

© М.И. Гурьянов, 2010

УДК 619:616.12-008.313.3-073.97:636.7

ФИБРИЛЛЯЦИЯ ЖЕЛУДОЧКОВ СЕРДЦА СОБАКИ С ДОМИНАНТНОЙ ЧАСТОТНОЙ СТРУКТУРОЙ

МАРАТ ИЛЬИЧ ГУРЬЯНОВ, канд. мед. наук, ст. научный сотрудник Тобольской биостанции Российской академии наук [(3456) 25-64-09; e-mail: mgurianov@yandex.ru], Тобольск

Реферат. Неусвоение ритма сердцем собаки, характеризующееся регистрацией на электрокардиограмме нестабильных осцилляций в частотных диапазонах дельта-, тета-, альфа-, бета- и гамма-ритмов электроэнцефалограммы, отражает развитие распада функциональной целостности миокарда при фибрилляции желудочков. Доминирование частот альфа-ритма в частотной структуре электрокардиограммы отражает сохранение элементов организованной биоэлектрической активности кардиомиоцитов на начальной стадии фибрилляции желудочков сердца собаки.

Ключевые слова: сердце собаки, фибрилляция желудочков, неусвоение ритма.

CANINE VENTRICULAR FIBRILLATION WITH DOMINANT FREQUENCY STRUCTURE

M.I. GOURIYANOV

Abstract. The lack of rhythm assimilation by canine heart characterized by electrocardiographic registration of unstable oscillations in the frequency ranges of delta-, theta-, alpha-, beta- and gamma-rhythms of electroencephalogram, reflects the development of disintegration of functional integrity of myocardium in case of ventricular fibrillation. Domination of alpha-rhythm frequencies in the frequency structure of electrocardiogram reflects reservation of elements of organized bioelectrical activity of myocardial cells in the initial stage of canine ventricular fibrillation.

Key words: canine heart, ventricular fibrillation, lack of rhythm assimilation.

Известно, что фибрилляция желудочков сердца является основной причиной внезапной сердечной смерти, частота которой является высокой во всех странах [2, 7]. Внезапная сердечная смерть уносит в России от 450 до 600 тыс. человек ежегодно [1]. Поэтому изучение фибрилляции желудочков сердца продолжает оставаться актуальной медицинской проблемой.

Тактика лечения и прогноз при фибрилляции желудочков сердца зависит от ее стадии [2, 7, 10]. Основой клинической классификации стадий фибрилляции желудочков является хорошо известная в научной литературе классификация стадий фибрилляции желудочков по Н.Л. Гурвичу в эксперименте у собак [4]. Классификация по Н.Л. Гурвичу является описательной — основана на анализе чередования на электрокардиограмме двух видов фибриллярных осцилляций: ритмичных синусоидальных (изоморфных) и аритмичных полиморфных [4, 7]. Поэтому классификацию по Н.Л. Гурвичу нельзя использовать для количественной диагностики фибрилляции желудочков, например в автоматических дефибрилляторах.

Целью работы было проведение количественного (частотного) анализа электрокардиограммы методом быстрого преобразования Фурье на начальной стадии фибрилляции желудочков сердца. Анализ Фурье хорошо апробирован в практике электрокардиографии и может использоваться для диагностики фибрилляции в автоматических дефибрилляторах [7, 10].

Материал и методы. Было поставлено 25 острых опытов на беспородных собаках обоего пола весом от 15 до 35 кг. В день эксперимента животному проводилось общее обезболивание внутримышечным введением пре-

парата золетил фирмы «Virbac Sante Animale» (Франция) из расчета 20—30 мг на килограмм веса животного. Через 5—10 мин после введения золетила регистрировали в течение 1—3 мин электрокардиограмму в стандартных отведениях через электроды, вколотые в конечности собаки. Затем через электроды, вколотые в грудную клетку в области сердца собаки, пропускали в течение 2—3 с переменный ток (50 Гц, 30 В), что приводило к развитию фибрилляции желудочков во всех опытах, как показано на рис. 1. Известно, что данная процедура всегда приводит к развитию фибрилляции желудочков сердца собаки [4].

