

К ВОПРОСУ УСТОЙЧИВОСТИ И ИЗМЕНЧИВОСТИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВАРИАБЕЛЬНОСТИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА.

Н.К. Быстрова^{1,2}, Е.И. Маевский¹, Е.В. Парамонова², В.С. Быстров²

1. *Institute of Theoretical and Experimental Biophysics RAS, 142290, Pushchino, Russia*

2. *Institute of Mathematical Problems of Biology RAS, 142290, Pushchino, Russia*

3.

E-mail: em11@mail.ru, ekatr@yandex.ru, vsbys@mail.ru

Аннотация. Проведен анализ показателей variability сердечного ритма (ВСР) на основе одной и той же записи интервалов кардиоритма, проведенном в широком диапазоне (более 1000 интервалов), с последующей выборкой и стандартным анализом 256 интервалов, но по различным участкам этой записи. Стандартный анализ, проводимый на основе программных средств, заложенных в серийном аппаратном комплексе «Варикард» сопоставлен и оценен также по статистическим данным, полученным на основе других программ. Полученные результаты показывают, что в качестве устойчивых показателей ВСР, характеризующих индивидуальные особенности ФС человека в покое, следует брать выбранные статистические показатели – спектральные показатели не подходят для этой цели вследствие своей высокой изменчивости. Выбранные статистические показатели, имеют индивидуальные устойчивые особенности и их набор может служить «портретом» отдельного человека, позволяющим отличать его другого в исходном состоянии покоя.

Ключевые слова: математический анализ variability ритма сердца, физиология сердечно-сосудистой системы, вегетативная нервная система, функциональные состояния, кардиоинтервалография

1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в практической ритмокардиоинтервалографии находят все более широкое применение различные системы анализа показателей variability сердечного ритма (ВСР) человека [1-6]. В разных видах трудовой деятельности человека, в том числе и при обучении, успешность выполняемой работы в значительной мере зависит от функционального состояния (ФС) [7]. Одним из способов оценки ФС и адаптационного потенциала является анализ показателей состояния вегетативной нервной системы (ВНС), которой в организме отведена особая стресс-реализующая роль. Наиболее простым и удобным для практического применения методом оценки состояния ВНС следует признать кардиоинтервалографию, дающую информацию о регуляции ритма сердца [1-6]. Изменение сердечного ритма и показателей центрального кровотока являются важным звеном в адаптации организма к условиям внешней и внутренней среды, что открывает возможности использования характеристик сердечного ритма и показателей гемодинамики для оценки ФС организма в целом.

Основные разработки по выбору необходимых показателей ВСП, на основе которых можно судить о функциональном состоянии (ФС) человека [6, 7], были проведены еще Баевским Р.М. с соавторами [1, 2]. Основа их работ – это прежде всего статистические показатели ВСП [1-6]. Дальнейшее развитие математических методов анализа ВСП привело к возможности привлечения к этому анализу и спектральных показателей ВСП [2-4]. Однако, здесь сразу было введено (ограничение) условие применимости спектрального метода (использование для анализа достаточно широкой выборки интервалов ритмограммы – обычно как минимум 265 интервалов), что обусловлено особенностями Фурье-базиса спектральных функций [2, 6].

Последующее развитие этих методов и появление различной довольно простой аппаратуры, позволяющей достаточно быстро и удобно регистрировать показатели ВСП, привело к их широкому распространению и применению в самых различных областях (анализу на их основе как состояния вегетативной нервной системы (ВНС), так и ФС организма человека в целом – в профилактической и спортивной медицине, в подготовке и оценке состояния летчиков, космонавтов, операторов атомных электростанций и дежурных в системах противовоздушной обороны [3]). При этом зачастую уже не уделяется внимания обоснованности применения указанных методов.

В тоже время, последующий анализ применения спектральных показателей, привел ряд исследователей к выводу, что они не всегда соответствуют действительности и их применение не всегда имеет достаточное обоснование [4, 8, 11]. Более того, как отметил в конце своих исследований один из наших ведущих практических специалистов в этой области Дорошев В.Г. [3] – наиболее важным, существенным, устойчивым и единственно достоверным показателем, может служить такой статистический показатель как «разброс интервалов». Возможно это и слишком категорическое, спорное утверждение, но тем не менее, вследствие своей крайне практической важности, вопрос об обоснованности и достоверности выбора тех или иных показателей ВСП для последующего анализа и оценки на их основе ФС как ВНС, так и всего организма человека в целом, оценки его функциональных резервов и прогноза развития его ФС, требует своих дальнейших исследований.

В данной работе проведен детальный анализ показателей ВСП на основе одной и той же записи интервалов кардиоритма, проведенном в широком диапазоне (более 1000 интервалов), с последующей выборкой и стандартным анализом 256 интервалов, но по различным участкам этой записи. Стандартный анализ, проводимый на основе программных средств, заложенных в серийном аппаратном комплексе «Варикард» (производства «РАМЕНА», г. Рязань), был сопоставлен и оценен также по статистическим данным, полученным на основе других программ (EXEL Microsoft и OriginPro 7.5.).

Используемые в работе записи ритмокардиограмм были проведены в разное время в течение нескольких лет и получены у разных испытуемых. Это позволяет также провести анализ и выбор наиболее значимых индивидуальных показателей ВСП («индивидуальный портрет»), и проследить за их индивидуальной динамикой, что может быть крайне важно для ряда практических задач (проведения всевозможных функциональных проб, тестов и оценки переносимости человеком действия различных факторов, в том числе оценки фармпрепаратов [9, 12]).

2. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ. МЕТОДИКА

Для оценки состояния ВСР, вегетативной регуляции и состояния системы кровообращения использовали комплекс для анализа ВСР «Варикард» модели «ВК 1.41» (Институт Внедрения Новых Медицинских Технологий «РАМЕНА», г. Рязань).

Состояние как ВНС, так и ФС всего организма, оценка влияния на него различных факторов внешней среды, особенно оценка его функциональных резервов и адаптации, проводится как правило методами различных функциональных проб [4, 9]. При этом крайне важным является определение устойчивого исходного уровня состояния испытуемого, относительно которого и делается потом заключение о реакции его на пробу. Аналогично проводится и исследование влияния на организм человека различных фармпрепаратов – вначале необходимо определить и оценить исходное ФС состояние человека, на основе выбранных достаточно стабильно воспроизводимых показателей. В данном случае нас интересуют показатели ВСР, которые характерны для данного человека и сохраняются достаточно стабильно в одних и тех же условиях теста.

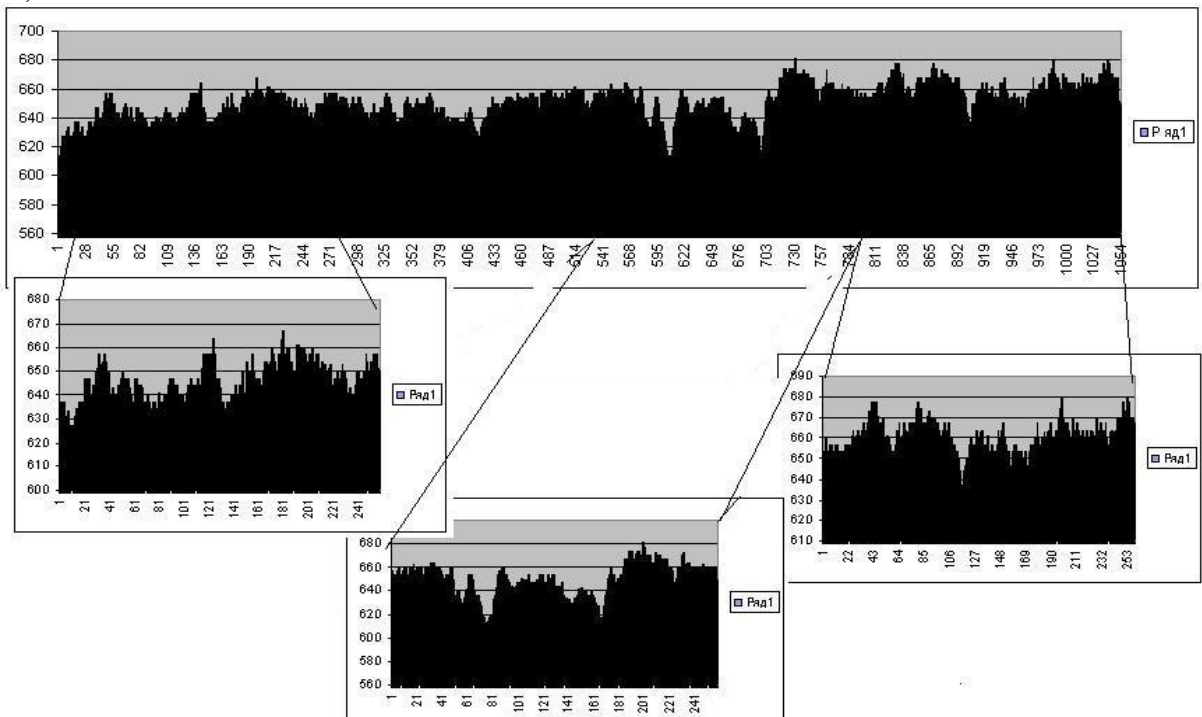
Здесь важно, чтобы испытуемый находился во время всей записи исследуемых интервалов в одном и том же спокойном состоянии, в одинаковых условиях и не подвергался воздействию каких-либо возмущающих факторов. Хотя конечно, невозможно исключить все факторы и воздействия, особенно из внутренней среды человека, локальные флуктуации его психо-эмоционального состояния, это позволяет в каком-то приближении стабилизировать состояние испытуемого и получить более корректно сопоставимые данные. В такой сложной системе как живой человек всегда будут действовать непредсказуемые и неподдающиеся учету факторы, что и приводит к неизбежной флуктуации и кардиоинтервалов во время записи в казалось бы совсем одинаковых условиях.

