

Таким образом эффект оператора от общения абонентов А и Б можно представить в следующем виде:

$$\mathcal{E} = Z * SA + \sum (Y_i * SB) - \sum (X_i * SA), \quad (3)$$

где SA и SB – объем разговоров абонентов в случае когда вызов осуществляет абонент А или Б соответственно.

Очевидно, что финансовая деятельность рассматриваемого оператора зависит от всех ценовых составляющих услуг, но в случае если цена Z рассматриваемого оператора будет существенно отличаться от цены Z оператора, оказывающего услуги абоненту Б, то будет наблюдаться «перекос» трафика в ту или иную сторону (уже традиционное «перезвони мне»). В этом случае в формуле (3) вторая или первая с третьей составляющей (в зависимости от направления «перекоса» трафика) будут стремиться к нулю, а, следовательно, это скажется и на изменениях итогового результата. Соответственно можно сделать вывод о том, что Z, X и Y рассматриваемого оператора находятся в тесной взаимосвязи между собой и возможны различные варианты поведения оператора:

1. Увеличение Z. Возможные последствия:

1.1. Увеличение доходов от оказанных услуг абонентам и как итог улучшение финансового результата.

1.2. Уменьшение доходов от оказываемых услуг абонентам, но компенсация данного уменьшения за счет увеличения доходов от услуг по пропуску трафика

1.3. Отток абонентов и общее снижение доходной части.

2. Снижение Z. Возможные последствия:

2.1. Привлечение дополнительных абонентов и увеличение поступлений от оказанных услуг абонентам.

2.2. Привлечение дополнительных абонентов и увеличение поступлений от оказанных услуг абонентам, но снижение общего финансового результата за счет увеличения платежей взаимодействующим операторам за получаемые услуги по пропуску трафика.

3. Уменьшение Y в обмен на уменьшение X. Данный вариант может рассматриваться, к примеру, с одним из взаимодействующих операторов и способен привести к увеличению общего финансового результата за счет того, что сеть данного оператора может использоваться для исходящего трафика на абонента Б по уменьшенной стоимости при получении большей части входящего трафика на абонента А с сети другого оператора, не участвующего в соглашении об уменьшении стоимости.

Выводы

Для привлекательности своей тарифной политики на рынке услуг телефонной связи для конечных пользователей оператор может применять воздействие к ценам на услуги по пропуску трафика, в зависимости от возможностей распределения трафика через сети взаимодействующих операторов путем выстраивания соответствующих договорных отношений с этими операторами.

Литература

1. Правила оказания услуг местной, внутризоновой, междугородной и международной телефонной связи. Утв. пост. Правительства РФ № 310 от 18.05.2005.
2. Правила присоединения сетей электросвязи и их взаимодействия. Утв. пост. Правительства РФ № 161 от 28.03.2005.

УДК 577.38:612.172.2

ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИРТУАЛЬНОЙ ДИАГРАММЫ РИТМА СЕРДЦА

Кузнецов А.А.

Предложено понятие и процедура формирования виртуальной диаграммы ритма сердца (ДРС). Исследованы ее характеристики. Приведены результаты сравнительного параметрического и структурнотопологического анализа реальных ДРС группы здоровых обследуемых и соответствующих им (по величине σ) виртуальных ДРС. Определено, что виртуальная ДРС представляет хаотическую составляющую ритма и является динамической базой механизмов адаптации организма к внешним влияниям.

Постановка задачи

Ритмическая активность сердца является интегральным показателем функционального состояния организма (ФСО) [1-2], поскольку сердечный ритм регулируется нервными и гуморальными факторами с участием вегетативной нервной системы, а также более высокими отделами центральной нервной системы [2]. Наличие и повторяемость структурных особенностей на диаграммах работы сердца при патогенезе позволило создать определенную базу

симптоматики заболеваний. Однако, причины и механизмы возникновения таких особенностей не ясны [2]. Это делает проблематичным донозологическое прогнозирование их зарождения, появления и развития. Причиной этого является сильное ограничение в применении физического анализа ритмических процессов сердца из-за отсутствия адекватного универсального эталона ритма сердца в норме. Поэтому и понятию нормы ФСО посредством ритмических характеристик сердца нет адекватного определения.

