

УДК 612.172.4

## СООТНОШЕНИЕ ДИНАМИКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВАРИАБЕЛЬНОСТИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА И ДИСПЕРСИОННОГО КАРТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАММЫ У ЧЕЛОВЕКА ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ МОНИТОРИНГЕ В СОСТОЯНИИ ПОКОЯ

© 2012 г. <sup>1,2</sup>Т. А. Зенченко, <sup>3,4</sup>Л. В. Поскотинова,  
<sup>1</sup>А. А. Медведева, <sup>2,5</sup>Н. И. Хорсева

<sup>1</sup>Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН, г. Пущино Московской области; <sup>2</sup>Институт космических исследований РАН, г. Москва; <sup>3</sup>Институт физиологии природных адаптаций Уральского отделения РАН, г. Архангельск; <sup>4</sup>Северный (Арктический) федеральный университет им. М. В. Ломоносова, г. Архангельск; <sup>5</sup>Институт биохимической физики РАН им. Н. М. Эммануэля, г. Москва

Проведен эксперимент по часовому мониторингованию показателей дисперсионного картирования электрокардиограммы и вариабельности сердечного ритма у 30 здоровых волонтеров в возрасте от 18 до 59 лет в состоянии покоя. Обнаружено, что микроамплитудные колебания электрокардиограммы имеют периодический характер, колебания в значительной мере определяются изменениями баланса вегетативной нервной системы. Усиление электрической и ионно-метаболической нестабильности правого предсердия связано с усилением общей вариабельности ритма сердца и ее вагусной составляющей, а уровень вариаций микроамплитудных колебаний скоростных характеристик начального фронта деполяризации желудочков – с ослаблением активности парасимпатического отдела.

**Ключевые слова:** вариабельность сердечного ритма, дисперсионное картирование электрокардиограммы

Многokратно продемонстрировано в работах различных авторов, что показатели сердечно-сосудистой системы человека изменяются под воздействием факторов земной и космической погоды. Наибольшее число работ посвящено динамике артериального давления, однако существуют также публикации, в которых сообщается о реакции на внешние факторы индивидуальных показателей микроциркуляции крови [6, 9, 10], скорости распространения пульсовой волны [5, 24] и баланса вегетативной нервной системы (ВНС) [4, 17, 20, 21]. К сожалению, значительная вариабельность амплитуд и даже знаков обнаруженных эффектов, обусловленная, по-видимому, их зависимостью от текущего состояния как самого человека, так и условий окружающей среды, не позволяет в настоящее время построить достаточно полную непротиворечивую модель реакции организма человека на комплекс факторов земной и космической погоды.

Преодолеть указанные затруднения возможно на основе исследований по синхронному измерению показателей, отражающих состояние сразу нескольких отделов сердечно-сосудистой системы (ССС) на индивидуальном уровне, с последующей сравнительной оценкой их чувствительности к внешним факторам. Такое исследование позволит понять степень активации различных регуляторных систем организма в ответ на действие внешних факторов, а также более полно и обоснованно описать физиологические механизмы развития адаптационно-приспособительной реакции с учетом индивидуальных особенностей. Для таких исследований, помимо традиционных, необходимы новые, более чувствительные, неинвазивные методы функциональной диагностики, позволяющие за короткий промежуток времени оценить состояние основных отделов ССС.

Одним из таких достаточно новых, но уже признанных в клинической практике является метод дисперсионного картирования (ДК) электрокардиограммы (ЭКГ), который позволяет оценить микроамплитудные колебания ЭКГ-сигнала (амплитуда менее 50 мкВ) [13, 14, 18, 23]. Метод эффективно применяется для ранней диагностики заболеваний, сопровождающихся морфологическими нарушениями различных отделов сердца.

Высокая чувствительность данного метода, отражающего не только морфологические, но и ионно-электролитные и метаболические изменения в миокарде, позволила начать разработку его применения к задачам оценки адаптационных возможностей организма практически здоровых людей [15, 22].

Однако до настоящего времени не решена до конца проблема физиологической интерпретации групп микроальтернаций ЭКГ у

здоровых и больных людей, которая заключается в высоких межиндивидуальных различиях реакций данных показателей [14, 23], а также их варибельности во времени при индивидуальном мониторинге. Предполагается, что формирование характеристик микроальтернаций отражает как внутренние, автономные электрохимические процессы в миокарде, так и центральные механизмы вегетативной регуляции ритма сердца.

Параллельное использование методов, в рамках которых накоплен опыт в отношении показателей с более определенной морфофункциональной интерпретацией, может уточнить физиологический смысл регистрируемых сигналов. Известно, что волновые характеристики варибельности сердечного ритма отражают дыхательные, барорефлекторные, сосудистые, гуморально-метаболические механизмы регуляции сердечной деятельности [1, 2, 3, 16, 19]. У практически здоровых людей с выраженным преобладанием центральной регуляции обнаружена зависимость между степенью напряжения регуляторных систем и величиной дисперсионных отклонений от нормы по показателю «Миокард» [8, 22]. Однако вопрос о роли различных звеньев вегетативной регуляции ритма сердца в формировании групп микроамплитудных колебаний ЭКГ остается открытым.

Цель настоящей работы заключалась в исследовании частотных закономерностей временных вариаций показателей дисперсионного картирования электрокардиограммы у здоровых людей разного возраста и возможной обусловленности микроальтернаций изменениями вегетативной регуляции ритма сердца.

### Методы

Метод дисперсионного картирования электрокардиограммы (ДК ЭКГ) основан на информационно-топологической модели микроколебаний сигнала ЭКГ, величина которых составляет всего 3–5 % от амплитуды зубца R и позволяет оценить характер и степень нарушений электрофизиологических свойств миокарда, которые не выявляются на обычной ЭКГ [18]. По мнению авторов методики, цифровая модель электрических флуктуаций, получаемая на основе анализа микроколебаний ЭКГ («портрет» сердца), является косвенным интегральным индикатором изменений электрических характеристик ионных каналов кардиомиоцитов. Изменения «портрета» сердца отражают электролитные, метаболические изменения миокарда, т. е. дают информацию о текущем состоянии миокарда и его динамике [13].

Для выявления микроколебаний синхронизируют несколько последовательных циклов в каждом из шести отведений от конечностей (I, II, III, aVL, aVR, aVF) и получают сигналы низкоамплитудных флуктуации комплекса QRST в каждый момент времени регистрации. Дисперсионные характеристики в приборе «Кардиовизор», реализующем метод ДК ЭКГ, рассчитываются по девяти анализируемым группам (англ. group) отклонений, обозначаемым G1, G2...

G9. В группах G1–G9 анализируются дисперсии, отражающие степень выраженности и локализацию электрофизиологических нарушений в миокарде предсердий и желудочков в фазах де- и реполяризации. Исследуемыми параметрами являлись значения дисперсионных отклонений электрокардиосигнала при: завершении процесса деполяризации миокарда правого и левого предсердий (G1–G2), окончании деполяризации правого (G3) и левого (G4) желудочков, реполяризации правого (G5) и левого (G6) желудочков, показателя симметрии деполяризации в средней части комплекса QRS (G7) и в начальной части комплекса QRS (G9).

Согласно [22], группа G9 является наиболее чувствительным индикатором компенсаторных и патологических реакций миокарда желудочков при возникновении электрофизиологических отклонений от нормы. Чем больше показатель G9, тем больше асимметрия возбуждения желудочков в начале деполяризации. Кроме того, показатель G9 отражает динамику компенсаторных реакций, например, при проведении нагрузочных тестов, т. е. позволяет наблюдать процесс восстановления метаболизма и перфузии миокарда после нагрузки. Интегральным показателем, отражающим усиление микроамплитудных электрофизиологических колебаний, является индекс «Миокард» (ИМ), который в норме составляет до 15–17 % при условии, если показатели G стремятся к нулю.

Для дисперсионного картирования ЭКГ-сигнала и измерения показателей варибельности сердечного ритма (BCP) использовали технические и программные средства, разработанные ООО «Медицинские компьютерные системы»: выносные блоки для регистрации ЭКГ-сигнала «KARDI-2» (2 шт.) и пакет прикладных программ «Кардиовизор-ОбсИ» и «Эко-сан-2007» (г. Зеленоград, Россия).