Записи кардиоинтервалограмм (КИГ) производились в стандартных условиях (лежа или сидя) после адаптации испытуемого а спокойном состоянии в среднем в течение 10 мин. Электроды налагались на запястья рук и ног по стандартной схеме, регистрация и запись КИГ проводилась с помощью серийной аппаратуры «Варикард». Файлы КИГ подвергались затем обработке комплексом встроенных программ «Варикарда», а также записи исходных файлов КИГ экспортировались из «Варикарда» для последующей их независимой обработки с помощью программ EXEL Microsoft и OriginPro 7.5. Полученные результаты обработки исходных файлов КИГ различными программными средствами и методами, а также проведенная их математическая обработка по ряду статистических критериев (тест Шапиро-Вилка, t-критерий на уровне 0.05, и др.), подвергались затем сопоставлению с данными обработки «Варикардом» и анализировались для оценки их достоверности, выбора и отбора ряда наиболее устойчиво сохраняющихся (стабильных) показателей КИГ.

Для этой цели запись КИГ проводилась однократно в одних и тех же условиях более длительное время (около 10 мин, что соответствовало количеству КИГ порядка

1000 и более в зависимости от пульса испытуемого), а затем из этой записи выделялись выборки КИГ (последовательные или частично перекрывающиеся) стандартной рекомендуемой длиной 256 интервалов (иногда это количество варьировалось в 255, 257, 258 интервалов вследствие фильтрации артефактных интервалов программными средствами «Варикарда»). Анализ стабильности показателей КИГ этих различных выборок из одной и той же записи КИГ на разных ее участках и позволяет сделать вывод о сохраняющихся наиболее устойчивых показателях КИГ (характерных для данного индивидуума). На Рис.1.(А) представлен пример формирования таких выборок.

А)



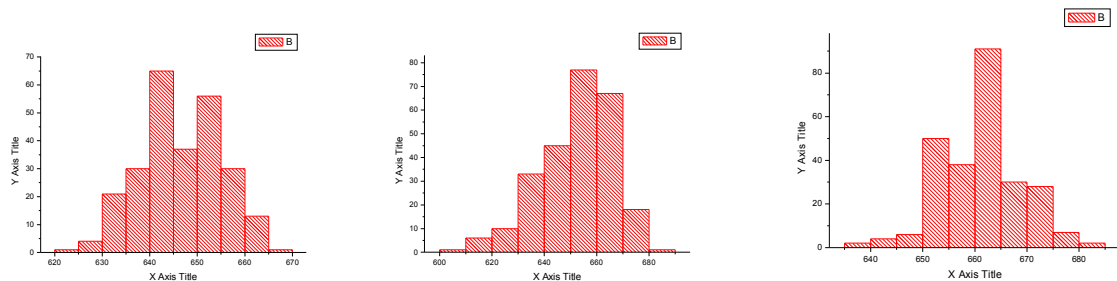
Интервалы:

1) 20 - 277

2) 534 – 791

3) 792 – 1044

Б)



В)

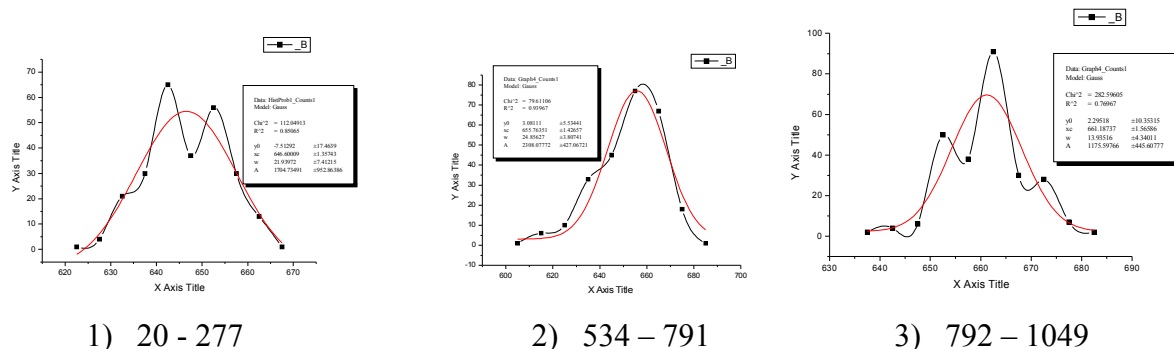


Рис. 1. Выделение и анализ отдельных участков записей КИГ по 256 интервалам из записи общей длиной более 1050 интервалов: А) пример записи интервалов испытуемого № 1 от 24.03.08 в базе данных комплекса «Варикард» и экспорт отдельных файлов для обработки и анализа данных; Б) примеры соответствующих гистограмм распределения интервалов по выборкам (обработка OriginPro 7.5); В) примеры аппроксимации тех же распределений выбранных интервалов по Гауссу (полученных с помощью программы OriginPro 7.5).

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для оценки показателей ВСР, регистрируемых прибором «Варикард», нами проводилась статистическая обработка файлов КИГ, экспортируемых из базы данных «Варикарда», с помощью программных средств EXEL Microsoft и OriginPro 7.5. Результаты сравнивались с данными обработки самим «Варикардом». Кроме обычной стандартной обработки статистических показателей ВСР, для каждого анализируемого участка интервалов были проведены: 1) оценка нормальности распределения исходных зарегистрированных КИГ по тесту Шапиро-Вилка (на уровне 0.05), 2) построение детальных гистограмм распределения интервалов и определение набора их статистических показателей (среднее значение по гистограмме, среднее квадратичное отклонение и т.д.), 3) фитинг полученного распределения интервалов плавной кривой и аппроксимация ее по нормальному распределению Гаусса, 4) оценка совпадения полученной кривой распределения интервалов с аппроксимирующим нормальным распределением Гаусса по t-критерию (на уровне 0.05).

Далее, для оценки стабильности и изменчивости показателей ВСР, проводилась их статистическая обработка (всех 37 показателей выдаваемых после обработки на «Варикарде») по выбранным участкам записи, по файлам и по различным датам (для одного и того же испытуемого). Проведенный нами анализ данных показал, что для оценки разброса показателей ВСР, удобнее и проще взять относительную величину их изменчивости (вариабельности), как отношение максимального разброса данного показателя к его среднему значению, взятому в процентах. Эта величина в среднем соответствует статистической оценке погрешности (разброса вокруг среднего значения) на уровне 0.05 (или 95 % вероятности при соответствующем коэффициенте Стьюдента).

Проведенный анализ данных КИГ, полученных на аппаратуре «Варикард», показал, что как правило статистическое распределение интервалов в выборках не соответствует нормальному (см.Табл.1. данные по тесту Шапиро-Вилк на нормальность распределения, проведенные с помощью программы OriginPro 7.5 на уровне 0.05).

