда, что согласуется с данными других исследований.

При анализе полученных данных выявлены достоверные ($p < 0,001$) различия между группой здоровых испытуемых и группой пациентов с острым инфарктом миокарда по показателям синхронизации 0,1 Гц-колебаний, выделенных из ритмограммы и пульсограммы.

На рисунке 1 показана функция распределения суммарного процента фазовой синхронизации S исследуемых ритмов по всем записям здоровых людей. Величина S принимала значения от 55% до 100%, а ее среднее значение равнялось 83%. Для пациентов, перенесших инфаркт миокарда, суммарный процент фазовой синхронизации ритмов принимал значения от 8% до 62% и имел среднее значение 26%. Функция распределения величины S по всем записям пациентов с инфарктом миокарда (на первой и третьей неделях после инфаркта) тоже показана на рисунке 1. Как видно из графика, области распределения суммарного процента фазовой синхронизации для каждой из групп почти не перекрываются.

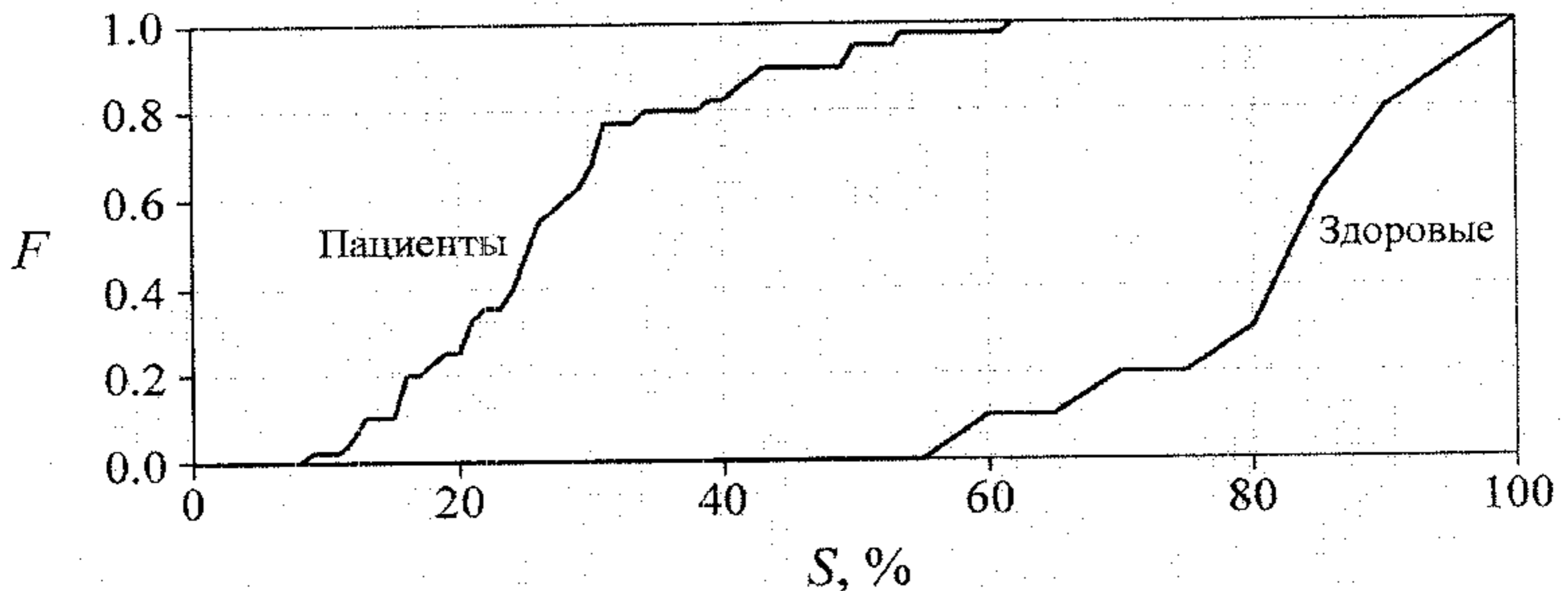


Рис. 1. Функции распределения суммарного процента фазовой синхронизации S между ритмами с частотой около 0,1 Гц, выделенными из рядов RR-интервалов и пульсограмм здоровых людей (линия справа) и пациентов, перенесших инфаркт миокарда, (линия слева)

При последующем анализе записей пациентов с острым инфарктом миокарда в зависимости от срока регистрации (записи, сделанные в течение первой недели острого инфаркта миокарда, и записи, выполненные на третьей неделе течения заболевания) выявлены значимые различия по величине параметров синхронизации.