Через 2—5 с от начала электростимуляции сердца регистрировали электрокардиограмму на электроэнцефалографе «NeuroS-4U» фирмы «Нейроботикс» (РФ) при частоте оцифровки 500 Гц. Электрокардиограмму записывали в файл формата «edf32».

Проводили спектральный анализ односекундных отрезков электрокардиограммы методом быстрого преобразования Фурье. Спектральный анализ проводили в диапазоне частот 1—40 Гц, используя программу «Неокортес 2.1» фирмы «Нейроботикс». Частоты от 1 до 40 Гц были сгруппированы нами в дельта-, тета-, альфа-, бета- и гамма-ритмы. Дельта-ритм нашего анализа включал частоты 1—3 Гц, тета-ритм — 4—7 Гц, альфа-ритм — 8—12 Гц, бета-ритм — 13—17 Гц, гамма-ритм — 18—40 Гц. Частотные диапазоны дельта-, тета-, альфа-, бета- и гамма-ритмов нашего анализа соответствуют частотным диапазонам дельта-, тета-, альфа-, бета- и гамма-ритмов электроэнцефалограммы [3, 6, 8].

Полученный цифровой материал был подвергнут статистической обработке с вычислением средней величины (M) и ошибки средней (m) [11].

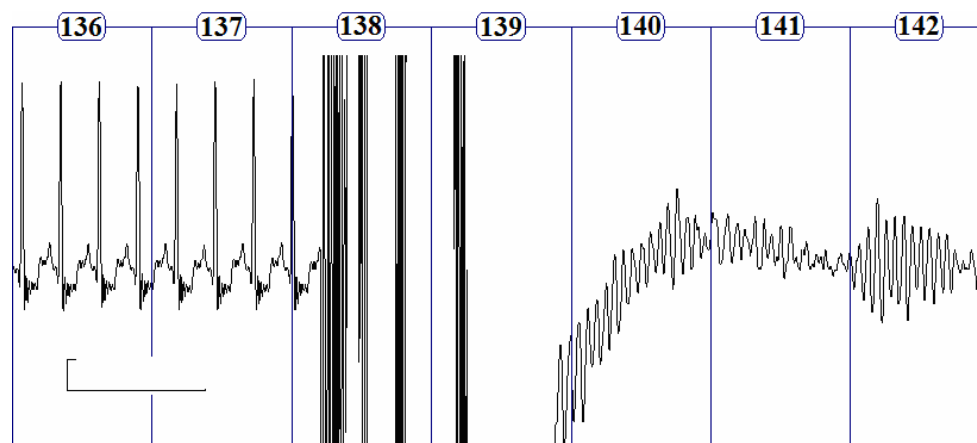


Рис. 1. Электрокардиограмма собаки в III стандартном отведении на 136—142-й секундах регистрации. Электрокардиограмма разделена на отрезки через 1 с. Калибровка: 0,5 мВ, 1 с

Результаты и их обсуждение. На рис. 1 видно, что на 136—137-й секундах регистрации на электрокардиограмме определяется синусовый ритм с частотой 210 в 1 мин. Стимуляция сердца переменным током на 138—139-й секундах приводит к развитию фибрилляции желудочков.

На рис. 2 приведена типичная электрокардиограмма на 26—30-й секундах фибрилляции желудочков сердца собаки.

Как видно на рис. 2, на 26—30-й секундах фибрилляции регистрируются осцилляции альфа-ритма частотой от 8 до 12 Гц и амплитудой от 0,2 до 2,2 мВ.