Таблица 1. Проверка нормальности распределения исходных кардио-интервалов по тесту Шапиро-Вилка (на примере выборки файлов по ~256 интервалов из одной и той же более длинной записи испытуемого № 1)

Дата и № файла	Участок записи, диап. интервалов	Параметры теста на нормальность Шапиро-Вилк		
		Параметр W	Знач. вероят. P**	Закл. на 0.05 уровне вероят.
29.02.08				
219	20 – 276	0.94903	0	Нет норм.
220	277 – 533	0.97095	0.00865	Нет норм.
221	533 – 789	0.96076	0.00002	Нет норм.
222	789 – 1045	0.97811	0.14477	Нормал.
223	100 – 356	0.97443	0.03967	Нет норм./Бл.
224	357 – 713*	0.97385	0.00705	Нет норм.
225	714 – 970	0.97261	0.01856	Нет норм.
24.03.08				
252	20 – 277	0.96390	0.00017	Нет норм.
251	277 – 533	0.94698	0	Нет норм.
253	534 – 791	0.95583	0	Нет норм.
254	792 – 1049	0.97222	0.01532	Нет норм.

* Здесь взят более широкий диапазон в 357 интервалов.

** При значении вероятности $P < 0.05$ распределение не соответствует нормальному.

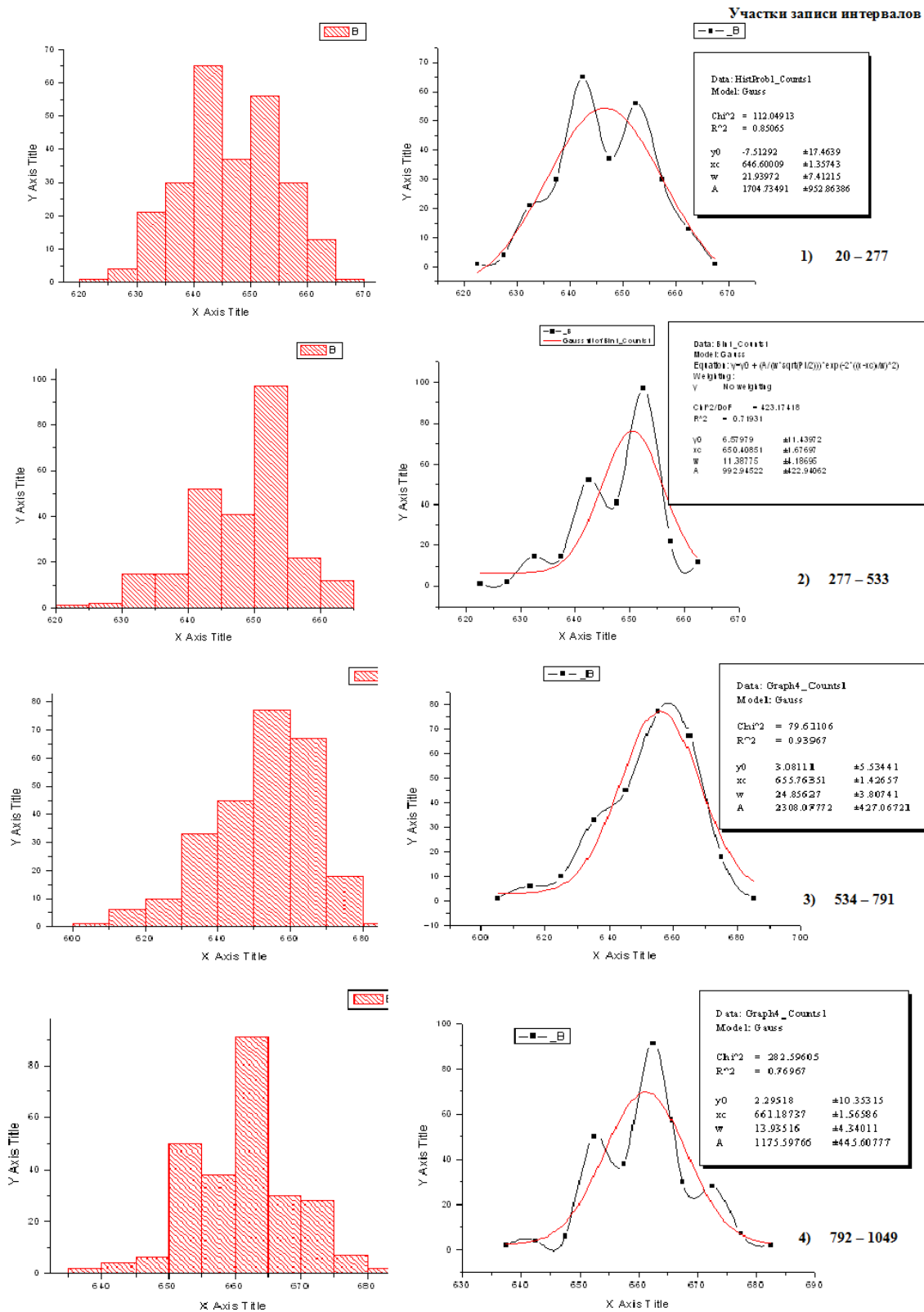


Рис. 2. Изменение гистограммы кардиоинтервалов и их аппроксимации по Гауссу при смещении вдоль одной и той же записи длиной 1050 интервалов по

разным выборкам участков интервалов длиной по 256 интервалов.

Тем не менее распределение интервалов внутри многих выборок не отличается по t-критерию от распределения Гаусса, аппроксимирующее гистограмму этого распределения интервалов (см. Табл.2, также на уровне 0.05 по OriginPro 7.5).

Хотя визуально видно (см. Рис.2), что характер распределения кардиоинтервалов все время изменяется при смещении по статистически значимым выборкам (вдоль одной и той же более длинной записи, соответствующей одному и тому же более-менее стабильному и спокойному состоянию испытуемого), однако, их средние значения и другие статистические показатели изменяются не так сильно – данные, получаемые при обработке программными средствами аппаратуры «Варикард», оказываются близки (хотя грубее по точности) к результатам, полученным при обработке тех же файлов записи интервалов, с помощью программ OriginPro 7.5 и Exel Microsoft (Табл. 7).

Таблица 2. Статистический анализ сравнения выборок КИГ различных участков записей КИГ (на примере записей файлов по двум разным датам для испытуемого № 1).

№ Файла, участок выборки	Дан. из прог ср-в*	Ср. знач. инт., мсек	Ср. кв. отк., SDNN, мсек	Коэф. вар., CV, %	Разброс инт., мсек		t-тест на аппроксим. распр. интервалов по Гауссу					
					MAX	MIN	Ср.зн. Гаусс	Шир. Гаусс	Значен t-крит.	Значен. вер. P	Закл. 0.05	
29.02.08												
219, 20-276	Ор.	688.14	15.91	2.312	734	654	684.46	23.23	3.705	0.00026	Отл	
	Вар.	689	16	2.3	731	654						
220, 277-533	Ор.	695.49	15.87	2.281	740	654	698.00	37.88	-2.536	0.0181	Отл	
	Вар.	696	16	2.3	730	656						
221, 533-789	Ор.	705.45	18.28	2.591	754	664	703.77	37.03	1.471	0.14251	Сов	
	Вар.	706	18	2.6	751	666						
222, 789-1045	Ор.	696.85	12.84	1.843	734	664	696.29	25.11	0.702	0.48349	Сов	
	Вар.	697	13	1.8	729	665						
223, 100-356	Ор.	695.79	16.80	2.415	740	654	697.88	42.01	-1.9978	0.0468	Отл	
	Вар.	696	17	2.4	735	653						
224, 357-713	Ор.	701.49	19.40	2.776	754	654	701.64	40.22	-0.1459	0.8841	Сов	
	Вар.	702	19	2.8	751	657						
225, 714-970	Ор.	694.62	11.73	1.689	730	664	693.62	19.55	1.3703	0.17181	Сов	
	Вар.	695	12	1.7	726	666						
24.03.08												
252, 20-277	Ор.	645.97	8.43	1.305	667	624	646.6	21.94	-1.195	0.233	Сов	
	Вар.	646	8	1.3	664	625						
251, 277-533	Ор.	647.66	7.34	1.134	661	624	650.41	11.39	-5.9997	0	Отл	
	Вар.	648	7	1.1	664	625						
253, 534-791	Ор.	650.76	13.69	2.104	681	604	655.76	24.86	-5.8613	0	Отл	
	Вар.	651	14	2.1	684	611						
254,	Ор.	660.9	7.54	1.14	680	637	661.19	13.94	-0.6279	0.53061	Сов	

792-1049	Var.	661	7	1.1	682	643				
----------	------	-----	---	-----	-----	-----	--	--	--	--

* Здесь: Ор. – Ориджин (OriginPro 7.5), Вар.- «Варикард» модели «ВК 1.41».