Оценивали вегетативную регуляцию ритма сердца по параметрам BCP — временные и спектральные характеристики динамического ряда кардиоинтервалов: частоту сердечных сокращений (HR, уд./мин), квадратный корень из суммы квадратов разности величин последовательных пар интервалов NN (нормальных интервалов NN, RMSSD), стандартное отклонение RR-интервалов (SDNN, мс), процент количества пар RR-интервалов, различающихся более 50 мс (pNN50, %), амплитуду моды (AMo, %), индекс напряжения регуляторных систем (stress-index, SI, усл. ед.), суммарную мощность спектра BCP (total power — TP, мс<sup>2</sup>), абсолютные и процентные доли мощностей диапазонов 0,4–0,15 Гц (High Frequency — HF, мс<sup>2</sup> и %), 0,15–0,04 Гц (low frequency — LF, мс<sup>2</sup> и %) и 0,04–0,015 Гц (Very Low Frequency — VLF, мс<sup>2</sup> и %), соотношение показателей LF/HF; индекс централизации (IC = (LF + VLF) / HF); показатель активности регуляторных систем (PARS, усл. ед.) [3].

Обследованы 30 волонтеров (10 мужчин и 20 женщин) на добровольной основе с выражением

информированного согласия на обследование. Все обследованные лица не предъявляли жалоб на момент обследования, не имели в анамнезе сосудистых катастроф (острый инфаркт миокарда, инсульт, нарушения ритма сердца) и верифицированных метаболических нарушений и эндокринопатий (сахарный диабет, дисфункции щитовидной железы).

Распределение волонтеров по возрасту и полу приведено на рис. 1.

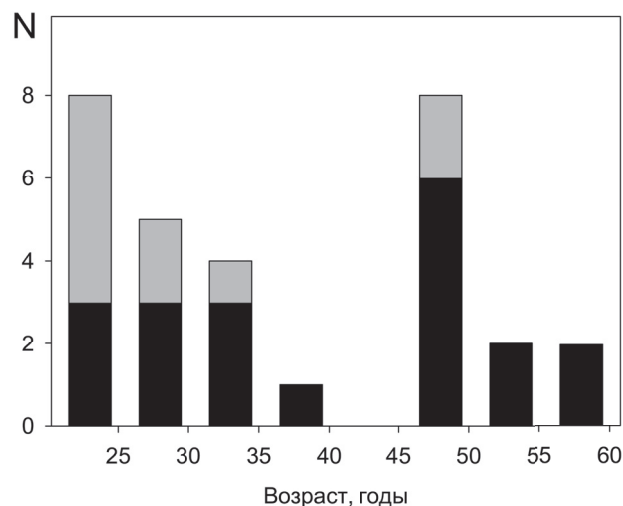


Рис. 1. Распределение волонтеров по возрасту и полу. Темные столбики — женщины, светлые — мужчины

Измерения показателей каждого волонтера проводили в течение 60 минут, в положении лежа, после 10-минутной адаптации. Для измерений были использованы одновременно два кардиоусилителя, один из которых измерял показатели ДК ЭКГ, другой — показатели ВСР. Измерения показателей ДК ЭКГ проводили с интервалом 1 раз в минуту (30 секунд — регистрация ЭКГ, 30 секунд — обработка сигнала). Синхронная регистрация кардиоинтервалограммы (КИГ) для оценки показателей ВСР велась непрерывно в течение всего часа.

Для характеристики общего текущего состояния каждого волонтера были вычислены усредненные по всему времени проведения эксперимента (1 час) индивидуальные значения показателей ДК ЭКГ и ВСР. Усредненные значения показателей ДК ЭКГ (G1...G9) каждого волонтера были рассчитаны как среднее арифметическое 60 одномоментных значений. С целью получения адекватных спектральных показателей ВСР проводилось усреднение результатов обработки 12 последовательных 5-минутных интервалов записи КИГ [3]. Для выявления общегрупповых зависимостей между средними значениями этих показателей использовали методы корреляционного анализа.

Для индивидуальной оценки динамической связи между текущими значениями показателей ДК ЭКГ и ВСР каждого испытуемого полученные КИГ были фрагментированы на отрезки длительностью в 1 минуту, и для каждого отрезка были вычислены временные показатели ВСР (HR, RMSSD, pNN50, SDNN, AMo

и SI). Таким образом, для сравнения динамики показателей ДК ЭКГ и ВСР каждого волонтера были получены временные ряды 1-минутных синхронных значений показателей ДК ЭКГ (ИМ, G1—G9) и временных показателей ВСР. Оценку степени связи ежеминутных значений показателей ДК ЭКГ и ВСР производили методами корреляционного, спектрального и вейвлет анализа.

Статистические методы анализа. Расчеты производились в программной среде MATLAB R2010a посредством встроенных функций. Поскольку большинство исследуемых выборочных распределений не удовлетворяло критериям нормальности согласно критерию Жарка — Бера, среднegrupповые значения представлены медианой (Me) и межквартильным размахом (Q1; Q3) (табл. 1). Был также применен метод расчета рангового коэффициента корреляции Спирмена ( $r_s$ ) с оценкой уровня значимости ( $p$ ).

Для удобства представления результатов корреляционного анализа по каждой паре значений  $r_s$  и  $p$  был рассчитан комбинированный коэффициент  $K_s = -\text{sign}(r_s) \times \lg(p)$ . Такая форма представления результатов имеет преимущества по сравнению с традиционной (пары значений  $r_s$  и  $p$ ) при анализе больших массивов результатов. Во-первых, использование  $K_s$  позволяет сравнивать и отображать на графиках результаты, полученные на временных рядах разной длины, во-вторых,  $K_s$  возрастает (а не уменьшается, как  $p$ ) при повышении степени корреляционной зависимости, что упрощает анализ результатов, не приводя при этом к потере информации, поскольку сохраняет информацию о знаке корреляции. При этом значения  $K_s > 1,3$  и  $K_s < -1,3$  (где  $1,3 = -\log(0,05)$ ) означает наличие соответственно положительной и отрицательной корреляции с уровнем значимости  $p < 0,05$ ,  $|K_s| > 2$  — наличие корреляции с уровнем значимости  $p < 0,01$ , а  $|K_s| < 1,3$  — отсутствие статистически значимой корреляции.

Перед вычислением Фурье-преобразования сигнал был пропущен через полосовой фильтр с окном Блэкмана — Харриса со значениями нижней и верхней частот среза соответственно 0,025 и 0,75 от частоты Найквиста [7]. Однако важной информацией является не только присутствие определенного периода в спектре сигнала, но и время его появления и исчезновения. Достаточно малая длительность анализируемого сигнала (60 точек) не позволяла применить для его обработки метод спектрально-временного преобразования, поэтому нами был использован более удобный в данном случае метод вейвлет-преобразования с базовой функцией Морле [7].

$$\Psi(t) = \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) \cdot \cos(5t)$$

Для удобства сопоставления результатов, полученных разными методами, масштабные параметры, полученные в вейвлет-анализе, были преобразованы во временные характеристики, аналогичные периодам колебаний в спектральном анализе.

### Результаты

Среднегрупповые закономерности взаимосвязи показателей ВСР и ДК ЭКГ

В табл. 1 приведены усредненные по группе значения ИМ и показателей ВСР, рассчитанные для каждого волонтера как среднее арифметическое 12 значений, вычисленных по последовательным 5-минутным интервалам регистрации КИГ. Все показатели в целом демонстрируют состояние нормотонии у обследованных лиц, т. е. баланс симпатических и вагусных влияний на ритм сердца. При этом есть тенденция к усилению напряжения регуляторных систем по показателю PARS, который при сбалансированном вегетативном тоне не превышает 3 баллов [3].