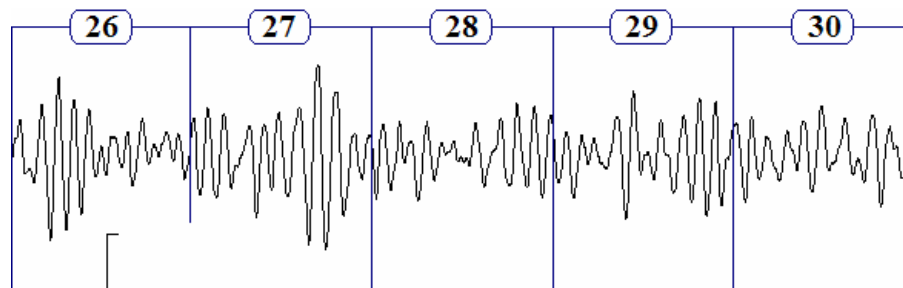


Рис. 2. Электрокардиограмма собаки в III стандартном отведении на 26—30-й секундах фибрилляции желудочков сердца. Электрокардиограмма разделена на отрезки через 1 с. Калибровка: 0,7 мВ, 1 с

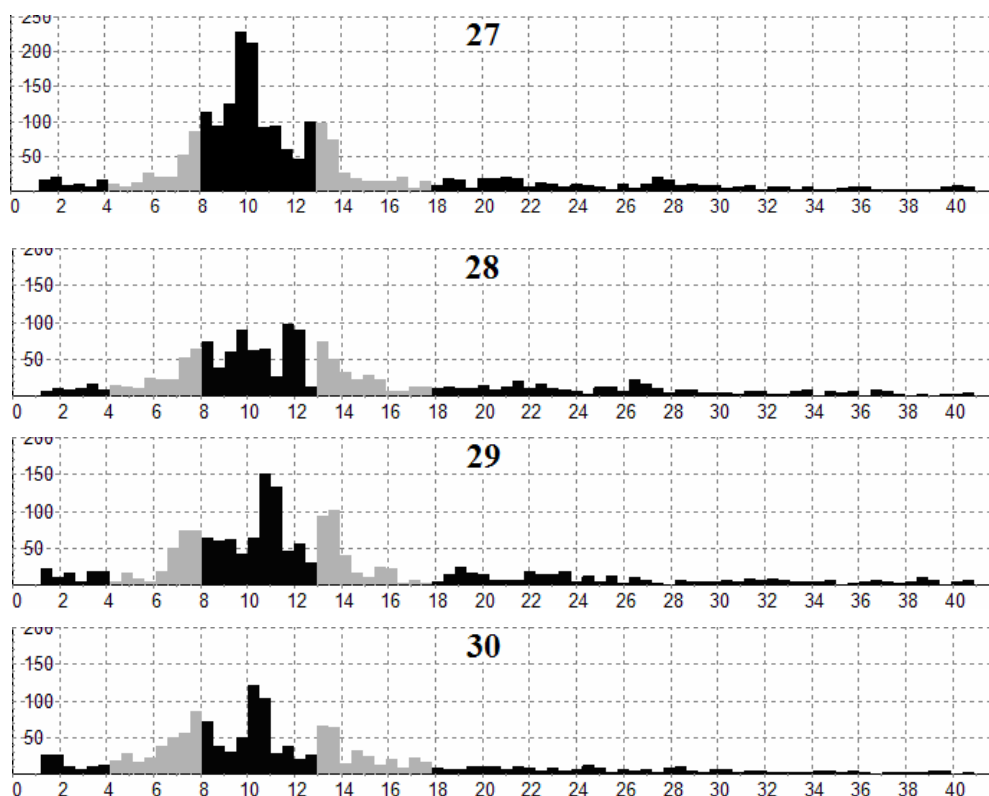


Рис. 3. Спектральная мощность дельта-, тета-, альфа-, бета- и гамма-ритмов в односекундных отрезках электрокардиограммы собаки в III стандартном отведении на 26—30-й секундах фибрилляции желудочков сердца. Дельта-, альфа- и гамма-ритмы выделены на спектрограммах черным цветом; тета- и бета-ритмы — оттенком серого. По оси абсцисс — частота, Гц; по оси ординат — мощность, мкВ