** Заключение на уровне вероятности $P_{0.05} = 0.05$, если $P < P_{0.05}$ - сравниваемые распределения отличаются («Отл.»), т.е. исходное распределение кардио-интервалов **не может** быть аппроксимировано по нормальному распределению Гаусса, если $P > P_{0.05}$ (или равно 0.05) – сравниваемые распределения статистически не отличаются по своим средним значениям или совпадают («Совп.»), т.е. исходное распределение кардио-интервалов **может** быть аппроксимировано по нормальному распределению Гаусса. «Отл.Б» значение $P = 0.0468 \sim 0.05$

Что же касается показателей, полученных на основе данных спектрального Фурье- анализа, то здесь картина получается иная. Прежде всего, уже визуально видно, что характер спектров претерпевает заметные изменения при переходе от одного участка записи к другому. Особенно резко меняется величина самой мощности спектра – это хорошо прослеживается на примере показанном на Рис. 3. То есть очевидно, что рекомендуемые во всех руководствах и стандартах необходимые для получения достоверных данных 256 интервалов явно не обеспечивают воспроизводимость результатов. Возможно, что этого и нельзя достичь, ввиду постоянной изменчивости внутренней среды человека и высокой чувствительности спектральных показателей к этим изменениям. Но тогда и возникает вопрос о правильной оценке границ применимости этих показателей.

Дальнейшая обработка результатов по сериям записей кардиоинтервалов, показывает справедливость этого замечания – спектральные показатели оказываются менее стабильными и устойчивыми при изменении выборки из одной и той же записи, они дают довольно значительный разброс, достигающий 200% и более. В то время как разброс основных статистических показателей остается в пределах 5 – 10 % , а некоторые другие важные показатели (такие как «коэффициент вариации», «Индекс напряжения» ...) варьируют в пределах до 50% - 80%. (см. Примеры в Табл.3 и Табл.4.). В Табл. 5 и Табл.6 представлен более наглядно разброс и «сортировка по стабильности» показателей ВСР по тем же файлам КИГ, что и в примерах на Табл.3.,4.

Последующее усреднение данных по разным сериям измерений КИГ (в различные дни, но в одинаковых условиях) для одного и того же испытуемого выявляет наименее изменяющиеся и сохраняющиеся стабильными показатели, характерные для данного индивидуума (в Табл. 7 приведен пример результата усреднения разброса показателей по 5 сериям – группам файлов – для № 1).

Для сравнения в Табл. 8 и Табл.9 приведены аналогичные результаты для двух других испытуемых (женщин разного возраста – 25 и 50 лет). Из сопоставления данных этих таблиц, во-первых, сразу видно, что наблюдается характерная индивидуальная избирательность по набору более стабильно сохраняющихся показателей ВСР. А, во-вторых, можно уверенно заключить, что спектральные показатели оказываются чрезвычайно неустойчивыми, изменчивыми и имеют значительный разброс за время одной и той же 10-минутной записи в одних и тех же повторяющихся спокойных условиях. Причем этот результат воспроизводится для довольно различных испытуемых.

Единственными спектральными показателями, которые еще сохраняют слабую стабильность на уровне 50 % оказываются только периоды спектра (период Мах спектра HF и , частично, период Мах спектра LF - см. в Табл. 7 – 9). Интересно, что

такая устойчивость к нестационарности временного ряда (последовательности кардиоинтервалов) некоторых близких спектральных показателей отмечается в некоторых работах [11], хотя там анализировались производные показатели (индексы) от мощности спектров LF и HF.

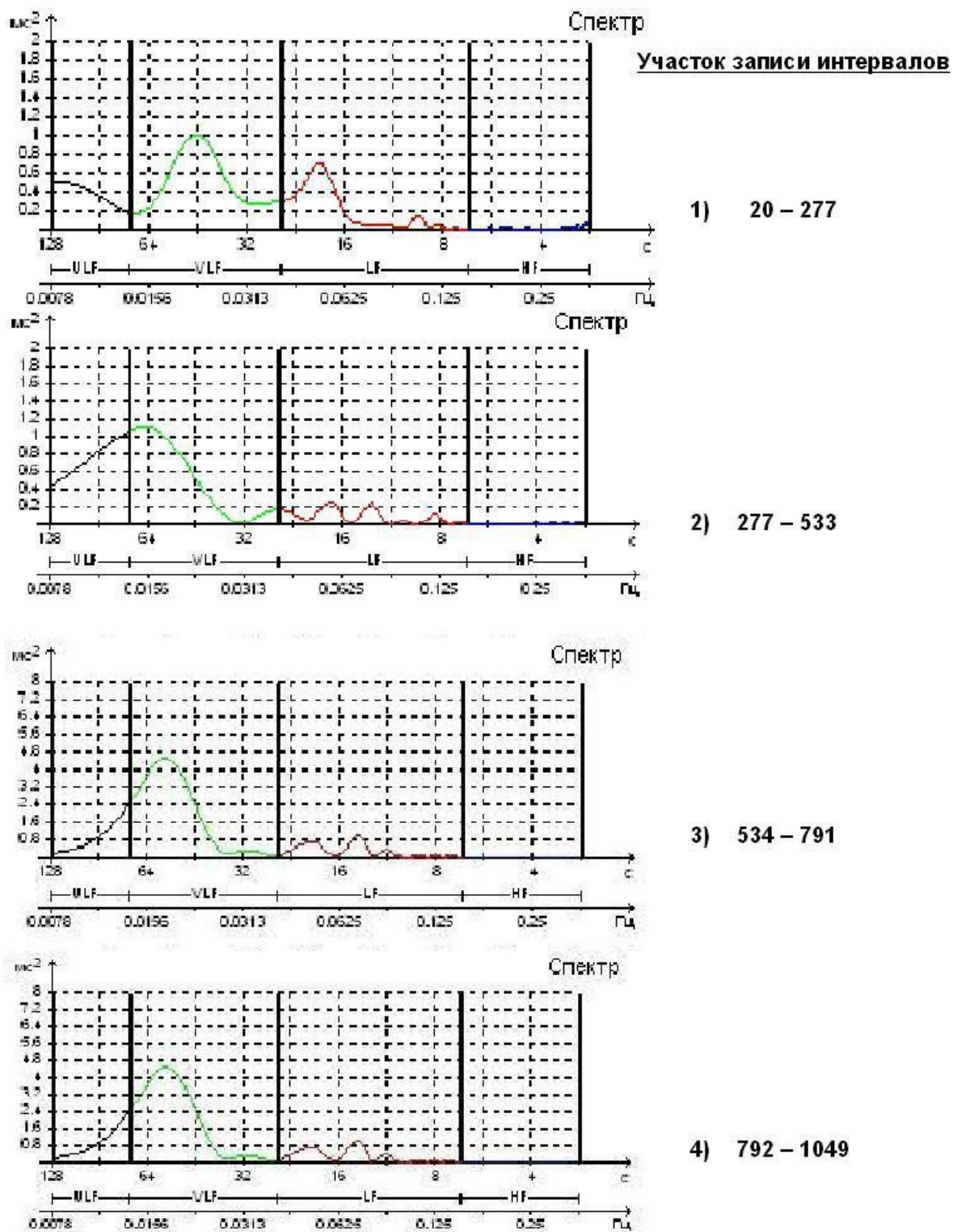


Рис. 3. Спектральные данные представленные из «Варикарда», на примере результатов обработки им файлов 251 – 254 от 24.03.2008 для испытуемого № 1.

Таблица 3. РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА ВАРИАБЕЛЬНОСТИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА.
 Данные из базы данных комплекса «Варикард» и их статистическая обработка на примере для одного испытуемого (номер 1, запись общей длиной 1054 интервала, время 14:31, дата 24.03.2008, запись проведена в положении «сидя» после 10-минутной адаптации в покое, файлы 251 - 254).