Таблица 1  
Значения индекса «Миокард» и показателей variability сердечного ритма в группе обследованных лиц (n = 30)

Показатель	Me	Q1	Q3
ИМ, %	13,87	11,14	14,88
HR, уд./мин	69,3	66,2	74,0
RMSSD, мс	35,8	27,1	46,4
pNN50, %	13,7	5,3	24,1
SDNN, мс	49,9	41,6	58,9
AMo, %	40,7	34,8	49,0
SI, усл. ед.	83,7	61,4	109,1
TP, мс <sup>2</sup>	2276,3	1623,8	3005,3
HF, %	30,5	24,3	42,1
LF, %	47,6	38,6	52,3
VLF, %	21,5	17,1	27,3
LF/HF	1,6	1,1	2,3
IC	2,5	1,7	3,3
PARS	3,2	2,6	4,4

Средние значения показателей G1...G9 для каждого волонтера были рассчитаны как среднее арифметическое 60 одномоментных значений. Таким образом, если во время измерений встречалось хотя бы одно ненулевое значение, среднее значение данного показателя было больше нуля. Было обнаружено, что наибольшее число случаев отличных от нуля значений наблюдается для показателей G1 и G2 (зарегистрированы соответственно у 26 и 24 волонтеров из 30) и показателя G9 (у 20 волонтеров из 30). Для остальных показателей (G3...G8) случаи появления ненулевых значений были единичными. Таким образом, наибольшие микроамплитудные колебания ЭКГ отражали процессы деполяризации предсердий и начального фронта деполяризации желудочков.

Корреляционный анализ усредненных данных за 60 минут показателей ВСР и ДК ЭКГ показал общегрупповые закономерности зависимости микроамплитудных колебаний ЭКГ от уровня вегетативной регуляции ритма сердца (табл. 2). Показано, что повышение возраста испытуемых ассоциировано с закономерным снижением вагусных влияний на ритм сердца, что отражается в отрицательных корреляциях показателя «Возраст» и параметров RMSSD, pNN50, SDNN, TP, HF, LF, % и положительных корреляциях с показателями SI, VLF, %, LF/HF и IC.

В то же время от возраста волонтера не зависят ни ИМ ( $K_s = 0,08$ ), ни один из показателей G1–G9 ( $|K_s(1-9)| < 0,92$ , ни PARS ( $K_s = 0,12$ ).

Согласно рис. 1, в группе обследованных волонтеров можно было выделить три достаточно однородные выборки — мужчин моложе 40 лет (8 человек), женщин моложе 40 лет (10 человек) и женщин старше 40 лет (10 человек). Парное сравнение выбороч-

Таблица 2  
Значения комбинированного коэффициента корреляционной связи между значениями показателей дисперсионного картирования электрокардиограммы и variability сердечного ритма (n = 30)

Ks	Возраст	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	ИМ
ИМ	-0,08	1,19	<b>1,80</b>	<b>4,25</b>	<b>1,96</b>	0,85	1,21	<b>1,85</b>	0,04	<b>1,30</b>	
HR	-0,57	-0,87	-0,59	-0,32	-0,52	0,84	0,39	0,24	0,21	-0,91	-0,05
RMSSD	<b>-2,53</b>	1,10	0,90	0,45	0,22	-0,61	-1,12	-0,16	0,48	0,25	-0,24
pNN50	<b>-1,74</b>	<b>1,64</b>	<b>1,36</b>	0,38	0,26	-0,57	-1,07	-0,16	0,48	0,20	-0,10
SDNN	<b>-1,57</b>	1,16	0,85	0,18	0,22	-0,35	-0,58	-0,03	0,48	0,49	-0,04
Mo	0,88	0,87	0,69	0,24	0,38	-0,94	-0,46	-0,22	-0,16	0,64	0,07
AMo	1,10	<b>-1,35</b>	-1,15	-0,37	-0,33	0,19	0,40	-0,18	-0,55	-0,97	-0,23
SI	<b>1,77</b>	-0,92	-0,61	-0,18	-0,15	0,48	0,74	0,25	-0,34	-0,37	0,16
TP	<b>-1,44</b>	1,10	0,78	0,16	0,22	-0,38	-0,62	-0,07	0,48	0,52	0,00
HF	<b>-3,49</b>	1,07	0,85	0,36	0,06	-0,51	-1,04	-0,04	0,40	0,15	-0,20
LF	-1,06	0,45	0,27	0,01	0,29	-0,26	-0,55	-0,14	0,48	0,75	-0,02
VLF	-0,13	0,59	0,20	-0,17	0,26	-0,22	-0,32	-0,34	0,16	0,89	0,03
HF, %	<b>-3,11</b>	1,09	0,81	0,15	-0,39	-0,53	-1,02	-0,11	0,16	-0,32	-0,40
LF, %	0,69	-0,79	-0,39	-0,02	0,68	0,83	0,74	0,18	0,06	0,73	0,59
VLF, %	<b>5,32</b>	-0,35	-0,33	-0,36	0,02	0,24	0,67	0,14	-0,27	-0,08	0,11
LF/HF	<b>2,04</b>	-1,09	-0,68	-0,03	0,41	0,44	0,87	0,06	-0,02	0,62	0,54
IC	<b>3,11</b>	-1,09	-0,81	-0,12	0,37	0,57	1,08	0,12	-0,19	0,25	0,48
PARS	0,12	-0,42	-1,06	0,03	0,88	0,48	0,87	-0,57	-0,06	0,15	0,47

Примечание. Жирным шрифтом выделены все случаи  $|K_s| > 1,3$ , т. е. корреляций, значимых на уровне  $p < 0,05$ .



ных значений показателей G1 и G9 по критерию  $\chi^2$  между группами мужчин моложе 40 лет и женщин моложе 40 лет дало значения показателя  $F(G1) = 0,687$  и  $F(G9) = 3,6$ , а между группами женщин моложе и старше 40 лет — соответственно  $F(G1) = 0,952$  и  $F(G9) = 1,818$ . Таким образом, в данной группе волонтеров уровень микроальтернаций, отображаемых показателями G1 и G9, не зависел от возраста и пола испытуемых на уровне значимости  $p < 0,05$  ( $F = 3,84$ ).

Показатель G1 был положительно связан с вагусными влияниями ( $pNN50$ ,  $K_s = 1,64$ ) и отрицательно с симпатическими влияниями ( $AMo$ ,  $K_s = -1,35$ ) на ритм сердца. Показатель G2 также прямо зависел от степени повышения показателя  $pNN50$  ( $K_s = 1,36$ ). При этом колебания ИМ были статистически значимо связаны с процессами деполяризации левого предсердия (G2) и желудочков (G3, G4, G7, G9), что закономерно следует из самого определения данного индекса.

*Спектрально-временные характеристики индивидуальных показателей ДК ЭКГ и ВСР и связь между ними*

Индивидуально для каждого волонтера были получены вейвлет- и фурье-образы временных рядов показателей G1, G9 (в случаях, если в этих рядах периодически встречались ненулевые значения), а также показателей HR, RMSSD,  $pNN50$ , SDNN,  $AMo$ , и SI. Кроме того, для оценки связи ежеминутных значений показателей ДК ЭКГ и ВСР были применены методы кросскорреляционного и спектрального анализа (расчет функции когерентности) в диапазоне сдвигов  $\pm 3$  мин.

Всего ненулевые значения показателя G1 встречались у 26 человек из 30. Из них у 7 человек нарушения были единичными, а у 19 носили периодический характер, что позволило применить к обработке их данных методы корреляционного и спектрального анализа.

На рис. 2A–D приведены примеры вейвлет (справа) и фурье (слева) преобразований показателей  $AMo$ ,  $pNN50$ , G1, и HR для волонтера 8. Чтобы наглядно проиллюстрировать, как выглядят вейвлет-образы двух заведомо связанных между собой (как функционально, так и статистически ( $K_s = -4,31$ )) сигналов, на рис. 2A и 2B приведены результаты преобразования временных рядов показателей  $AMo$  (рис. 2A) и  $pNN50$  (рис. 2B).

На рисунках справа видно присутствие в спектрах обоих рядов периода в 4–6 мин. В области более длинных периодов уже имеются различия: в спектре  $AMo$  присутствует широкий пик 10–15 мин, а также 25–30 мин, в то время как в спектре  $pNN50$  наблюдается период 20–25 мин. Однако при оценке степени сходства или различия периодов необходимо помнить, что при длине ряда в 60 точек значения периодов 20 и 30 мин находятся уже на границе разрешения метода.