Таблица 1

Спектральная мощность дельта-, тета-, альфа-, бета- и гамма-ритмов в процентах к сумме мощности этих ритмов электрокардиограммы собаки в III стандартном отведении на 26—35-й секундах фибрилляции желудочков сердца в интервалах спектрального анализа через 1 с

Интервал фибрилляции, с	Мощность ритмов, %				
	Дельта	Тета	Альфа	Бета	Гамма
26	5	11	47	19	17
27	3	11	54	14	18
28	4	15	42	17	22
29	5	15	42	19	20
30	6	22	37	20	16
31	6	19	40	13	22
32	7	28	36	14	16
33	8	28	37	12	14
34	4	32	44	8	12
35	7	21	41	15	17
<i>M±m</i>	5±0,5	20±2,4	42±1,8	15±1,2	17±1,1

Осцилляции альфа-ритма характерным образом сгруппированы: модулированы в «фигуры веретен». Частота и амплитуда осцилляций альфа-ритма изменяется во времени довольно закономерно: периодически возрастает в серединах веретен и снижается на концах веретен.

Спектральная мощность дельта-, тета-, альфа-, бета- и гамма-ритмов электрокардиограммы на 26—30-й секундах фибрилляции желудочков, полученная методом быстрого преобразования Фурье, приведена на рис. 3.

Как видно на рис. 3, спектральная мощность распределена очень неравномерно в частотном диапазоне от дельта- до гамма-ритма. На всех спектрограммах самая большая спектральная мощность сосредоточена в диапазоне частот альфа-ритма. Менее значительная спектральная мощность сосредоточена в нижнем диапазоне бета-ритма и верхнем диапазоне тета-ритма. Очень небольшая спектральная мощность сосредоточена в диапазонах дельта- и гамма-ритмов.

Спектральная мощность дельта-, тета-, альфа-, бета- и гамма-ритмов в процентах к сумме мощности этих ритмов электрокардиограммы на 26—35-й секундах фибрилляции желудочков приведена в табл. 1.

Величины спектральной мощности дельта-, тета-, альфа-, бета- и гамма-ритмов, приведенные в табл. 1, перенесены на рис. 4.

Как видно на рис. 4, на 26—35-й секундах фибрилляции альфа-ритм имеет самую большую спектральную мощность в односекундных интервалах спектрального анализа, содержит от 36 до 54% спектральной мощности. Тета-ритм содержит от 11 до 32% спектральной мощности (мощность тета-ритма возрастает на 26—35-й секундах фибрилляции). Гамма- и бета-ритмы содержат от 8 до 22% спектральной мощности, дельта-ритм — от 3 до 7%.

Средняя спектральная мощность альфа-ритма составляет (42±1,8)%, тета-ритма — (20±2,4)%, гамма-ритма — (17±1,1)%, бета-ритма — (15±1,2)% и дельта-ритма — (5±0,5)%. Таким образом, спектральная мощность альфа-ритма доминирует в частотной (спектральной) структуре электрокардиограммы на 26—35-й секундах фибрилляции желудочков. Различие между средней спектральной мощностью альфа-ритма и остальных ритмов является статистически достоверным.

Спектральная мощность частот 1—40 Гц электрокардиограммы на 26—30-й секундах фибрилляции желудочков, полученная методом быстрого преобразования Фурье, приведена на рис. 5.

Как видно на рис. 5, спектральная мощность распределена очень неравномерно в диапазоне частот от 1 до 40 Гц. На всех спектрограммах самыми большими по спектральной мощности являются пики альфа-ритма частотой 9, 10, 11, 12 и 8 Гц, пик бета-ритма частотой 13 Гц и пик тета-ритма частотой 7 Гц. Частоты альфа-ритма явно доминируют в спектральной структуре электрокардиограммы на 26—30-й секундах фибрилляции желудочков.