Показатели КИГ «Варикард»	Участок записи, интервалы, длительность времени по выборке				Ср. знач.	Макс раз-ница знач.	% разб-роса
	20 -277, 0:02:46	277- 533, 0:02:46	534 -791, 0:02:47	792 -1049, 0:02:50			
1. Частота пульса (ЧСС), уд.мин	93	93	92	91	92.25	2	2.17
2. Ср. знач. длит. RR интервалов, мс	646	648	651	661	651.5	15	2.30
3. Максимальное значение (Mx), мс.	664	664	684	682	673.5	20	2.97
4. Минимальное значение (Mn), мс.	625	625	611	643	626	22	3.51
5. Разность Max-Min (MxDMn), мс	39	39	73	39	47.5	34	71.58
6. Отношение Max/Min (MxRMn)	1.06	1.06	1.12	1.06	1.075	0.06	5.58
7. RMSSD, мс	4	4	5	4	4.25	1	23.53
8. pNN50, %	0	0	0	0	0		
9. Ср. кв. отклонение (SDNN), мс	8	7	14	7	9	7	77.78
10. Коэффициент вариации (CV), %	1.3	1.1	2.1	1.1	1.4	1	71.43
11. Дисперсия (D), мс	70	53	186	56	91.25	133	145.8
12. Мода (Mo), мс	642	651	656	661	652.5	19	2.912
13. Ампл. моды (AMoSDNN), %	33.3	47.1	46.1	36.4	40.73	13.8	33.89
14. Ампл. моды (AMo50), %	206.1	295.3	169.1	276	236.6	126.2	53.33
15. Ампл. моды (AMo7.8), %	29.5	37.7	29.1	50	36.58	20.9	57.14
16. Показ. автокорр. функции (CC1)	0.84	0.855	0.892	0.82	0.852	0.072	8.453
17. Показ. автокорр. функции (CC0)	9.18	18.05	8.03	9.1	11.09	10.02	90.35
18. Число аритмий (NArr), % (Общ.)	0.0 (0)	0.0 (0)	0.0 (0)	0.0 (0)			
19. Индекс напр. рег. систем (SI)	4116	5815	1765	5353	4262	4050	95.02
20. Суммар. мощн. спектра (TP), мс	184.63	136.48	385.61	244.21	237.7	249.1	104.8
21. Суммарная мощность HF, мс	22.49	11.77	14.45	31.33	20.01	19.56	97.75
22. Суммарная мощность LF, мс	76.87	43.65	134.72	68.62	80.97	91.07	112.5
23. Суммарная мощность VLF, мс	64.61	49.37	194.95	81.36	97.57	145.6	149.2
24. Суммарная мощность ULF, мс	20.66	31.7	41.49	62.91	39.19	42.25	107.8
25. Max выс.-част. сост. (HFmx), мс	0.09	0.03	0.04	0.1	0.065	0.07	107.7
26. Max низ.-част. сост. (LFmx), мс	0.71	0.26	1.02	0.36	0.588	0.76	129.4
27. Max сверхн.-ч. сост.(VLFmx), мс	1.01	1.1	4.46	1.33	1.975	3.45	174.7
28. Max ультрн.-ч. сост.(ULFmx), мс	0.5	1.06	2.42	1.37	1.338	1.92	143.6
29. Период Max спектра HF, с	2.89	3	3.24	2.96	3.023	0.35	11.6
30. Период Max спектра LF, с	18.96	17.36	14.03	16.79	16.79	4.83	28.78
31. Период Max спектра VLF, с	46.55	64	56.89	35.31	50.69	28.69	56.60
32. Период Max спектра ULF, с	113.78	73.14	73.14	102.4	90.62	40.64	44.85
33. Мощность HF, %	13.7	11.2	4.2	17.3	11.6	13.1	112.9

34. Мощность LF, %	46.9	41.7	39.1	37.8	41.38	9.1	21.99
35. Мощность VLF, %	39.4	47.1	56.7	44.9	47.03	17.3	36.79
36. LF/HF	3.42	3.71	9.32	2.19	4.66	7.13	153.0
37. Индекс центр. (VLF+LF)/HF (IC)	6.29	7.91	22.81	4.79	10.45	18.02	172.4

Таблица 4. РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА ВАРИАБЕЛЬНОСТИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА.

Данные из базы данных комплекса «Варикард» и их статистическая обработка на примере для одного испытуемого (номер 1, запись общей длиной 1050 интервала, время 16:45, дата 29.02.2008, запись проведена в положении «сидя» после 10-минутной адаптации в покое, файлы 219 -225).

№ по-каз. «Ва-ри-кар-да»	Участок записи, интервалы, длительность времени по выборке (мин:сек)							Ср. знач.	Макс раз-ница знач.	% разб-роса
	20 – 276, 02:56	277 – 533, 02:58	533 – 789, 03:01	789 – 1045, 02:59	100 – 356, 02:58	357 – 713, 04:10	714 – 970, 02:58			
1	87	86	85	86	86	85	86	85.86	2	2.33
2	689	696	706	697	696	702	695	697.3	17	2.44
3	731	730	751	729	735	751	726	736.1	25	3.4
4	654	656	666	665	653	657	666	659.6	13	1.97
5	77	74	85	64	82	94	60	76.57	34	43.27
6	1.12	1.11	1.13	1.1	1.13	1.14	1.09	1.12	0.05	4.48
7	6	8	10	9	8	9	9	8.43	4	47.46
8	0	0	0	0	0	0	0			
9	16	16	18	13	17	19	12	15.86	5	31.53
10	2.3	2.3	2.6	1.8	2.4	2.8	1.7	2.27	1.1	48.43
11	255	247	330	161	280	373	135	254.4	236	92.76
12	682	704	698	695	706	706	693	697.7	24	3.44
13	38.1	31.9	30.7	40.9	32.7	35.9	41.2	35.91	10.5	29.24
14	142	122.4	105.7	172.6	104.9	104.2	193.8	135.1	89.6	66.33
15	26.1	25.3	19.8	21.8	21.8	21.3	24.5	22.94	6.3	27.46
16	0.857	0.785	0.825	0.744	0.883	0.859	0.822	0.825	0.139	16.85
17	14.87	12.53	13.21	5.12	26.76	11.82	5.71	12.86	21.64	168.3
18	0.0 (0)	0.0 (0)	0.0 (0)	0.0 (0)	0.0 (0)	0.0 (0)	0.0 (0)			
19	1352	1175	891	1940	906	785	2330	1340	1545	115.3
20	200.82	321.83	831.74	192.83	462.76	363.13	432.87	400.85	638.9	159.4
21	16.24	27.51	94.94	42.89	63.59	35.38	54.04	47.80	78.7	164.7
22	45.98	103.71	274.71	99.66	105.77	97.19	194.14	131.59	228.7	173.8
23	36.04	97.91	285.61	25.54	112.28	35.99	136.67	104.29	260.1	249.4
24	102.56	92.7	176.48	24.74	181.13	194.57	48	117.17	169.8	145.0
25	0.06	0.08	0.23	0.09	0.2	0.07	0.11	0.12	0.14	116.7
26	0.2	0.96	1.61	0.62	0.9	0.68	1.21	0.88	1.41	159.7
27	1.59	1.96	6.35	0.33	3.85	0.63	2.13	2.41	6.02	250.2
28	2.51	1.91	6.43	0.52	4.61	5.43	1.09	3.21	5.91	183.9
29	3.1	2.75	2.78	2.83	2.89	2.41	4.3	3.01	1.89	62.82

30	24.98	24.38	19.32	11.77	24.38	11.01	12.64	18.35	13.97	76.11
31	68.27	64	68.27	68.27	68.27	64	31.03	61.73	37.24	60.33
32	93.09	73.14	73.14	113.78	85.33	146.29	102.4	98.17	73.15	74.52
33	16.5	12	14.5	25.5	22.6	21	14	18.01	13.5	74.94
34	46.8	45.3	41.9	59.3	37.6	57.7	50.4	48.43	21.5	44.4
35	36.7	42.7	43.6	15.2	39.9	21.4	35.5	33.57	28.4	84.6
36	2.83	3.77	2.89	2.32	1.66	2.75	3.59	2.83	1.93	68.2
37	5.05	7.33	5.9	2.92	3.43	3.76	6.12	4.93	4.41	89.45

Таблица 5. Разброс показателей КИГ для файлов 251 – 254.