Более подробную и развернутую во времени картину можно видеть на рисунках слева, где приведены образы вейвлет-преобразований данных сигналов. По оси абсцисс приведено время эксперимента (в минутах), по оси ординат — величина периода (также в минутах), а текущая фаза каждого конкретного периода показана интенсивностью цвета (светлый — максимум, темный — минимум).

Белыми прямоугольниками на обоих рисунках выделены два периода — 4–6 мин и 20–25 мин. Вейвлет-преобразование показывает также противофазность изменений сигналов на обоих указанных периодах: светлые экстремумы (максимумы) на одном рисунке соответствуют по времени темным (минимумам) на другом, и наоборот.

Из рис. 2C (справа) видно, что вариации сигнала G1 имеют спектр, крайне близкий к спектру показателя  $pNN50$ . В то же время левый рисунок показывает не только совпадение фаз этих двух сигналов (совпадают положения на временной шкале светлых и темных экстремумов), но и тот факт, что синхронные колебания в двух рядах возникают одновременно и одновременно же уменьшают свою интенсивность. Высокая степень синхронизации этих временных рядов значениями функции когерентности (рис. 2F).

Методом кросскорреляционного анализа обнаружена значимая положительная корреляция G1 с показателями  $pNN50$  ( $K_s = 8,67$ ), RMSSD ( $K_s = 7,82$ ) и TP ( $K_s = 1,54$ ) и отрицательная с показателями HR и  $AMo$ .

В то же время видно, что динамика изменений показателя HR (рис. 2D) очень близка к динамике показателя  $AMo$ , т. е., в согласии с теорией, увеличение сердечного ритма сопровождается снижением его вариабельности и активацией симпатического звена ВНС. Таким образом, у волонтера 8 на протяжении всего времени эксперимента уровень нарушения деполяризации правого предсердия, отражаемый показателем G1, был тем выше, чем сильнее был выражен уровень активации парасимпатического отдела ВНС, причем в динамике всех измеренных показателей присутствовали колебания с периодами 5–7 мин и 20–25 мин.

Пример статистически значимой связи противоположного знака между вариациями показателя G1 и уровнем активации парасимпатического отдела ВНС приведен на рис. 3, где показаны результаты анализа данных волонтера 24, близкого к волонтеру 8 (см. рис. 2) по возрасту и того же пола.

На рис. 3AB справа видны одинаковые значения периодов в этих рядах (5–6 мин, 12 мин и 20 мин). Период, близкий к 18 минутам, хорошо виден также и на рисунке слева (обведен белым прямоугольником). На левом рисунке видно также присутствие во временных рядах SDNN и  $AMo$  колебания с периодом, близким к 35 минутам (который в данном случае находится уже за пределами разрешения спектрального метода). Кроме того, вейвлет-преобразование пока-

зывает также противофазность изменений сигналов на обоих выделенных периодах.

Из рис. 3С видно, что вариации сигнала G1 имеют спектр, крайне близкий к спектру показателя АМо, а левый рисунок показывает, что и фазы колебаний этих двух сигналов совпадают. На рис. 3D приведены результаты преобразования сигнала HR данного волонтера. В отличие от показателей волонтера 8 (см.

рис. 2), в данном случае динамика показателя HR на периоде 18–20 мин отчетливо синфазна изменениям показателя SDNN и противофазна динамике АМо. Таким образом, у данного волонтера увеличение сердечного ритма происходит синхронно с активизацией не симпатического, а вагусного звена ВНС.

На рис. 3Е приведена динамика синхронных значений показателей G1 и SDNN (в инвертированной

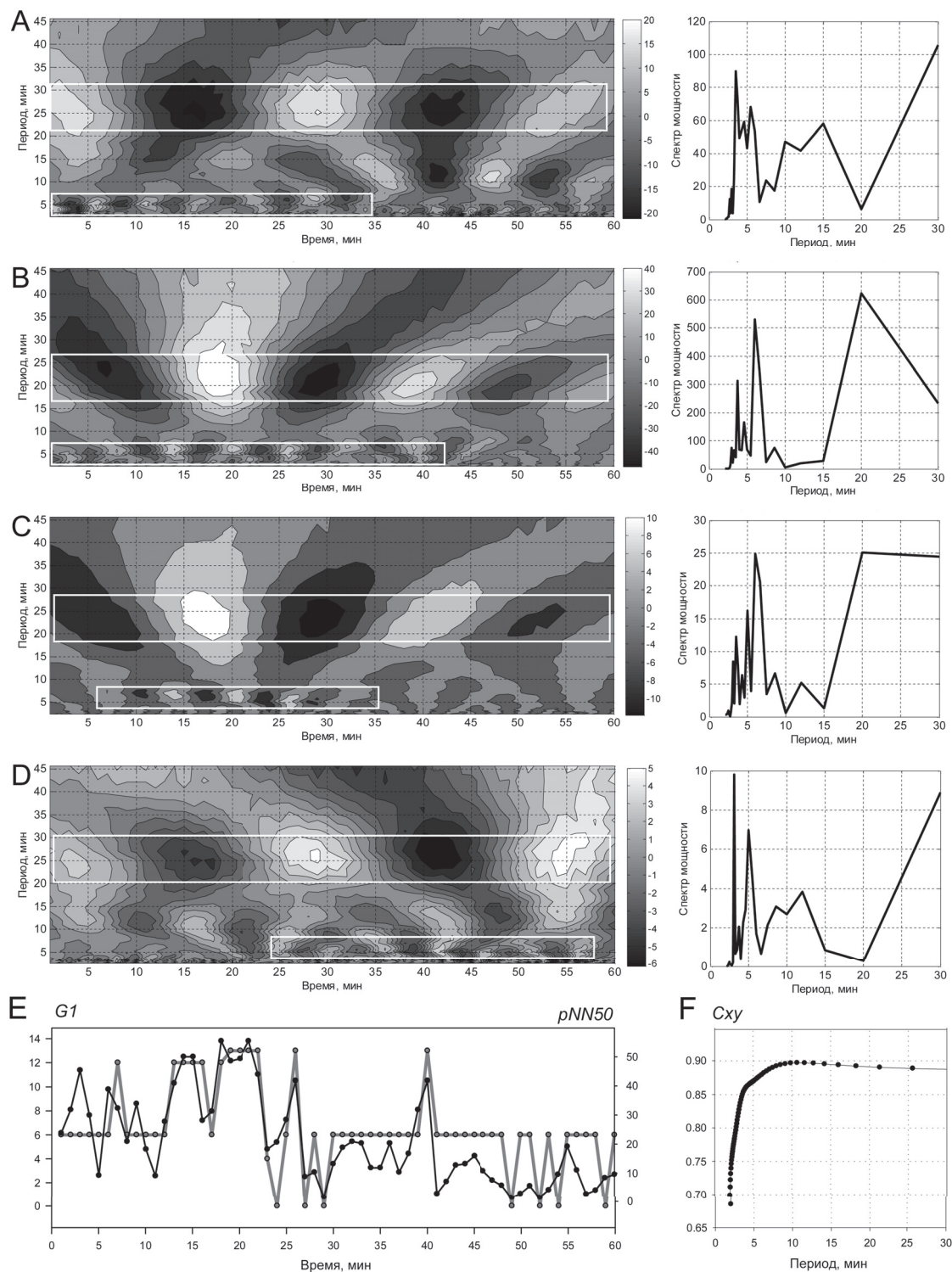


Рис. 2: А–D – примеры вейвлет (слева) и фурье (справа) преобразований временных рядов одноминутных значений показателей АМо (А), рNN50 (В), G1 (С) и HR (D) волонтера 8 (женщина, 30 лет); Е – иллюстрация временного хода синхронных значений показателей рNN50 и G1 волонтера 8; F – функция когерентности этих временных рядов

шкале) ( $K_s = -2,88$ ) и вид функции когерентности этих двух показателей (рис. 3F).