Спектральная мощность пяти самых мощных частот и сумма мощности этих пяти частот в процентах к мощности всех частот от 1 до 40 Гц на 26—35-й секундах фибрилляции желудочков приведена в табл. 2.

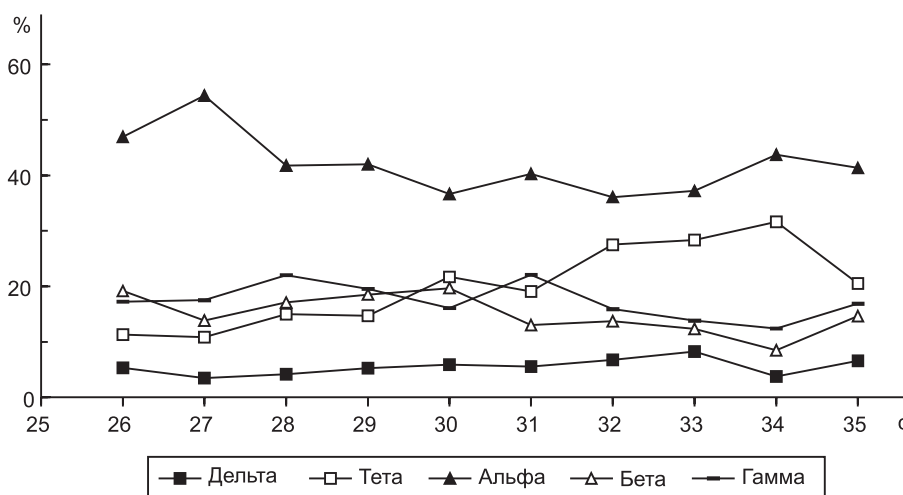


Рис. 4. Спектральная мощность дельта-, тета-, альфа-, бета- и гамма-ритмов в процентах к сумме мощности этих ритмов электрокардиограммы собаки в III стандартном отведении на 26—35-й секундах фибрилляции желудочков в интервалах спектрального анализа через 1 с. По оси абсцисс — интервал фибрилляции, с; по оси ординат — мощность, %