Показатели	Проценты	1 – 5, %	5 – 10, %	10 – 25, %	25-50, %	50-100, %	100-200, %	> 200 %
1. Частота пульса (ЧСС), уд.мин		2.17						
2. Ср. знач. длит. RR интервалов, мс		2.30						
3. Максимальное значение (Mx), мс.		2.97						
4. Минимальное значение (Mn), мс.		3.51						
5. Разность Max-Min (MxDMn), мс						71.58		
6. Отношение Max/Min (MxRMn)			5.58					
7. RMSSD, мс					23.53			
8. pNN50, %								
9. Ср. кв. отклонение (SDNN), мс						77.78		
10. Коэффициент вариации (CV), %						71.43		
11. Дисперсия (D), мс							145.75	
12. Мода (Mo), мс		2.91						
13. Ампл. моды (AMoSDNN), %					33.89			
14. Ампл. моды (AMo50), %						53.33		
15. Ампл. моды (AMo7.8), %						57.14		
16. Показ. автокорр. функции (CC1)			8.45					
17. Показ. автокорр. функции (CC0)						90.35		
18. Число аритмий (NArr), % (Общ.)								
19. Индекс напр. рег. систем (SI)						95.02		
20. Суммар. мощн. спектра (TP), мс							104.79	
21. Суммарная мощность HF, мс						97.75		
22. Суммарная мощность LF, мс							112.48	
23. Суммарная мощность VLF, мс							149.20	
24. Суммарная мощность ULF, мс							107.81	
25. Мах выс.-част. Сост. (HFmx), мс							107.69	
26. Мах низ.-част. Сост. (LFmx), мс							129.36	
27. Мах сверхн.-ч. Сост.(VLFmx), мс							174.68	
28. Мах ультрн.-ч. Сост.(ULFmx), мс							143.55	

29. Период Мах спектра HF, с		11.58					
30. Период Мах спектра LF, с				28.78			
31. Период Мах спектра VLF, с					56.60		
32. Период Мах спектра ULF, с				44.85			
33. Мощность HF, %						112.93	
34. Мощность LF, %			21.99				
35. Мощность VLF, %				36.79			
36. LF/HF						153.00	
37. Индекс центр. (VLF+LF)/HF (IC)						172.44	

Таблица 6. Разброс показателей КИГ для файлов 219 – 225.

Показатели	Проценты	1 – 5, %	5 – 10, %	10 – 25, %	25-50, %	50-100, %	100-200, %	> 200 %
1. Частота пульса (ЧСС), уд.мин		2.33						
2. Ср. знач. длит. RR интервалов, мс		2.44						
3. Максимальное значение (Mx), мс.		3.4						
4. Минимальное значение (Mn), мс.		1.97						
5. Разность Мах-Min (MxDMn), мс					43.27			
6. Отношение Мах/Min (MxRMn)		4.48						
7. RMSSD, мс					47.46			
8. pNN50, %								
9. Ср. кв. отклонение (SDNN), мс					31.53			
10. Коэффициент вариации (CV), %					48.43			
11. Дисперсия (D), мс						92.76		
12. Мода (Mo), мс		3.44						
13. Ампл. моды (AMoSDNN), %					29.24			
14. Ампл. моды (AMo50), %						66.33		
15. Ампл. моды (AMo7.8), %					27.46			
16. Показ. автокорр. функции (CC1)				16.85				
17. Показ. автокорр. функции (CC0)							168.27	
18. Число аритмий (NArr), % (Общ.)								
19. Индекс напр. рег. систем (SI)							115.31	
20. Суммар. мощн. спектра (TP), мс							159.39	
21. Суммарная мощность HF, мс							164.65	
22. Суммарная мощность LF, мс							173.81	
23. Суммарная мощность VLF, мс								250
24. Суммарная мощность ULF, мс							144.95	

25. Мах выс.-част. сост. (HFmx), мс						116.67	
26. Мах низ.-част. сост. (LFmx), мс						159.71	
27. Мах сверхн.-ч. сост.(VLFmx), мс							250
28. Мах ультрн.-ч. сост.(ULFmx), мс						183.87	
29. Период Мах спектра HF, с					62.82		
30. Период Мах спектра LF, с					76.11		
31. Период Мах спектра VLF, с					60.33		
32. Период Мах спектра ULF, с					74.52		
33. Мощность HF, %					74.94		
34. Мощность LF, %				44.4			
35. Мощность VLF, %					84.6		
36. LF/HF					68.2		
37. Индекс центр. (VLF+LF)/HF (IC)					89.45		

Таблица 7. Разброс показателей КИГ для усреднения по 5 группам файлов (сериям по разным датам) для испытуемого №1.

Показатели	1 – 5, %	5 – 10, %	10 –25, %	25-50, %	50-100, %	100-200, %	> 200 %
1. Частота пульса (ЧСС), уд.мин	4.104						
2. Ср. знач. длит. RR интервалов, мс	4.19						
3. Максимальное значение (Mx), мс.	3.546						
4. Минимальное значение (Mn), мс.	4.464						
5. Разность Мах-Min (MxDMn), мс				38.282			
6. Отношение Мах/Min (MxRMn)	3.624						
7. RMSSD, мс				40.334			
8. pNN50, %							
9. Ср. кв. отклонение (SDNN), мс				45.082			
10. Коэффициент вариации (CV), %				47.072			
11. Дисперсия (D), мс					92.184		
12. Мода (Mo), мс		5.286					
13. Ампл. моды (AMoSDNN), %				32.138			
14. Ампл. моды (AMo50), %				40.56			
15. Ампл. моды (AMo7.8), %				33.534			
16. Показ. автокорр. функции (CC1)			11.022				
17. Показ. автокорр. функции (CC0)					86.268		
18. Число аритмий (NArr), % (Общ.)							
19. Индекс напр. рег. систем (SI)					70.87		
20. Суммар. мощн. спектра (TP), мс						117.962	
21. Суммарная мощность HF, мс						122.816	

22. Суммарная мощность LF, мс						123.856	
23. Суммарная мощность VLF, мс						170.748	
24. Суммарная мощность ULF, мс						125.554	
25. Мах выс.-част. сост. (HFmx), мс						132.136	
26. Мах низ.-част. сост. (LFmx), мс						139.668	
27. Мах сверхн.-ч. сост.(VLFmx), мс						178.972	
28. Мах ультрн.-ч. сост.(ULFmx), мс						114.56	
29. Период Мах спектра HF, с				42.038			
30. Период Мах спектра LF, с				40.836			
31. Период Мах спектра VLF, с				48.638			
32. Период Мах спектра ULF, с				48.484			
33. Мощность HF, %					83.176		
34. Мощность LF, %					70.268		
35. Мощность VLF, %					74.32		
36. LF/HF						108.208	
37. Индекс центр. (VLF+LF)/HF (IC)						109.652	

Таблица 8. Разброс показателей КИГ для файлов испытуемого № 2 (возраст 25 лет).