Параметрическая оценка нормы ФСО обычно проводится при помощи метода оценки вариабельности сердечного ритма (ВСР) [3]. Параметры ВСР являются взаимозависимыми. Они сильно зависят как от длины записи ЭКГ, так и от психоэмоционального состояния и даже от положения тела испытуемого в состоянии покоя. Ясно, что такая оценка является очень условной. До настоящего времени применение метода физических аналогий и сопоставлений для реальных диаграмм ритма сердца (ДРС) не было успешным. Отсутствие эталонной ДРС приводило к необходимости попарному сравнению ДРС или величин параметров ВРС. Целью данной работы является поиск эталонного ритма сердца при ФСО в норме.

Виртуальная диаграмма ритма сердца

Виртуальной (воображаемой) диаграммой ритма сердца (вДРС) автор называет диаграмму, построенную генерацией случайных чисел по нормальному закону распределения около среднего значения RR-интервала ($\langle X \rangle$) с назначенной величиной стандартного отклонения (σ) [4]. вДРС, созданная по величине σ реальной ДРС, является виртуальной, воспринимаемой как реальная (рис. 1 а, б).

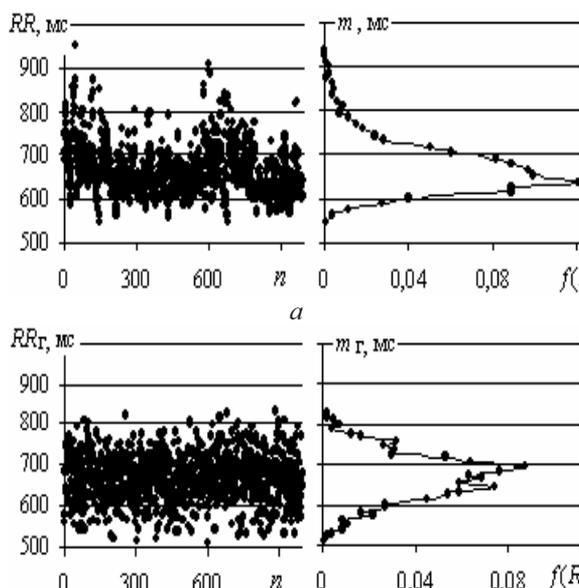


Рис. 1. Точечные графики ДРС (а) и вДРС (б) и соответствующих горизонтальных полигонов распределений УЗО Е-вой (21 год)

Приведем результаты сравнительного анализа параметров реальных ДРС группы молодых условно здоровых обследуемых (УЗО) и соответствующих им (по величине σ) вДРС. В состав группы 32 УЗО входили 20 юношей и 12 девушек в возрасте от 18 до 21 года. Двухминутные регистрации электрокардиограмм (ЭКГ) были проведены по стандартной методике [3-4] за период февраль-март 2008 г. в режиме покоя, сидя. Все ЭКГ конвертировались в последовательности RR-интервалов с получением ДРС.

Известно [3, 4], что величина стандартного отклонения σ имеет тенденцию к медленному росту с ростом объема n выборочной реализации ДРС. Поэтому возникает необходимость определения динамики величины σ с ростом размера цифрового ряда вДРС. Для этой цели в *Excel 7.0* было создано около сотни вДРС для разных величин σ (от 1 до 300 мС) при заданном $\langle X \rangle = 937$ мС (64 уд/мин) и с объемом выборки n от 50 до 10000 отсчетов. На рис. 2 показана динамика σ от размера выборки в форме графика функции $\sigma(n)$, построенного для вДРС, сгенерированной для $\sigma = 70$ мС. Для используемой программы генерации $\sigma = 70,0 \pm 2,6$ мС (при уровне значимости $\alpha = 0,05$). Максимальные отклонения от принятого значения характерны для $n < 500$. Исключая из рассмотрения малые объемы выборки с $n = (50 \dots 300)$, получаем $\sigma = 69,9 \pm 1,1$ мС. В первом случае относительная погрешность ε_{σ} составляет 7,4 %, во втором – 3,1 %. Таким образом, назначенная при генерации вДРС с $n \geq 500$ величина $\sigma = 70$ мС сохраняется внутри интервала значений (68,8 ÷ 71) мС с вероятностью не менее 0,95.