Было обнаружено, что в 13 случаях из 19 наблюдалась картина, аналогичная изображенной на рис. 2, а в 4 — аналогичной рис. 3. У двоих волонтеров периодические колебания в ряду значений G1 наблюдались, но не были статистически связаны с вариациями показателей ВСР. Во всех данных случаях средние значения ИМ не превышали 15–16 %. К сожалению, не удалось

выявить каких-либо признаков, отличающих лиц с более распространенной формой реакции, от тех, у кого знак реакции был противоположным.

Нарушения уровня вариаций микроамплитудных колебаний скоростных характеристик начального фронта деполяризации желудочков, отражаемых ненулевыми значениями показателя G9, наблюдались у 20 человек из 30, из них у 16 человек нарушения носили периодический характер.

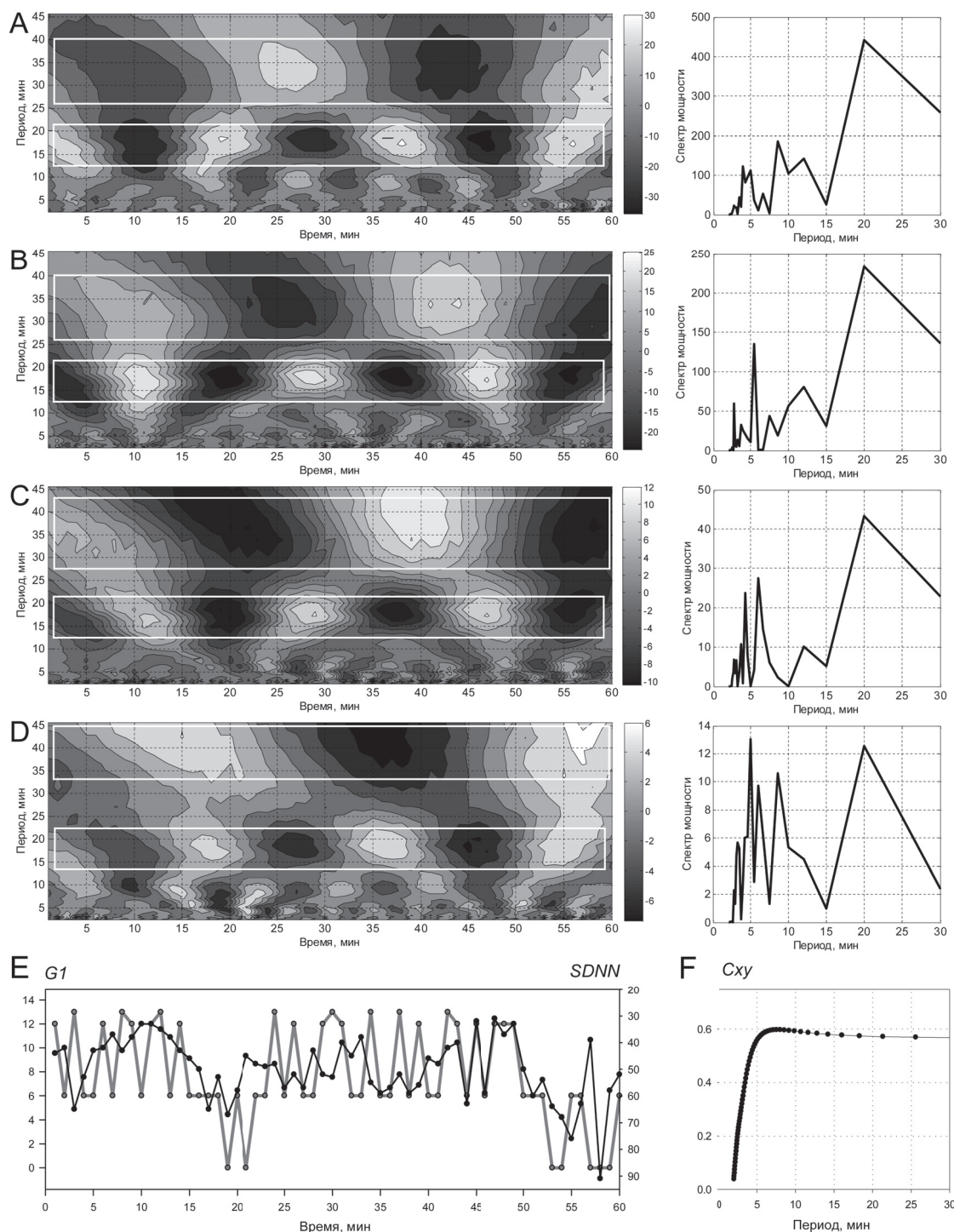


Рис. 3: A–D — примеры вейвлет (слева) и фурье (справа) преобразований временных рядов одномоментных значений показателей SDNN (A), AMo (B), G1 (C) и HR (D) волонтера 24 (женщина, 32 года); E — иллюстрация временного хода синхронных значений показателей G1 и SDNN (в инвертированной шкале) волонтера 24; F — функция когерентности этих временных рядов



На рис. 4 А–D приведены примеры вейвлет- и фурье-преобразований показателей АМо, SDNN, G9 и HR, а также динамика минутных значений показателей SDNN и G9 (ряд сдвинут влево на 3 мин) и функция когерентности (рис. 4F) этих показателей для волонтера 26. Видно, что спектр показателя G9 (4C) очень близок к спектрам показателей АМо50 (4A) и SDNN (4B) — везде наблюдаются периоды 5–6 и 12 мин. Из рисунков вейвлет-преобразований видно,

что, во-первых, во всех трех рядах присутствуют также колебания с периодом в 40–45 мин (который находится уже за пределами разрешения спектрального метода), во-вторых, фаза колебаний показателя G9 противоположна фазе pNN50 и совпадает с фазой АМо (а также и HR) (рис. 4D).

В данном случае корреляционный метод анализа показывает невысокий уровень значимости статистической связи между показателями ВСР и G9 ( $|K_s| \leq$