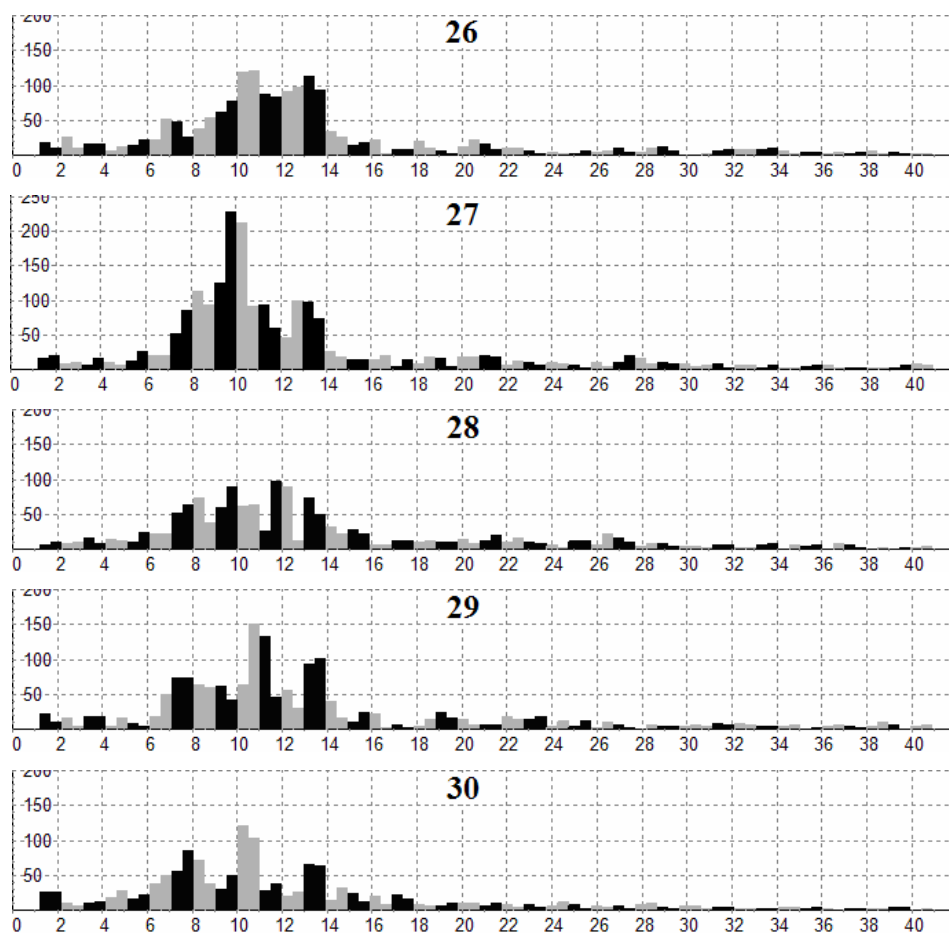


Рис. 5. Спектральная мощность частот от 1 до 40 Гц в односекундных отрезках электрокардиограммы собаки в III стандартном отведении на 26—30-й секундах фибрилляции желудочков сердца. Нечетные частоты (1, 3 Гц и т.д.) выделены на спектрограммах черным цветом; четные частоты (2, 4 Гц и т.д.) — оттенком серого. По оси абсцисс — частота, Гц; по оси ординат — мощность, мкВ

Таблица 2

Спектральная мощность 5 самых мощных частот и сумма мощности этих частот в процентах к суммарной мощности частот 1—40 Гц электрокардиограммы собаки в III стандартном отведении на 26—35-й секундах фибрилляции желудочков сердца в интервалах спектрального анализа через 1 с

Интервал фибрилляции, с	Мощность частот, %					Сумма
	1-я	2-я	3-я	4-я	5-я	
26	14	12	11	10	8	54
27	17	14	10	8	7	56
28	10	9	8	8	8	43
29	13	11	11	9	7	51
30	16	10	9	8	6	49
31	15	9	8	6	6	44
32	10	10	9	9	6	45
33	12	12	11	8	8	52
34	17	12	9	8	8	55
35	16	13	11	8	7	54
$M \pm m$	$14 \pm 0,8$	$11 \pm 0,6$	$10 \pm 0,4$	$8 \pm 0,3$	$7 \pm 0,3$	$50 \pm 1,5$

Из табл. 2 видно, что 1-я по мощности частота содержит от 10 до 17% спектральной мощности в односекундных интервалах спектрального анализа, а 2-я — от 9 до 14%. Пять самых мощных частот содержат от 44 до 56% спектральной мощности в интервалах спектрального анализа. Пять самых мощных частот содержат в среднем ($50 \pm 1,5$)% спектральной мощности. Таким образом, пять самых мощных частот доминируют в спектральной структуре электрокардиограммы.

Индексы пяти самых мощных частот на 26—35-й секундах фибрилляции желудочков приведены в табл. 3.

Таблица 3

Индексы 5 самых мощных по спектральной мощности частот электрокардиограммы собаки в III стандартном отведении на 26—35-й секундах фибрилляции желудочков сердца в интервалах спектрального анализа через 1 с

Интервал фибрилляции, с	1-я частота, Гц	2-я частота, Гц	3-я частота, Гц	4-я частота, Гц	5-я частота, Гц
26	10	13	12	11	9
27	9	10	8	13	11
28	9	10	11	13	7
29	10	13	11	7	8
30	10	7	13	8	6
31	9	10	8	6	7
32	8	6	7	11	13
33	6	9	11	7	13
34	6	8	11	7	10
35	10	7	8	9	13

Из табл. 3 видно, что в каждом интервале спектрального анализа в пятерку самых мощных частот входит от 2-й до 4-й частоты альфа-ритма, 0—2-й частоты тета-ритма и 0—1-й частота бета-ритма. Всего в пятерку самых мощных частот входит 29-я частота альфа-ритма, 13 частот тета-ритма и 8 частот бета-ритма. Частоты альфа-ритма доминируют по представительству пятерке самых мощных частот фибрилляции.