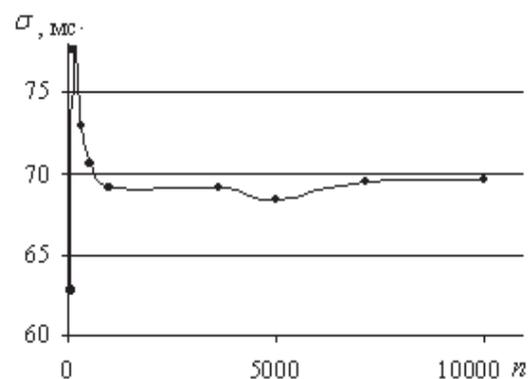


Рис. 2. График зависимости $\sigma(n)$ для вДРС

Очевидно, что изменение величины σ при генерации вДРС приводит к перераспределению значений RR-интервалов на ярусной вДРС [4-6]. При этом меняются основные параметры ВСР и структурно-топологические параметры диаграммы: вариационный размах ΔX , количество «рабо-

чих» ярусов k_n^* [4-5], количество информации I_Σ и информационная энтропия I^* [4; 7] ДРС.

Для используемой программы генерации случайных чисел по нормальному закону распределения ΔX слабо зависит от размера цифрового ряда в интервале $500 < n < 5000$ и сильно зависит для $n > 5000$ (рис. 3). Для любых значений n функция $\Delta X(\sigma)$ имеет вид $\Delta X = a\sigma$, где линейный коэффициент a принимает значения 13,53, 6,76, 6,39 и 5,97 для значений n , равных 10000, 3600, 1000 и 500, соответственно и при коэффициенте достоверности линейной аппроксимации $R^2 = 1$. В интервале значений $500 < n < 5000$ и для $\sigma = 69,9 \pm 1,1$ мс величина $\Delta X = 453$ мс с относительной погрешностью $\varepsilon_{\Delta X} = 11,5\%$. В пределах $1000 < n < 2000$, характерных для двадцатиминутной регистрации ЭКГ, $\varepsilon_{\Delta X} < 5\%$. Величина σ для вДРС с ростом n не меняется (см. рис. 1), поэтому можно принять неизменным и вариационный размах.

Для ДРС группы УЗО в интервале значений $1223 < n < 2437$ и для $\sigma = 72,9 \pm 8,9$ мс величина $\Delta X = 439$ мс с относительной погрешностью $\varepsilon_{\Delta X} = 18,7\%$. Функция $\Delta X(\sigma)$ имеет вид $\Delta X = a\sigma$, где линейный коэффициент $a = 5,82$ при коэффициенте достоверности линейной аппроксимации $R^2 = 0,68$.

Все основные параметры (X) варибельности сердечного ритма (ВСР) временной области [2], определенные по вДРС и в сравнении с ДРС здоровых людей, имеют качественно одинаковую функциональную зависимость от σ и практически не зависят от объема n выборки (рис. 3).