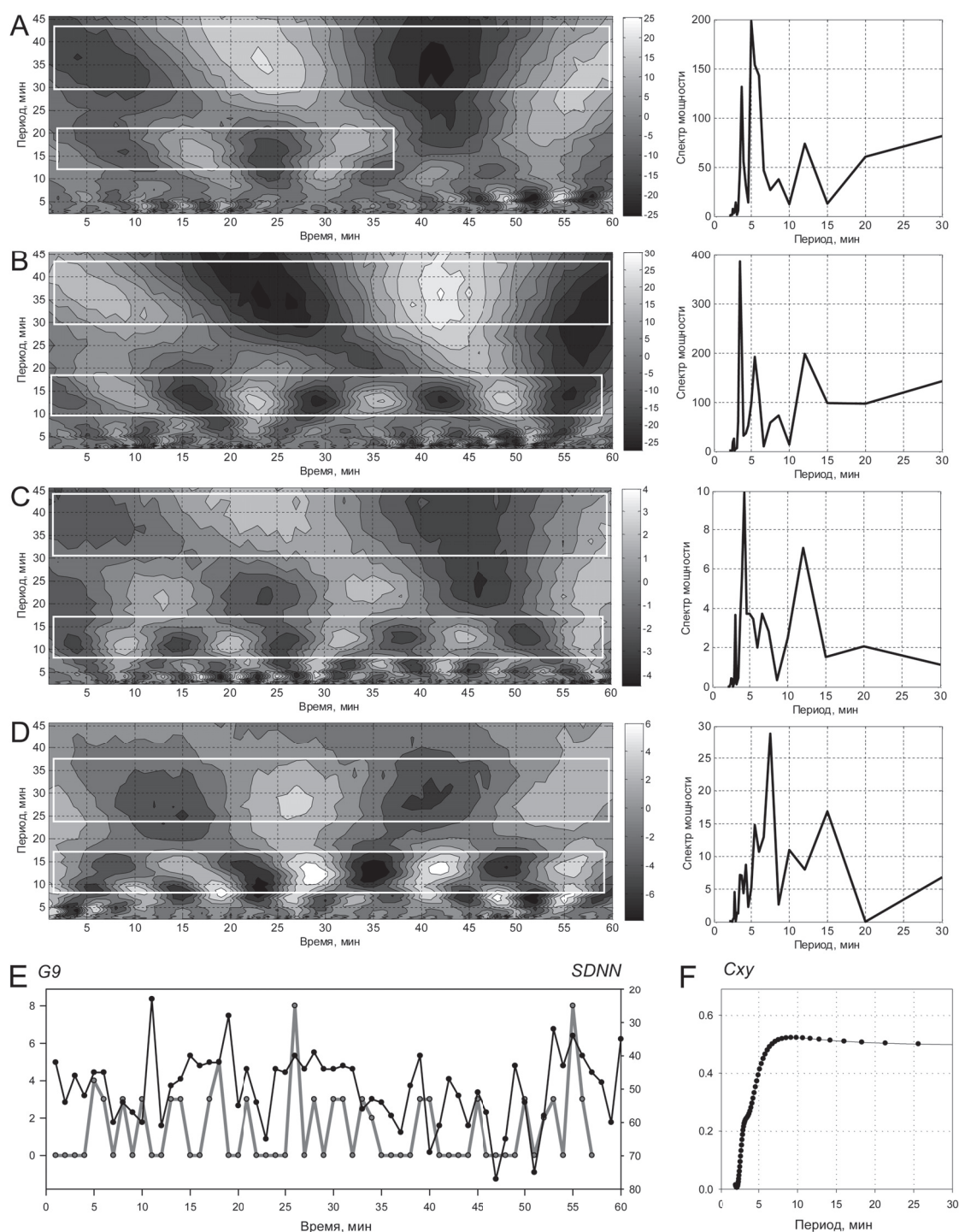


Рис. 4: А–D — примеры вейвлет (слева) и фурье (справа) преобразований временных рядов одноминутных значений показателей АМо (А), SDNN (В), G9 (С) и HR (D) волонтера 26 (женщина, 54 года); Е — иллюстрация временного хода синхронных значений показателей G9 и SDNN (в инвертированной шкале) волонтера 26; F — функция когерентности этих временных рядов



1,23) в диапазоне сдвигов  $\pm 3$  мин. Спектральный метод оказывается более чувствительным — значение функции когерентности между временными рядами G9 и SDNN для периодов больше 7 мин превышает значение 0,5 (рис. 4F). Таким образом, данный пример дополнительно иллюстрирует целесообразность применения методов вейвлет- и фурье-анализа.

Было обнаружено, что в 12 случаях из 16 наблюдалась картина, аналогичная изображенной на рис. 4: уровень вариаций микроамплитудных колебаний скоростных характеристик начального фронта деполаризации желудочков, отражаемый показателем G9, был тем выше, чем слабее были вагусные влияния на ритм сердца.

В двух случаях наблюдалась статистически значимая положительная корреляция, что выражалось также в синфазности колебаний показателей G9, с одной стороны, и pNN50, RMSSD, SDNN — с другой. Эти два волонтера характеризовались исходно крайне высоким уровнем активации вагусного отдела при выраженной барорефлекторной активности (одни из самых высоких в группе значений RMSSD, SDNN и TP, одни из самых низких — АМо и SI и *самые высокие из всех испытываемых* значения показателя LF). У двоих волонтеров колебания в ряду показателей G9 наблюдались, но не были статистически связаны с вариациями показателей BCP.

### Обсуждение результатов

Результаты как среднegrupпового, так и индивидуального анализа показали, что вероятность наблюдения нарушений по показателям G1 и G9 (наиболее часто встречающиеся ненулевые показатели) не зависит от пола и возраста волонтера. Возрастные изменения сердечной деятельности в данном случае в большей степени обусловлены именно вегетативными сдвигами, а не состоянием электрической стабильности миокарда, отражаемой этими показателями.

В большинстве обнаруженных случаев усиление электрической и ионно-метаболической нестабильности правого предсердия (показатель G1) прямо связано с усилением общей вариабельности ритма сердца и вагусной ее составляющей. Электрическая активность правого предсердия во многом определяется активностью расположенного здесь синусового узла, следовательно, колебания показателя G1 могут отражать процессы синусовой аритмии сердечной деятельности. Кроме того, колебания венозного возврата к сердцу и изменения гемодинамической нагрузки в предсердиях также могут приводить к усилению электрической нестабильности в предсердиях.

Учитывая, что как однонаправленные, так и разнонаправленные с колебаниями показателей парасимпатического звена ВНС соотношения колебаний G1 регистрировались в состоянии покоя и происходили на фоне ИМ, не превышающего 19 %, то данные изменения группы G1 и G2 можно, по-видимому, расценивать как вариант индивидуальной физиологической нормы. Более точные пределы физиологических колебаний групп G1 и G2 возможны в

условиях функциональных проб [14] с учетом изменений вегетативного статуса.

Обнаруженный нами на индивидуальном уровне характер взаимосвязи между текущими значениями показателей G9 и парасимпатического звена ВНС вполне согласуется с представлениями авторов метода ДК ЭКГ о том, что данный показатель отражает, среди прочего, динамику компенсаторных реакций. В норме он повышается при возрастании нагрузки (активации симпатического отдела) и снижается в процессе расслабления (активации парасимпатического отдела).

По-видимому, отсутствие статистически значимых связей колебаний показателей G1 и G9 с показателями BCP обуславливает приоритет во влиянии на микроамплитудные колебания ЭКГ внутренних ионно-метаболических событий, а не внешних нейровегетативных влияний на ритм сердца, однако удельный вес таких случаев, согласно нашей выборке обследованных, невелик (10–20 %). В подавляющем числе случаев ритмика колебаний показателей микроальтераций G1 и G9 в значительной мере определяется колебаниями вегетативного баланса.

Понимание физиологических процессов, лежащих в основе колебаний микроальтераций у здоровых лиц, важно для разработки методов неинвазивного мониторинга процессов, протекающих в организме, и, по-видимому, реагирующих на вариации магнитного поля Земли посредством синхронизации колебаний [11, 12]. Как показывают результаты данной работы, для исследования динамики таких процессов более предпочтительным является измерение показателей BCP, поскольку примерно у трети обследованных значения показателей ДК ЭКГ принимали устойчиво нулевые значения, т. е. оказывались недостаточно чувствительными. Такой метод в настоящее время является крайне актуальным, т. к. дает основу для исследования физиологических механизмов развития адаптационно-приспособительной реакции на действие факторов земной и космической погоды с учетом индивидуальных особенностей.

### Выводы

В результате серии экспериментов по мониторингу показателей ДК ЭКГ и BCP у 30 здоровых волонтеров (в возрасте от 18 до 59 лет) было показано, что:

- в группе здоровых лиц значения показателей ИМ и G1–G9, в отличие от показателей BCP, практически не зависят от возраста и пола испытуемого;
- микроамплитудные колебания ЭКГ имеют периодический характер, колебания в значительной мере определяются изменениями баланса ВНС и синхронизованы с динамикой колебаний показателей, отражающих уровень активации парасимпатического отдела;
- в большинстве случаев (13 из 19) усиление электрической и ионно-метаболической нестабильности правого предсердия (согласно показателю G1) связано с усилением общей

вариабельности ритма сердца и ее вагусной составляющей. В четырех случаях наблюдалась зависимость противоположного знака, в двух случаях связи не обнаружено;

- уровень микроальтераций, отражаемый показателем G9, в подавляющем числе случаев (12 из 16) был тем выше, чем меньше был выражен уровень активации парасимпатического отдела ВНС. В двух случаях наблюдалась зависимость противоположного знака, в двух случаях связи не обнаружено.

Таким образом, у здоровых лиц микроамплитудные колебания в группах G1–2 и G9, определяемые методом дисперсионного картирования электрокардиограммы в подавляющем числе случаев обусловлены изменениями баланса вегетативной нервной системы.

Работа поддержана грантом Президиума РАН «Фундаментальные науки — медицине» (2012).