Удельный спектральный вес (в процентах) частот тета-, альфа- и бета-ритмов в сумме спектральной мощности пяти самых мощных частот на 26—35-й секундах фибрилляции желудочков приведен в табл. 4.

Таблица 4

Удельный вес (в процентах) частот тета-, альфа- и бета-ритмов в сумме мощности 5 самых мощных частот электрокардиограммы собаки в III стандартном отведении на 26—35-й секундах фибрилляции желудочков сердца в интервалах спектрального анализа через 1 с

Интервал фибрилляции, с	Мощность частот, %		
	Тета	Альфа	Бета
26	0	78	22
27	0	86	14
28	18	63	19
29	18	60	22
30	33	48	19
31	27	73	0
32	43	43	14
33	40	45	15
34	46	54	0
35	23	65	12
<i>M±m</i>	25±5,5	62±4,8	14±2,7

Из табл. 4 видно, что удельный вес частот альфа-ритма является самым большим во всех интервалах спектрального анализа. Средний удельный вес частот альфа-ритма составляет (62±4,8)%, частот тета-ритма — (25±5,5)% и частот бета-ритма — (14±2,7)%. Различие между средним удельным весом частот альфа-ритма и частот тета- и бета-ритмов является статистически достоверным.

Таким образом, частоты альфа-ритма доминируют в пятерке самых мощных частот как по частотным индексам (см. табл. 3), так и по спектральной мощности (см. табл. 4).

Использованная в проведенных опытах экспериментальная модель фибрилляции желудочков, вызванной электротравмой у здоровой взрослой собаки, методически адекватна и надежно отработана: апробирована на сотнях собак в классической работе [4]. Такая модель использована при разработке хорошо известной классификации стадий фибрилляции желудочков по Н.Л. Гурвичу в эксперименте у собак [4, 7]. Ритмы фибрилляции желудочков собаки применимы к человеку, так как физиологический диапазон сокращений сердца одного порядка и у человека, и у собаки — 50—200 уд/мин [12].

Рис. 2 отражает неусвоение ритма по биоэлектрической функции сердца: на электрокардиограмме регистрируются нестабильные (неусвоенные) осцилляции частотой от 6 до 15 Гц и амплитудой от 0,2 до 2,2 мВ, сгруппированные в характерные «фигуры веретен». Частота и амплитуда осцилляций непрерывно изменяется в односекундных отрезках электрокардиограммы, что делает анализ таких осцилляций нетривиальной задачей. Используемый в электрокардиографии язык (способ) описания, основанный на анализе комплексов QRS, зубца R, интервала R-R, других зубцов и интервалов электрокардиограммы [9], неприменим для объективного анализа электрокардиограммы при фибрилляции желудочков, так как на электрокардиограмме при фибрилляции не определяется комплекс QRS, зубец R, интервал R-R, другие зубцы и интервалы электрокардиограммы, изоэлектрическая линия отсутствует.

Нестабильные осцилляции частотой от 6 до 15 Гц регистрируются на электроэнцефалограмме. В электроэнцефалографии разработана методика объективного анализа осцилляций частотой 6—15 Гц, регистрируемых на электроэнцефалограмме [3, 6, 8]. Частотный анализ электрокардиограммы в частотных диапазонах дельта-,

тета-, альфа-, бета- и гамма-ритмов электроэнцефалограммы, проведенный методом быстрого преобразования Фурье, показывает, что частоты альфа-ритма доминируют в частотной структуре неусвоенного ритма (см. рис. 3—5, табл. 1—4).