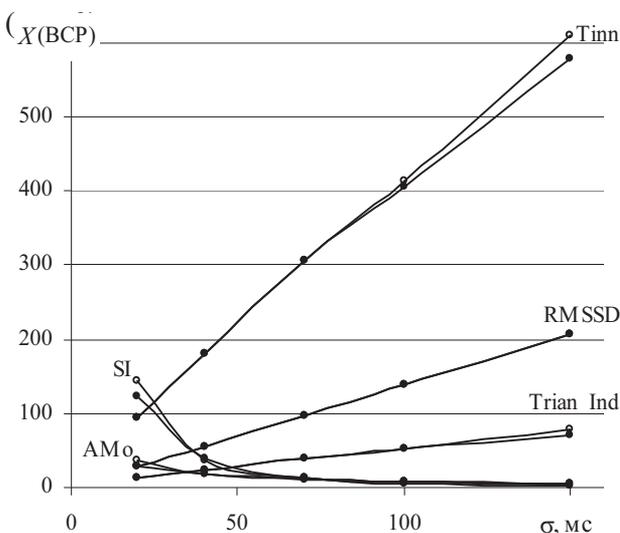


Рис. 3. Графические зависимости параметров ВСР от σ при $n = 1000$ (•) и $n = 3600$ (○)

В частотной области анализа полная спектральная мощность (TP), определенная для вДРС, сильно зависит от σ и более слабо от n (рис. 4а). Эти зависимос-

ти для вДРС и ДРС качественно совпадают, однако распределение составляющих мощностей по четырем частотным диапазонам (рис. 4б) прямо противоположно. Это связано с тем, что при фиксированных границах частотных диапазонов спектр плотности мощности вДРС широкополосный, а спектр плотности мощности ДРС здорового молодого человека в состоянии абсолютного покоя – узкополосный с максимумом на околонулевых частотах [3-4].

При простом сравнении функциональных зависимостей параметров ВСР для виртуальной и реальной ДРС выяснились основные сходства и различия в механизмах структуризации при их формировании. Обе ДРС формируются с одним шагом дискретизации ($\Delta x = 1$ мс), поэтому на диаграммах значения RR-интервалов располагаются ярусно [4-6]. Такая ярусная структура диаграмм формируется посредством микро-переходов между отдельными ярусами. При формировании ярусных структур при переходе от отсчета к отсчету для вДРС преобладают случайные (хаотические) по направлению и величине переходы между ярусами, а для ДРС – и случайные, и регулируемые.

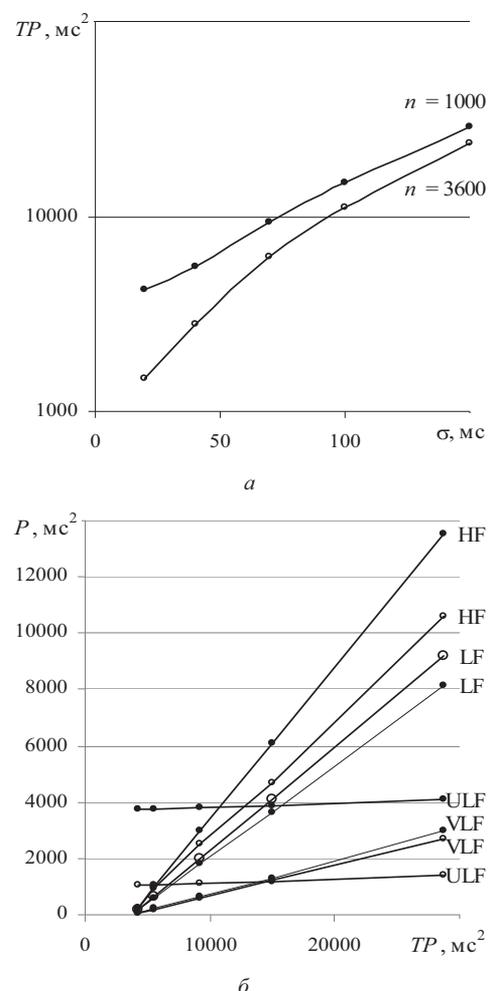


Рис. 4. Графические зависимости полной спектральной мощности (TP) вДРС от σ (а) и составляющих спектральных мощностей (P) по четырем частотным диапазонам от TP при $n = 1000$ (•) и $n = 3600$ (○) (б)