#### Список литературы

1. Баевский Р. М., Берсенева Е. Ю., Максимов А. Л., Соболев А. М. Оценка функциональных резервов организма у альпинистов на основе анализа variability сердечного ритма // Материалы 5-й научно-практической конференции «Диагностика и лечение нарушений регуляции сердечно-сосудистой системы», Москва, 2003. С. 287–292
2. Баевский Р. М., Иванов Г. Г., Рябыкина Г. В. Современное состояние исследований по variability сердечного ритма в России // Вестник аритмологии. 1999. № 14. С. 71–75.
3. Баевский Р. М., Иванов Г. Г., Чирейкин Л. В. и др. Анализ variability сердечного ритма при использовании различных электрографических систем (методические рекомендации) // Вестник аритмологии. 2001. № 24. С. 65–87.
4. Бреус Т. К., Баевский Р. М., Фунтова И. И., Никулина Г. А., Алексеев Е. В., Черникова А. Г. Влияние возмущений геомагнитного поля на реакцию адаптивного стресса у космонавтов // Космические исследования. 2008. Т. 46, № 4. С. 378–383.
5. Бреус Т. К., Гурфинкель Ю. И., Зенченко Т. А., Ожередов В. А. Сравнительный анализ чувствительности различных показателей сосудистого тонуса к метеорологическим и геомагнитным факторам // Геофизические процессы и биосфера, 2010. Т. 9, № 2. С. 23–36.
6. Гурфинкель Ю. И., Каце Н. В., Макеева О. В., Михайлов В. М. Возможности использования неинвазивной компьютерной капилляроскопии в космической медицине и в клинической практике // Методы нелинейного анализа в кардиологии и онкологии: Физические подходы и клиническая практика / под ред. Р. Р. Назирова. М.: КДУ 2010. Т. 2. С. 111–122.
7. Дьяконов В. П. MATLAB 6.5 SP1/7.0+Simulink 5/6. Обработка сигналов и проектирование фильтров. Солон-Пресс, 2005. 576 с.
8. Ешманова А. К. Variability сердечного ритма и состояние миокарда при воздействии «сухой» иммерсии: автореф. дис. ... канд. мед. наук. Москва. 2009. 25 с.
9. Зенченко Т. А., Рехтина А. Г., Хорсева Н. И. и др. Сравнительный анализ чувствительности различных показателей гемодинамики здоровых людей к действию атмосферных факторов в условиях средних широт // Геофизические процессы и биосфера. 2009. Т. 8, № 4. С. 61–76.
10. Зенченко Т. А., Поскотинова Л. В., Рехтина А. Г., Заславская Р. М. Связь параметров колебаний кровотока в микроциркуляторном русле с геомагнитными пульсациями Рс3 // Биофизика. 2010. Т. 55, № 4. С. 732–739.
11. Зенченко Т. А., Мерзлый А. М., Дроздов А. В., Вечерухин Н. М. Результаты синхронной регистрации мгновенных нарушений электропроводимости миокарда и вариаций геомагнитного поля в диапазоне 3–30 мин во время магнитной бури // Материалы 8-й зимней молодежной школы-конференции «Магнитный резонанс и его применение Spinus-2011», Санкт-Петербург, 2011. С. 149–153.
12. Зенченко Т. А. Синхронизация показателей сердечного ритма человека и вариаций геомагнитного поля в диапазоне частот 0,3–3 мГц // Тезисы международной конференции «Влияние космической погоды на человека в космосе и на Земле», Москва, 4–8 июня 2012. С. 120–121.
13. Иванов Г. Г., Кудашова И. А. Метод дисперсионного картирования ЭКГ-сигнала с использованием электродинамической модели сердца (КардиоВизор-06СИ) // Седьмая научно-практическая конференция: «Диагностика и лечение нарушений регуляции сердечно-сосудистой системы», Москва, 24 марта 2005. С. 72–78.
14. Иванов Г. Г., Агафошина Е. В., Кузнецова С. Ю., Халаби Г. Дисперсионное картирование и анализ микроальтераций: десять лет спустя // Функциональная диагностика. 2011. № 3. С. 71–74.
15. Марков А. Л. Сердечно-сосудистая система и вегетативная регуляция ритма сердца у мужчин европейского севера при длительном мониторинге: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Сыктывкар, 2012. 20 с.
16. Михайлов В. М. Variability ритма сердца: опыт практического применения. Иваново: Иван. гос. мед. академия, 2002. 290 с.
17. Поскотинова Л. В., Григорьев П. Е. Зависимость типологических особенностей вегетативных реакций здоровых лиц от фоновых показателей // Экология человека. 2008. № 5. С. 3–8.
18. Сула А. С., Рябыкина Г. В., Гришин В. Г. Метод дисперсионного картирования ЭКГ. Биофизические основы метода дисперсионного картирования. Новые методы электрокардиографии / под ред. С. В. Грачева, Г. Г. Иванова, А. Л. Сыркина. М.: Техносфера, 2007. С. 369–425.
19. Флейшман А. Н. Медленные колебания гемодинамики. Новосибирск, 1999. С. 264.
20. Черноус С. А. Особенности variability сердечного ритма в период геомагнитных возмущений в полярных областях // Тезисы междисциплинарного семинара «Биологические эффекты солнечной активности», Пущино, 6–9 апреля 2004. С. 9–10.
21. Черноус С. А., Белишева Н. К., Григорьев В. Ф. и др. Variability сердечного ритма при геомагнитных возмущениях и летных нагрузках на Севере // Материалы международной конференции «Космическая погода: ее влияние на биологические объекты и человека» / под ред. О. Ю. Атькова и Ю. И. Гурфинкеля. М., 2006. С. 71.
22. Шлык Н. И., Баевский Р. М., Сапожникова Е. Н. и др. Анализ variability сердечного ритма и дисперсионного картирования ЭКГ у участников параллельных исследований «Марс-500» с различными преобладающими типами вегетативной регуляции (Ижевская экспериментальная группа) // Материалы V Всероссийского симпозиума с международным участием «Variability сердечного ритма: теоретические аспекты и практическое применение». Ижевск, 2011. С. 559–571.

23. Эльгаили А., Ахмед М., Павлюк Т. В. и др. Показатели дисперсионного картирования ЭКГ при проведении нагрузочных тестов // Методы нелинейного анализа в кардиологии и онкологии: физические подходы и клиническая практика. Вып. 2 / под ред. Р. Р. Назирова. М. : КДУ, 2010. С. 42–52.

24. Yu. Gurfinkel, T. Breus, T. Zenchenko, V. Ozheredov. Investigation of the Effect of Ambient Temperature and Geomagnetic Activity on the Vascular Parameters of Healthy Volunteers // Open Journal of Biophysics, 2012, 2, 46-  
doi:10.4236/ojbiphy.2012.22007 Published Online April 2012 (<http://www.SciRP.org/journal/ojbiphy>)