Показатели	1 – 5, %	5 – 10, %	10 –25, %	25-50, %	50-100, %	100-200, %	> 200 %
1. Частота пульса (ЧСС), уд.мин	2.61						
2. Ср. знач. длит. RR интервалов, мс	3.19						
3. Максимальное значение (Mx), мс.		6.35					
4. Минимальное значение (Mn), мс.	1.02						
5. Разность Мах-Min (MxDMn), мс			24.62				
6. Отношение Мах/Min (MxRMn)		6.03					
7. RMSSD, мс			12.96				
8. pNN50, %					66.76		
9. Ср. кв. отклонение (SDNN), мс				30.34			
10. Коэффициент вариации (CV), %				27.32			
11. Дисперсия (D), мс					54.96		
12. Мода (Mo), мс	1.46						
13. Ампл. моды (AMoSDNN), %			19.79				
14. Ампл. моды (AMo50), %					56.53		
15. Ампл. моды (AMo7.8), %				32.98			
16. Показ. автокорр. функции (CC1)				25.04			
17. Показ. автокорр. функции (CC0)						117.09	

18. Число аритмий (NArr), % (Общ.)								
19. Индекс напр. рег. систем (SI)						89.87		
20. Суммар. мощн. спектра (TP), мс							135.53	
21. Суммарная мощность HF, мс							125.62	
22. Суммарная мощность LF, мс							158.62	
23. Суммарная мощность VLF, мс						88.36		
24. Суммарная мощность ULF, мс							174.21	
25. Мах выс.-част. сост. (HFmx), мс							198.50	
26. Мах низ.-част. сост. (LFmx), мс							178.31	
27. Мах сверхн.-ч. сост.(VLFmx), мс								208
28. Мах ультрн.-ч. сост.(ULFmx), мс							166.64	
29. Период Мах спектра HF, с		11.58				78.25		
30. Период Мах спектра LF, с					33.39			
31. Период Мах спектра VLF, с						58.51		
32. Период Мах спектра ULF, с						65.19		
33. Мощность HF, %					32.93			
34. Мощность LF, %						59.72		
35. Мощность VLF, %						76.06		
36. LF/HF						88.58		
37. Индекс центр. (VLF+LF)/HF (IC)						53.10		

Таблица 9. Разброс показателей КИГ для файлов испытуемого № 3 (возраст 50 лет).

Показатели	Проценты	1 – 5, %	5 – 10, %	10 –25, %	25-50, %	50-100, %	100-200, %	> 200 %
1. Частота пульса (ЧСС), уд.мин				24.40				
2. Ср. знач. длит. RR интервалов, мс				27.90				
3. Максимальное значение (Mx), мс.				27.15				
4. Минимальное значение (Mn), мс.				23.42				
5. Разность Мах-Min (MxDMn), мс						76.80		
6. Отношение Мах/Min (MxRMn)			12.20					
7. RMSSD, мс						78.95		
8. pNN50, %								306
9. Ср. кв. отклонение (SDNN), мс						82.05		
10. Коэффициент вариации (CV), %						59.73		
11. Дисперсия (D), мс							151.18	

12. Мода (Mo), мс			24.49				
13. Ампл. моды (AMoSDNN), %			17.98				
14. Ампл. моды (AMo50), %					88.88		
15. Ампл. моды (AMo7.8), %					68.42		
16. Показ. автокорр. функции (CC1)			17.12				
17. Показ. автокорр. функции (CC0)					87.41		
18. Число аритмий (NArr), % (Общ.)							
19. Индекс напр. рег. систем (SI)							202
20. Суммар. мощн. спектра (TP), мс							280
21. Суммарная мощность HF, мс						129.00	
22. Суммарная мощность LF, мс							270
23. Суммарная мощность VLF, мс							266
24. Суммарная мощность ULF, мс							374
25. Мах выс.-част. сост. (HFmx), мс							239
26. Мах низ.-част. сост. (LFmx), мс							236
27. Мах сверхн.-ч. сост.(VLFmx), мс							331
28. Мах ультрн.-ч. сост.(ULFmx), мс							385
29. Период Мах спектра HF, с		12.36					
30. Период Мах спектра LF, с				49.27			
31. Период Мах спектра VLF, с					58.48		
32. Период Мах спектра ULF, с					79.72		
33. Мощность HF, %							211
34. Мощность LF, %						123.53	
35. Мощность VLF, %					94.78		
36. LF/HF						196.32	
37. Индекс центр. (VLF+LF)/HF (IC)							200

Таблица 10. Сравнение выбранных устойчивых показателей ВСП для трех различных испытуемых

Испытуемый	№ 1, Серия 24.03.08	№ 2	№ 3
Показатели			
1. Частота пульса (ЧСС), уд.мин	92.25	76.57	65.57
2. Ср. знач. длит. RR интервалов, мс	651.50	784.57	921.00
5. Разность Мах-Min (MxDMn), мс	47.50	223.43	192.71
6. Отношение Мах/Min (MxRMn)	1.08	1.33	1.23
7. RMSSD, мс	4.25	30.86	19.00
8. pNN50, %	0.00	9.89	1.80
10. Коэффициент вариации (CV), %	1.40	5.86	4.19
12. Мода (Mo), мс	652.50	754.29	918.71

13. Ампл. моды (АМоSDNN), %	40.73	37.39	34.49
14. Ампл. моды (АМо50), %	236.63	46.70	58.84
15. Ампл. моды (АМо7.8), %	36.58	9.40	11.40
16. Показ. автокорр. функции (CC1)	0.85	0.70	0.84
19. Индекс напр. рег. систем (SI)	4262.25	142.43	214.57
29. Период Мах спектра HF, с	3.02	4.74	3.40
30. Период Мах спектра LF, с	16.79	8.77	20.58

Таблица 11. Индивидуальная динамика изменения выбранных устойчивых показателей ВСР (на примере № 1)

Дата	16.11. 07	29.02. 08	04.03. 08	13.03. 08	14.03. 08	24.03. 08
Показатели						
1. Частота пульса (ЧСС), уд.мин	86.00	85.86	89	92.25	90.67	92.25
2. Ср. знач. длит. RR интервалов, мс	696.00	697.29	673.25	649.50	663.33	651.50
5. Разность Мах-Min (MxDMn), мс	80.33	76.57	64.5	46.75	61.00	47.50
6. Отношение Мах/Min (MxRMn)	1.12	1.12	1.1	1.08	1.10	1.08
7. RMSSD, мс	6.67	8.43	6.25	5.00	5.00	4.25
10. Коэффициент вариации (CV), %	2.47	2.27	1.875	1.45	1.70	1.40
12. Мода (Mo), мс	690.00	697.71	669.75	651.00	662.00	652.50
13. Ампл. моды (АМоSDNN), %	35.80	35.91	40.95	38.83	36.33	40.73
14. Ампл. моды (АМо50), %	132.67	135.09	173.05	224.48	200.33	236.63
15. Ампл. моды (АМо7.8), %	22.20	22.94	30.65	32.13	39.17	36.58
16. Показ. автокорр. функции (CC1)	0.89	0.83	0.8415	0.82	0.86	0.85
19. Индекс напр. рег. систем (SI)	1219.33	1339.86	2029	3732.75	2505.00	4262.25
29. Период Мах спектра HF, с	4.36	3.01	2.92	3.00	3.43	3.02

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный анализ и полученные данные позволяют заключить, что в качестве устойчивых показателей ВСР, характеризующих индивидуальные особенности ФС человека в покое, следует брать статистические показатели – спектральные показатели не подходят для этой цели вследствие своей высокой изменчивости. Выбранные нами статистические показатели (отмеченные в Табл. 10, 11), имеют устойчивые особенности и их набор может служить «портретом» отдельного человека, позволяющим отличать его от другого в исходном состоянии покоя. На основе данных по изменению набора устойчивых показателей ВСР можно следить за динамикой ФС и прогнозировать возможные срывы адаптации. Кроме того, динамика данных показателей является необходимой основой для проведения всевозможных функциональных проб, тестов и

оценки влияния возможной переносимости конкретным человеком действия различных факторов, в том числе оценки фармпрепаратов. Применение такого более полного набора устойчивых показателей ВСР расширяет возможности предложенного нами ранее графического представления анализа выбранных показателей ритмограмм [12].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Баевский Р.М., Кириллов О.В., Клецкин В.П. Математический анализ изменений сердечного ритма при стрессе. – М., 1984.
- [2] Баевский Р.М., Иванов Г.Г., Чирейкин Л.В. и др. Анализ variabilityности сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем (методические рекомендации). Вестник аритмологии. 2001, Том 24. С. 65 – 87.
- [3] Дорошев В.Г. Системный подход к здоровью летного состава в XXI веке. – М.: «Паритет Граф», 2000. – 368 с.
- [4] Березный Е.А., Рубин А.М. Практическая кардиоритмография. – Санкт-Петербург: НПП «Нео», 1999. – 144 с.: ил.
- [5] Жемайтите Д.М. Анализ сердечного ритма. – Вильнюс, 1982.
- [6] Variabilityность сердечного ритма. Стандарты измерения, физиологической интерпретации, и клинического использования. – Санкт-Петербург: Изд-во АОЗТ «ИНКАРТ», 2001.
- [7] Данилова Н.Н. Психофизиологическая диагностика функциональных состояний. – М.: Изд-во МГУ, 1992. – 192 с.
- [8] Петров В. И., Попов А. С., Иноземцев А. В. Интегральная оценка функционального состояния вегетативной нервной системы // Вестн. РАМН. 2004. № 4. С. 14–18.
- [9] Н.К. Быстрова, М.В. Маринина, Е.В. Садырина, М.С. Сивашев. Пульсометрия переходных процессов при активной ортостатической пробе. Вестник аритмологии, 2002, Том. 27, стр.18-20.
- [10] Киеня А.И., Бандажевский Ю.И. Здоровый человек: основные показатели: Справочник.- Минск: ИП «Экоперспектива», 1997. – 108 с.
- [11] Машин В.А. Нестационарность и длительность временного ряда сердечного ритма при диагностике функциональных состояний. Биофизика, 2007. Том 52, № 2. С. 344 -354.
- [12] Н.К. Быстрова, Е.И. Маевский, Е.В. Парамонова. Алгоритм прогноза развития неоптимальных функциональных состояний у лиц, работающих в условиях высокого психо-эмоционального напряжения. 1. Графическое представление и анализ выбранных показателей ритмограмм. Математическая биология и биоинформатика. 2009. Т. 4. № 2. С. 81.
URL: [http://www.matbio.org/downloads/Bystrova2009\(4_81\).pdf](http://www.matbio.org/downloads/Bystrova2009(4_81).pdf)