При формировании вДРС все микропереходы равновероятны. Ярусная структура с заданными первичными значениями σ и Δx наполняется однородно с учетом нормального закона распределения. При формировании ДРС предпочтение отдается соседним переходам. Это легко проверяется при построении дифференциальной ДРС. Значения σ (и ΔX) являются вторичными и обеспечиваются внешними низкочастотными процессами, проявляющихся в формах медленных волн первого и второго порядков [1]. Поэтому при формировании вДРС преобладают «процессы» диапазонов высоких (HF) и низких (LF) частот, а в случае ДРС преобладают процессы диапазонов очень низких (VLF) и ультранизких (ULF) частот [3].

Таким образом, вДРС является математической моделью ДРС с первично заданной величиной σ и распределением по нормальному закону. Ярусная структура вДРС, определенная постоянной и неравной нулю величиной Δx , формируется без внешней регуляции, но под заданные ограничения. Наполнение спектральных диапазонов VLF и ULF является ложным, связанным с недостатками Фурье-преобразования [8].

В формировании реальной ДРС на базе собственной функции автоматии сердца участвуют два внешних механизма: детерминистский внешней регуляции ритма с частотным механизмом наполнения ярусами и самих ярусов и хаотический, связанный с шумом внешних и внутренних влияний. Проявление первого механизма приводит к структуризации ярусной диаграммы, проявление второго – к деструктуризации. В рамках такого разделения системного процесса формирования ритма вДРС представляет только хаотическую составляющую с максимальной степенью неупорядоченности значений в рамках заданной величины σ и является динамической базой механизмов адаптации организма к внешним влияниям.

Здесь необходимо отметить, что вДРС формируется под величину σ , равную расчетной для исходной реальной ДРС. Очевидно, что «истинная» хаотическая составляющая, «выделенная» (если это возможно) из реальной ДРС, вообще говоря, будет иметь другую величину σ .

Для определения количества рабочих ярусов $k_{я}^*$ на диаграммах ритма был создан программный модуль «идентификации ярусов» [4]. На рис. 5а приведены расчетные данные числа рабочих ярусов для вДРС, созданных для разных σ и n , а на рис. 5б представлены те же данные по отношению к общему числу ярусов, захватываемых вариационным размахом.

Распределение значений RR-интервалов на ярусах диаграммы может быть представлено в форме количества возможных комбинаций Γ для реализации этого распределения или количества информации I_{Σ} , недостающего для описания для его описания [4; 7] (рис. 6а). Тогда среднее количество информации, приходящееся на один отсчет, определяет информационную энтропию диаграммы ритма $I^* = I_{\Sigma}/n$. Функция $I^*(\sigma, n)$ имеет границу определения и при $n \rightarrow \infty$ она совпадает с функцией $H(X)$ математического ожидания энтропии системы X , состояния которой распределены по нормальному закону (рис. 6б) [9-10]. При росте n величина I^* всегда растет и при $n \rightarrow \infty$ принимает максимально возможное значение при заданном σ [4].