На рисунке 2 приведены функции распределения величины S для больных, перенесших инфаркт миокарда, построенные по записям, сделанным в течение первой недели острого инфаркта миокарда, и записям, выполненным для тех же пациентов на третьей неделе течения заболевания. Суммарный процент фазовой синхронизации, рассчитанный по записям, сделанным в течение первых 3-5 дней с момента наступления инфаркта, принимал значения от 8% до 50% при среднем значении 21%. Для записей, выполненных на третьей неделе течения заболевания, величина S принимала значения от 17% до 62% при среднем значении 31%.

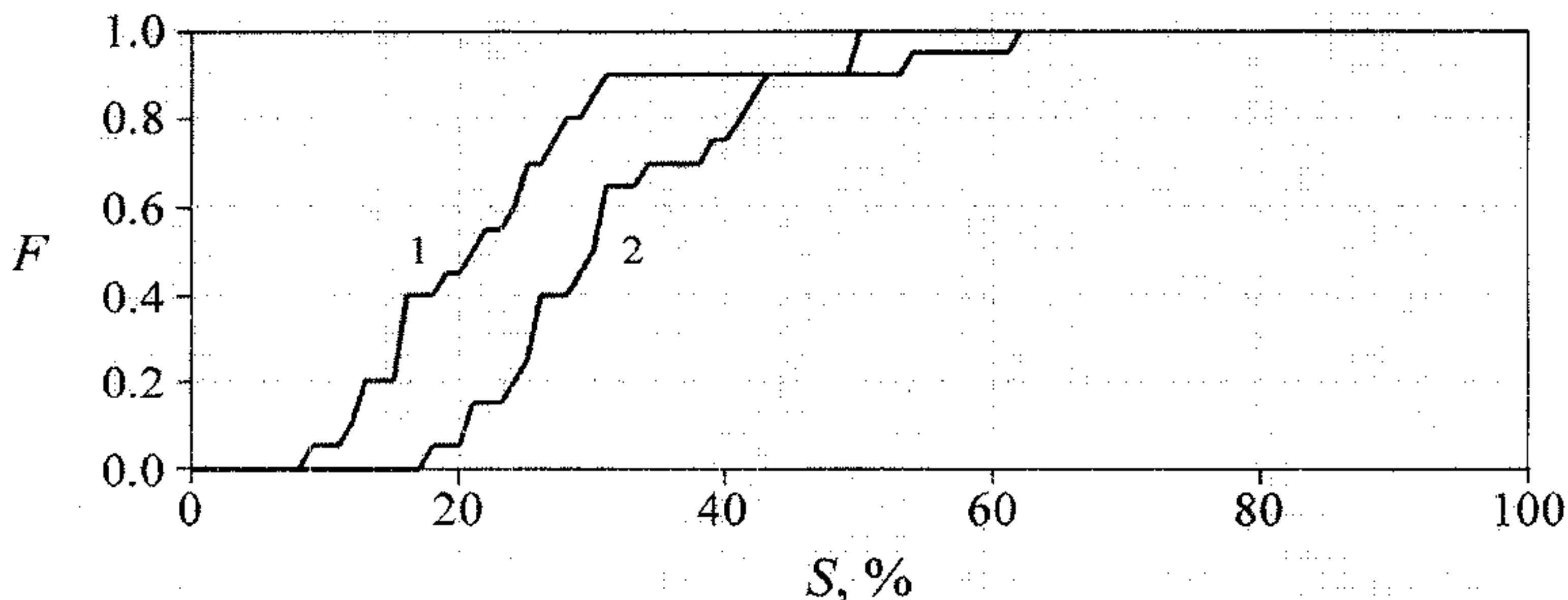


Рис.2. Функции распределения суммарного процента фазовой синхронизации S между ритмами с частотой около $0,1$ Гц, выделенными из рядов RR - интервалов и пульсограмм пациентов, перенесших инфаркт миокарда 3-5 дней назад (линия 1), и тех же пациентов через 3 недели после инфаркта (линия 2)

Обсуждение

На основании полученных данных можно утверждать, что у здорового человека $0,1$ Гц-колебания в вариабельности сердечного ритма и сигнале пульсограммы хорошо синхронизованы между собой. Это свидетельствует о качественном функциональном взаимодействии механизмов регуляции сердечного ритма и кровяного давления, что обеспечивает хорошие адаптационные возможности сердечно-сосудистой системы.