ПРИЛОЖЕНИЕ

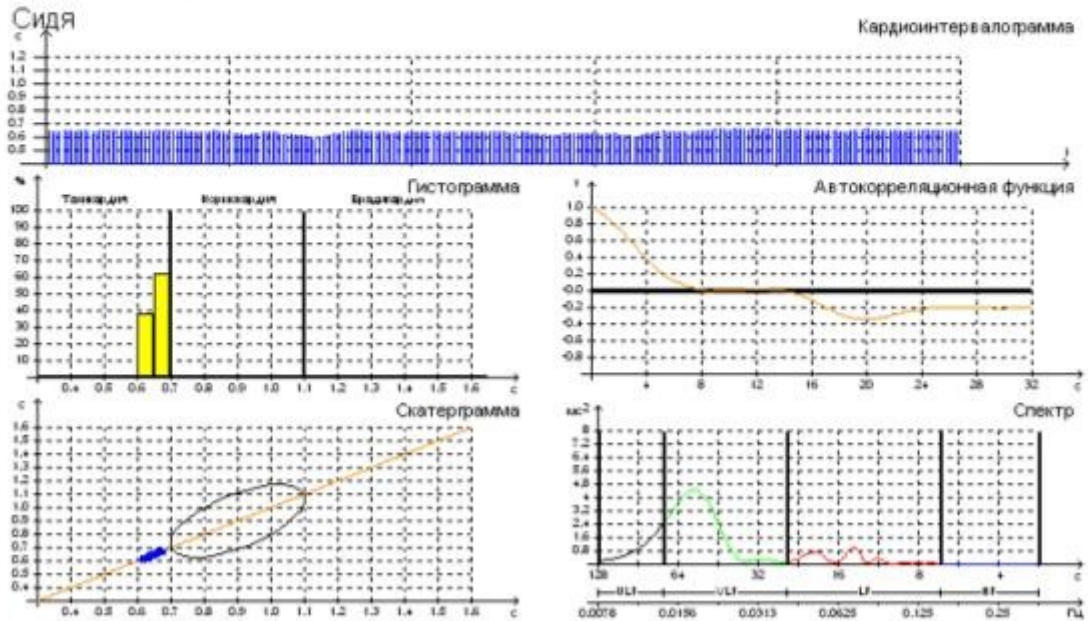
ПРИМЕРЫ РЕЗУЛЬТАТОВ ВСР, ПОЛУЧАЕМЫХ ИЗ «ВАРИКАРДА»

Файл 252 (участок интервалов 20-277)

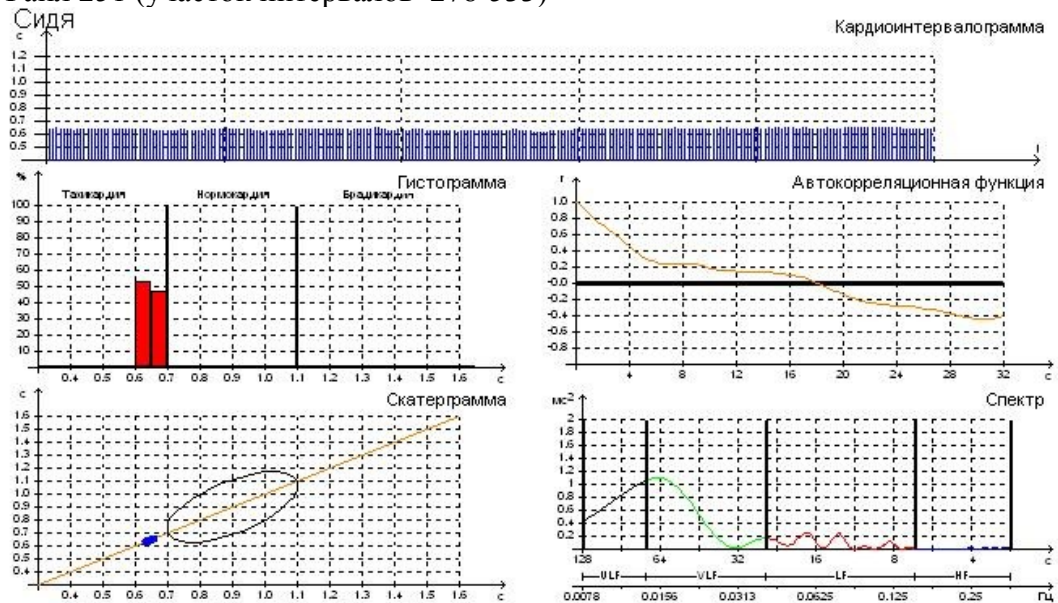
Комплекс "Варикард"

РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА ВАРИАБЕЛЬНОСТИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА

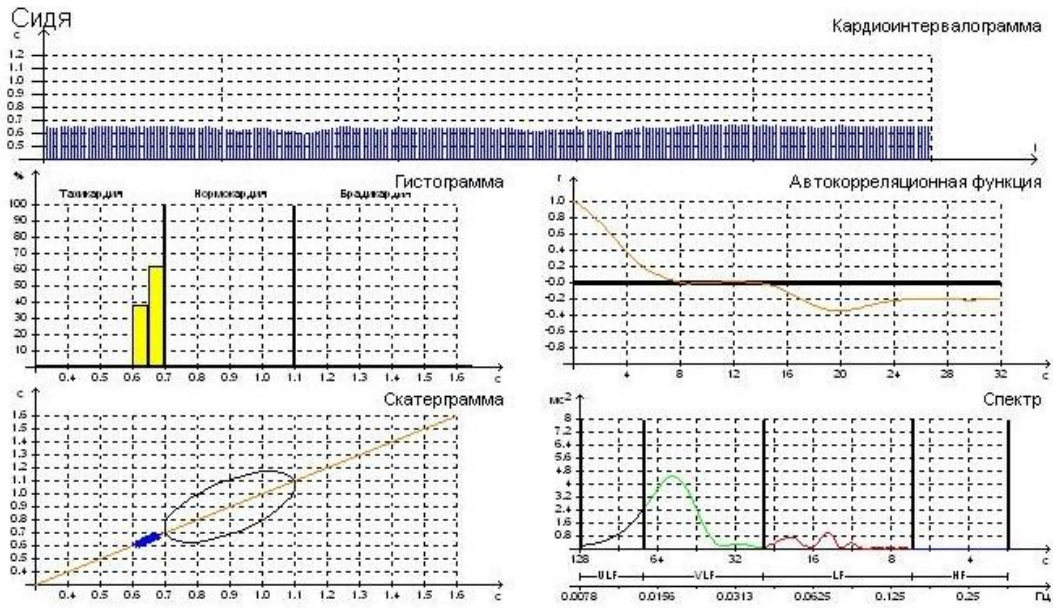
n 1					
Дата	Время	Пол	Возраст	ЧСС	Время записи
24.03.2008	14:31	жен.	58	92	00:02:47



Файл 251 (участок интервалов 278-533)



Файл 253 (участок интервалов 534-791)



Файл 254 (участок интервалов 792-1051)