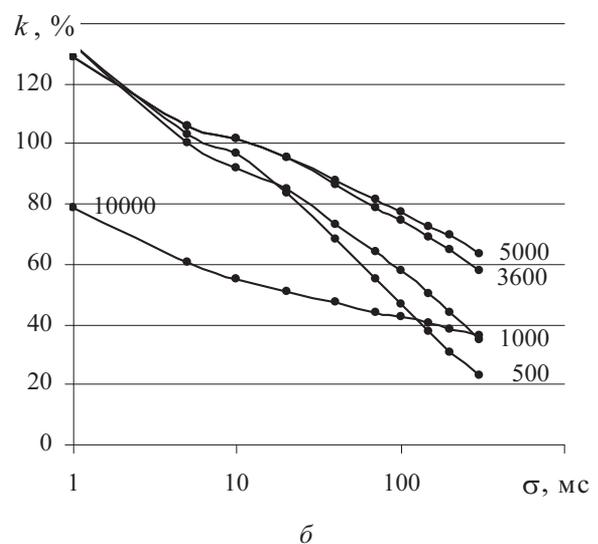
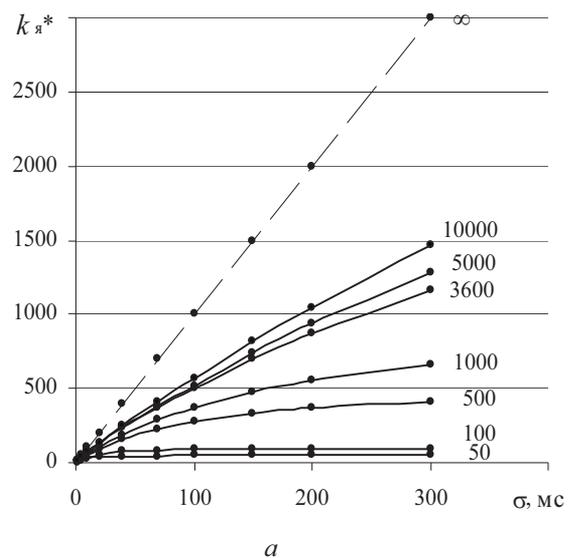


Рис. 5. Графики зависимостей числа рабочих ярусов на вДРС от σ и n

Сравнивая графики на рис. 5а и 5б, можно увидеть, что ход исследуемых функций одинако-

вый для соответствующих значений n . Также очевидно, что существует функция $k_{\text{я}}^*(\sigma)$ для $n \rightarrow \infty$, соответствующая граничной прямой на рис. 6б.

«Рождение» каждого нового яруса при росте n фиксируется разными параметрами поразному. Число «рабочих» ярусов прирастает на 1, если ярус «открылся» одним значением. Величины I_{Σ} и I^* на это не реагируют и чувствуют лишь подтверждение этого открытия еще одним значением. Поэтому ход функции $I^*(n)$ всегда запаздывает относительно $k_{\text{я}}^*(n)$. Отсюда следует очевидное правило формирования диаграммы ритма: рост $k_{\text{я}}^*$ первичен по отношению к функции их неупорядоченного формирования.

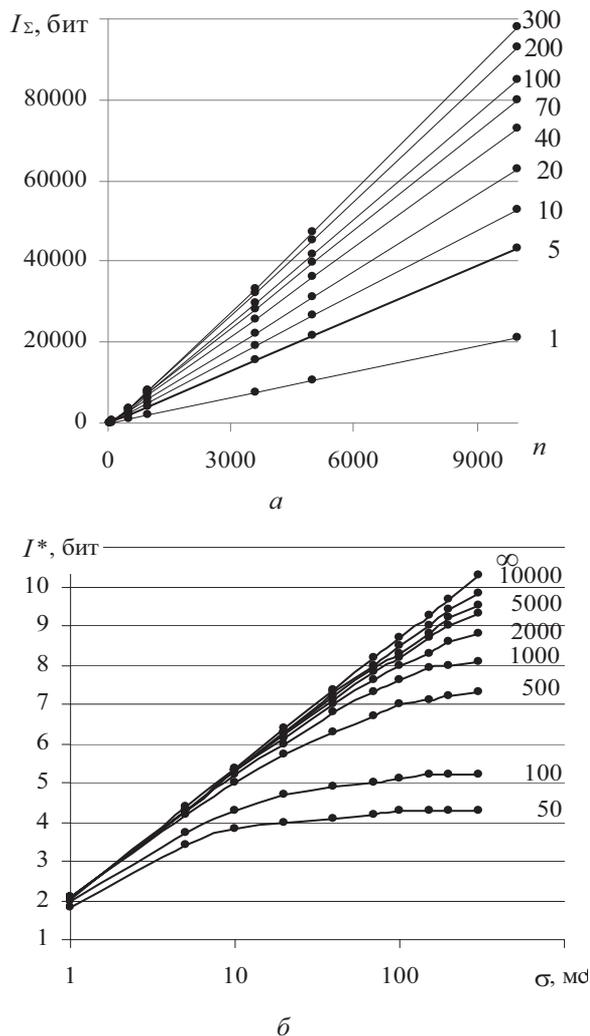


Рис. 6. Графики зависимости количества информации $I_{\Sigma}(\sigma, n)$ (а) и информационной энтропии $I^*(\sigma, n)$ (б) для ВДРС