Согласно полученным нами данным, значения параметров синхронизации $0,1$ Гц-ритмов в вариабельности сердечного ритма и колебаниях кровяного давления связаны с тяжестью сердечно-сосудистой патологии, при этом наблюдается резкое снижение качества синхронизации в группе пациентов с острым инфарктом миокарда по сравнению с группой здоровых людей. На основании данного наблюдения можно утверждать, что несмотря на сохранение $0,1$ Гц-периодики в механизмах управления сердечным ритмом и уровнем артериального давления, происходит значительное функциональное разобщение данных механизмов регуляции. Таким образом, значительно нарушаются адаптационные возможности сердечно-сосудистой системы, происходит разрушение нормальных функциональных взаимосвязей между различными механизмами сердечно-сосудистого контроля.

При изучении синхронизации $0,1$ Гц-ритмов у пациентов с острым инфарктом миокарда в динамике получено, что за период с первой по третью неделю течения заболевания происходит статистически достоверное повышение качества синхронизации $0,1$ Гц-колебаний в сердечно-сосудистой системе по среднему суммарному проценту фазовой синхронизации практически у всех пациентов, что свидетельствует о постепенном восстановлении функциональных взаимосвязей между данными ритмами, в том числе и под действием лечебно-реабилитационных мероприятий. Тем не менее, показатели синхронизации S на третьей неделе течения инфаркта миокарда остаются значительно ниже таковых у здоровых людей. На основании этого мы полагаем, что параметры синхронизации $0,1$ Гц-ритмов сердечно-сосудистой системы могут быть использованы в качестве независимого критерия эффективности проводимых лечебно-реабилитационных мероприятий у пациентов, находящихся на лечении по поводу острого инфаркта миокарда.

Заключение

Полученные нами результаты показывают, что анализ параметров синхронизации колебаний с частотой около $0,1$ Гц в вариабельности сердечного ритма и сигнале кровяного давления является перспективным в клинической практике с точки зрения изучения тяжести нарушения вегетативного управления сердечно-сосудистой системой, а также контроля эффективности проводимых лечебно-реабилитационных мероприятий.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты № 07-02-00589 и 07-02-00747) и фонда некоммерческих программ "Династия".

Список литературы

1. Баевский Р.М., Иванов Г.Г., Чирейкин Л.В. и др. Анализ вариабельности сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем: Методические рекомендации // Вестник аритмологии. - 2001. - №24. - С.1-23.

2. De Boer R. W., Karemaker J.M., Stracker J. Relationships between short-term blood pressure fluctuations and heart variability in resting subjects. I: A spectral analysis approach // *Med. Biol. Eng. Comput.* - 1985. - Vol.23. - P.352-358.
3. Glass L. Synchronization and rhythmic processes in physiology // *Nature*. - 2001. - Vol.410. - P.277-284.
4. Janson N.B., Balanov A.G., Anishchenko V.S., et al. Phase relationships between two or more interacting processes from one-dimensional time series. II. Application to heart-rate-variability data // *Phys. Rev. E*. - 2002. - Vol.65. - 036212.
5. Kurths J., Voss A., Saparin P., et al. Quantitative analysis of heart rate variability // *Chaos*. - 1995. - Vol.5. - P.88-94.
6. Malpas S. Neural influences on cardiovascular variability: Possibilities and pitfalls // *Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol.* - 2002. - Vol.282 - P.H6-H20.
7. Pagani M., Malliani A. Interpreting oscillations of muscle sympathetic nerve activity and heart rate variability // *J. Hypertension*. - 2000. - Vol.18. - P.1709-1719.
8. Prokhorov M.D., Ponomarenko V.I., Gridnev V.I., et al. Synchronization between main rhythmic processes in the human cardiovascular system // *Phys. Rev. E*. - 2003. - Vol.68. - 041913.
9. Schfer C., Rosenblum M.G., Kurths J., et al. Heartbeat synchronized with ventilation // *Nature*. - 1998. - Vol.392. - P.239-240.