### References

1. Baevskii R. M., Bersenev E. Yu., Maksimov A. L., Sobolev A. M. *Materialy 5-i nauchno-prakticheskoi konferentsii «Diagnostika i lechenie narushenii regulyatsii serdechno-sosudistoi sistemy»* [Materials of the 5th Scientific and Practical Conference "Diagnosis and treatment of cardiovascular system regulation disorders"], Moscow, 2003, pp. 287-292. [in Russian]
2. Baevskii R. M., Ivanov G. G., Ryabykina G. V. *Vestnik aritmologii* [Bulletin of Arrhythmology]. 1999, no. 14, pp. 71-75. [in Russian]
3. Baevskii R. M., Ivanov G. G., Chireikin L. V. i dr. *Vestnik aritmologii* [Bulletin of Arrhythmology]. 2001, no. 24, pp. 65-87. [in Russian]
4. Breus T. K., Baevskii R. M., Funtova I. I., Nikulina G. A., Alekseev E. V., Chernikova A. G. *Kosmicheskie issledovaniya* [Space research]. 2008, vol. 46, no. 4, pp. 378-383. [in Russian]
5. Breus T. K., Gurfinkel Yu. I., Zenchenko T. A., Ozheredov V. A. *Geofizicheskie protsessy i biosfera* [Geophysical processes and biosphere]. 2010, vol. 9, no. 2, pp. 23-36. [in Russian]
6. Gurfinkel Yu. I., Katse N. V., Makeeva O. V., Mikhailov V. M. *Metody nelineinogo analiza v kardiologii i onkologii: Fizicheskie podkhody i klinicheskaya praktika* [Physical approaches and clinical practice]. Moscow, 2010, vol. 2, pp. 111-122. [in Russian]
7. Dyakonov V. P. MATLAB 6.5 SP1/7.0+Simulink 5/6. *Obrabotka signalov i proektirovanie fil'trov* [MATLAB 6.5 SP1/7.0+Simulink 5/6. Signal processing and filter design]. Solon-Press, 2005, 576 p. [in Russian]
8. Eshmanova A. K. *Variabel'nost' serdechnogo ritma i sostoyanie miokarda pri vozdeistvii «sukhoi» immersii (avtoref. dis. ... kand. med. nauk)* [Heart rate variability and the state of the myocardium under the influence of "dry" immersion (Cand. Dis. Thesis)]. Moscow, 2009, 25 p. [in Russian]
9. Zenchenko T. A., Rekhtina A. G., Khorseva N. I. i dr. *Geofizicheskie protsessy i biosfera* [Geophysical processes and biosphere]. 2009, vol. 8, no. 4, pp. 61-76. [in Russian]
10. Zenchenko T. A., Poskotinova L. V., Rekhtina A. G., Zaslavskaya R. M. *Biofizika* [Biophysics]. 2010, vol. 55, no. 4, pp. 732-739. [in Russian]
11. Zenchenko T. A., Merzlyi A. M., Drozdov A. V., Vecherukhin N. M. *Materialy 8-i zimnei molodezhnoi shkoly-konferentsii "Magnitnyi rezonans i ego primeneniye Spinus-2011"*, St. Petersburg, 2011 [Materials of the 8th Winter Youth School-Conference "Magnetic resonance and its application Spinus-2011", St.- Petersburg, 2011], pp. 149-153. [in Russian]
12. Zenchenko T. A. *Tezisy mezhdunarodnoi konferentsii "Vliyanie kosmicheskoi pogody na cheloveka v kosmose i na Zemle"*, Moscow, 4-8 iyunya 2012 [Proceedings of

International Conference "The impact of space weather on human in space and on Earth", Moscow, 4-8 June 2012], pp. 120-121. [in Russian]

13. Ivanov G. G., Kudashova I. A. *Sed'maya nauchno-prakticheskaya konferentsiya: "Diagnostika i lechenie narushenii regulyatsii serdechno-sosudistoi sistemy"*, Moscow, 24 marta 2005 [Seventh Scientific and Practical Conference see 1 "Diagnosis and treatment of the cardiovascular system regulation disorders", Moscow, 24 March 2005], pp. 72-78. [in Russian]

14. Ivanov G. G., Agafoshina E. V., Kuznetsova C. Yu., Khalabi G. *Funktsional'naya diagnostika* [Functional Diagnostics]. 2011, no. 3, pp.71-74. [in Russian]

15. Markov A. L. *Serdechno-sosudistaya sistema i vegetativnaya regulyatsiya ritma serdtsa u muzhchin evropeiskogo severa pri dlitel'nom monitoringe (avtoref. dis. ... kand. biol. nauk)* [The cardiovascular system and the autonomic regulation of heart rate in men of the European North during prolonged monitoring (Cand. Dis. Thesis)]. Syktyvkar, 2012, 20 p. [in Russian]

16. Mikhailov V. M. *Variabel'nost' ritma serdtsa: opyt prakticheskogo primeneniya* [Heart rate variability: the experience of the practical application]. Ivanovo, 2002, 290 p.

17. Poskotinova L. V., Grigor'ev P. E. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2008, no. 5, pp. 3-8. [in Russian]

18. Sula A. S., Ryabykina G. V., Grishin V. G. *Metod dispersionnogo kartirovaniya EKG. Biofizicheskie osnovy metoda dispersionnogo kartirovaniya. Novye metody elektrokardiografii* [ECG dispersion mapping method. Biophysical basis of the method of dispersion mapping. New methods of electrocardiography]. Moscow, 2007, pp. 369-425. [in Russian]

19. Fleishman A. N. *Medlennye kolebaniya gemodinamiki* [Slow fluctuations of hemodynamics]. Novosibirsk, 1999, p. 264. [in Russian]

20. Chernous S. A. *Tezisy mezhdistsiplinarnogo seminara "Biologicheskie efekty solnechnoi aktivnosti"*, Pushchino, 6-9 aprelya 2004 [Abstracts of interdisciplinary seminar "Biological effects of solar activity", Pushchino, 6-9 April 2004], pp. 9-10. [in Russian]

21. Chernous S. A., Belisheva N. K., Grigor'ev V. F. i dr. *Materialy mezhdunarodnoi konferentsii "Kosmicheskaya pogoda: ee vliyanie na biologicheskie ob"ekty i cheloveka"* [Proceedings of International Conference "Space weather: its influence on biological objects and humans"]. Moscow, 2006, p. 71. [in Russian]

22. Shlyk N. I., Baevskii R. M., Sapozhnikova E. N. i dr. *Materialy Vserossiiskogo simpoziuma s mezhdunarodnym uchastiem "Variabel'nost' serdechnogo ritma: teoreticheskie aspekty i prakticheskoe primeneniye"*, Izhevsk, 2011 [Reports of the V All-Russian symposium with international participation "Heart rate variability: theoretical aspects and practical application." Izhevsk, 2011], pp. 559-571. [in Russian]

23. Elgailli A., Akhmed M., Pavlyuk T. V. i dr. *Metody nelineinogo analiza v kardiologii i onkologii: fizicheskie podkhody i klinicheskaya praktika. Vyp. 2* [Methods of nonlinear analysis in cardiology and oncology: physical approaches and clinical practice. Fasc. 2]. Moscow, 2010, pp. 42-52. [in Russian]

24. Yu. Gurfinkel, T. Breus, T. Zenchenko, V. Ozheredov. Investigation of the Effect of Ambient Temperature and Geomagnetic Activity on the Vascular Parameters of Healthy Volunteers. *Open Journal of Biophysics*. 2012, 2, 46-  
doi:10.4236/ojbiphy.2012.22007 Published Online April 2012 (<http://www.SciRP.org/journal/ojbiphy>)



**THE CORRELATION OF HEART RATE VARIABILITY DYNAMICS AND ELECTROCARDIOGRAM DISPERSION MAPPING IN HUMANS BY LONG-TERM MONITORING IN RESTING STATE**

<sup>1,2</sup>T. A. Zenchenko, <sup>3,4</sup>L. V. Poskotinova,  
<sup>1</sup>A. A. Medvedeva, <sup>2,5</sup>N. I. Khorseva

<sup>1</sup>*Institute of Theoretical and Experimental Biophysics, Russian Academy of Sciences, Pushchino, Moscow Region;*

<sup>2</sup>*Space Research Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow;* <sup>3</sup>*Institute of Environmental Physiology, Ural Branch of RAS, Arkhangelsk;* <sup>4</sup>*Northern (Arctic) Federal University named after M. V. Lomonosov, Arkhangelsk*

<sup>5</sup>*Institute of Biochemical Physics of Russian Academy of Sciences named after N. M. Emanuel, Moscow, Russia*

The monitoring of performance of dispersive electrocardiogram mapping and heart rate variability in 30 healthy volunteers aged from 18 to 59 years in a state of rest was done. It was found that micro-amplitude variations of elec-

trocardiogram have periodic characteristics, and these fluctuations are largely determined by changes in the balance of the autonomic nervous system. Increased electrical and ion-metabolic instability of right atrium is associated with increased heart rate variability and its vagal component, and the level of micro-amplitude fluctuations variation of velocity characteristics of the initial ventricular depolarization front - with the weakening of parasympathetic activity.

**Keywords:** heart rate variability, electrocardiogram dispersion mapping

**Контактная информация:**

Зенченко Татьяна Александровна — кандидат физико-математических наук, ст. научный сотрудник ФГБУН «Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН», ст. научный сотрудник ФГБУН «Институт космических исследований РАН»

Адрес: 117997, г. Москва, ул. Профсоюзная, д. 84/32

Тел. (8910) 455-78-44

E-mail: zench@mail.ru