На рис. 7 приведен график зависимости $I^*(k_{\text{я}}^*)$ в полулогарифмическом масштабе для разных n , построенный по возрастающему ряду значений σ (1; 5; 10 ... 300). Видно, что при росте числа ярусов зависимость степени неупорядоченности

ярусной структуры вДРС от числа ярусов на ней слабеет по логарифмическому закону.

Спектр оконной функции $I^*(n_{\text{о}})$ вДРС всегда широкополосный, а график этой функции является горизонтальной линией с малыми флуктуациями, определенными погрешностью вычисления (см. рис. 6б). Спектр оконной функции $I^*(n_{\text{о}})$ для ДРС здоровых молодых людей также широкополосный, а график этой функции также является горизонтальной линией с небольшими флуктуациями, определенными как погрешностью вычисления, так и отклонениями текущего состоянием [11].

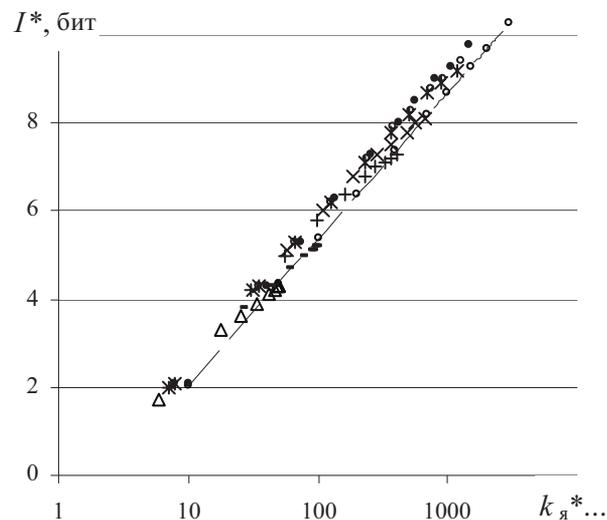


Рис. 7. График зависимости $I^*(k_{\text{я}}^*)$ для возрастающего ряда значений σ и для разных n : 50 (Δ), 100 (-), 500 (+), 1000 (x), 3600 (ж), 10000 (\bullet) и $n \rightarrow \infty$ (o) с уравнением трендовой линии $I^* = \log_2(k_{\text{я}}^*) - 1,28$ при $R^2 = 1$

Предложенные характеристики вДРС могут быть полезны при сравнении значений параметров реальной ДРС, описывающей регулируемое формирование диаграммы и вДРС, описывающей не регулируемое хаотическое формирование диаграммы. Применение структурно-топологических характеристик ($k_{\text{я}}^*$, I_{Σ} , I^*) при анализе диаграмм ритма имеет очевидные преимущества над использованием параметров ВСП, так как последние могут быть адекватными в применении лишь для стационарных процессов.

Выводы

Виртуальная ДРС является математической моделью ДРС с первично заданной величиной стандартного отклонения (σ) и распределением по нормальному закону. Ярусная структура вДРС формируется без внешней регуляции и представляет хаотическую составляющую ритма с максимальной степенью неупорядоченности в рамках заданной величины σ .

Основные параметры variability сердечного ритма временной области, определенные по вДРС и в сравнении с ДРС здоровых людей, имеют качественно одинаковую функциональную зависимость от σ и практически не зависят от объема n выборки. Для вДРС с ростом объема выборки назначенная величина стандартного отклонения практически не меняется, величина вариационного размаха очень медленно растет в пределах интервала $500 < n < 5000$, число ярусов и информационная энтропия растут к насыщению, а количество информации I_{Σ} растет линейно.

Виртуальная диаграмма ритма сердца, представляющая хаотическую составляющую ритма, является динамической базой механизмов адаптации организма к внешним влияниям. Снижение уровня хаотической составляющей для ДРС определяется уменьшением величин k_{α}^* и I^* , что означает включение механизмов резонансного отклика ритма сердца и захват им ритмов внешней среды. Возникающая дисгармония в отношениях ритмов приводит к аритмии сердца.

Литература

1. Парин В.В., Баевский Р.М., Волков Ю.Н., Газенко О.Г. Космическая кардиология. Л.: Медицина, 1967. – 206 с.
2. Анохин П.К. Очерки по физиологии функциональных систем. М.: Наука, 1972. – 372 с.
3. Variability of heart rate. Standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. Working group of the European College of Cardiology and the North American Society of Cardiac Pacing and Electrophysiology // *Journal of Intensive Care Medicine*. № 11, 1999. – С. 53-78.
4. Кузнецов А.А. Энтропия ритма сердца: монография. Владимир: Изд. ВГУ, 2009. – 172 с.
5. Кавасма Р.А., Кузнецов А.А., Плеханов А.А., Сушкова Л.Т. Ярусный метод анализа RR-интервалограмм // *Биомедицинская радиоэлектроника*. №12, 2007. – С. 62-64.
6. Кавасма Р.А., Кузнецов А.А., Сушкова Л.Т. Автоматизированный анализ и обработка электрокардиографических сигналов. Методы и система. Под ред. Л.Т. Сушковой. М.: Сайн-спресс, 2006. – 144 с.
7. Кузнецов А.А. Методы анализа упорядоченности ритма сердца // *Биомедицинские технологии и радиоэлектроника*. № 6, 2008. – С. 21-24.
8. Макс Ж. Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях. Т.2. Пер. с франц. М.: Мир. 1983. – 256 с.
9. Мун Ф. Хаотические колебания. Вводный курс для научных сотрудников и инженеров. Пер с англ. М.: Мир. 1990. – 312 с.
10. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. 6-е изд. М.: Высшая школа, 1999. – 576 с.
11. Кузнецов А.А. Фазовая структура ритма сердца при физических нагрузках // *Биомедицинская радиоэлектроника*. №3, 2009. – С. 3-8.

ТЕХНОЛОГИИ РАДИОСВЯЗИ, РАДИОВЕЩАНИЯ И ТЕЛЕВИДЕНИЯ

УДК 621.376.33

АНАЛИЗ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ КОМБИНИРОВАННОГО МЕТОДА ПОВЫШЕНИЯ СКОРОСТИ ПЕРЕДАЧИ ДИСКРЕТНЫХ СООБЩЕНИЙ

Гусейнов Т.А.

В статье рассматривается комбинированный метод повышения скорости передачи дискретных сообщений с точки зрения сравнения метода с современными протоколами передачи данных по кабельным каналам связи категории 3 и 5е. В ходе моделирования раскрываются все достоинства и недостатки метода, на основании которых делается вывод о границах его реализации.

Введение

На данный момент в существующих системах связи, в том числе и радиовещания, весьма распространенным являются метод с временным разделением каналов (ВРК) и последовательный метод. В качестве примера можно указать все, за

небольшим исключением, протоколы передачи данных по локальным сетям Ethernet, ЧМ-радиовещание и даже DECT телефонию, несмотря на то, что в стандарте DECT допускается существование до 10 поднесущих, внутри каждого из подканалов скачков частоты не происходит, тем самым обеспечивается только одночастотный доступ TDMA.

В сетях сотовой связи при формировании информационного кадра применяется последовательный метод, когда двоичные потоки данных не просто получают доступ к общей среде передачи данных в определенный момент времени, как в ВРК, но и сжимаются во времени в m раз, где m – количество двоичных потоков данных. Помимо