Неусвоение ритма отражает развитие распада функциональной целостности миокарда при фибрилляции желудочков сердца. Но доминирование частот альфа-ритма в частотной структуре неусвоенного ритма отражает сохранение элементов организованной (синхронизованной) биоэлектрической активности кардиомиоцитов на начальной стадии распада функциональной целостности миокарда при фибрилляции желудочков. Если бы кардиомиоциты генерировали потенциалы действия независимо друг от друга, то эти потенциалы, случайно суммируясь, давали бы на электрокардиограмме случайный суммарный процесс — так называемый белый шум с низкочастотными и высокочастотными беспорядочными колебаниями. Известно, что на начальной стадии фибрилляции желудочков кардиомиоциты генерируют потенциалы действия в частотах альфа-ритма — 8—12 Гц; эти потенциалы действия не усвоены: амплитуда и длительность потенциалов меняется от цикла к циклу [13].

Таким образом, приведенные факты свидетельствуют о том, что теоретическое представление о фибрилляции желудочков как о распаде функциональной целостности миокарда [4, 7, 10, 13] является неполным: требует более детальной разработки. На начальной стадии фибрилляции желудочков сохраняются элементы синхронизованной биоэлектрической активности миокарда, на что указывает доминантная частотная структура неусвоенного ритма с доминированием частот альфа-ритма. При последующем развитии фибрилляции, по-видимому, количественно нарастает распад функциональной целостности миокарда. Методика частотного анализа электрокардиограммы в ритмах электроэнцефалограммы, впервые предложенная в настоящей работе, позволяет точно (количественно) характеризовать распад — десинхронизацию функциональной целостности миокарда на разных стадиях фибрилляции желудочков.

Интересно сходство ритмов электрокардиограммы при фибрилляции желудочков с ритмами электроэнцефалограммы, на которое впервые обратил наше внимание проф. Н.И. Егурнов. Известно, что пароксизмальная активность при эпилепсии связана с повышением синхронизации нейронов [6, 8]. При малом эпилептическом припадке (*petit mal*) на электроэнцефалограмме регистрируются генерализованные ритмичные комплексы «спайк — медленная волна» частотой 3 Гц [6, 8], похожие на регистрируемые на электрокардиограмме комплексы QRST с большим по амплитуде зубцом Т. По-видимому, сходство ритмов электрокардиограммы и электроэнцефалограммы может быть связано, хотя бы частично, со сходными механизмами синхронизации кардиомиоцитов и нейронов. Гипотеза о сходстве механизмов синхронизации кардиомиоцитов и нейронов принципиально возможна, так как миокард и нервная ткань являются возбудимыми тканями. Но к такой гипотезе следует относиться осторожно, так как нервная ткань имеет намного более сложную морфологическую и функциональную организацию, чем миокард.

Ритмы электроэнцефалограммы — это не случайные параметры. Они основаны на фактах, являются плодом обобщения огромного эмпирического материала, накопленного за более чем 90 лет развития электроэн-

цефалографии [3, 6, 8]. На наш взгляд, использование ритмов электроэнцефалограммы позволяет расширить методическую базу — привлечь в изучение фибрилляции желудочков надежные факты, методы и семиотику (язык описания) электроэнцефалографии.

Независимо от того, как будет решен в будущем вопрос о механизмах синхронизации кардиомиоцитов и нейронов, в настоящей работе впервые эмпирически показано, что частотный анализ электрокардиограммы в ритмах электроэнцефалограммы позволяет точно (количественно) характеризовать стадию неусвоения ритма с доминированием частот альфа-ритма на начальной стадии фибрилляции желудочков. По результатам работы получен патент [5], который может использоваться для объективной клинической диагностики стадий фибрилляции желудочков.

Выводы:

1. Неусвоение ритма сердцем собаки, характеризующееся регистрацией на электрокардиограмме нестабильных (неусвоенных) осцилляций в частотных диапазонах дельта-, тета-, альфа-, бета- и гамма-ритмов электроэнцефалограммы, отражает развитие распада функциональной целостности миокарда при фибрилляции желудочков сердца.

2. Доминирование частот альфа-ритма в частотной структуре неусвоения ритма отражает сохранение элементов организованной (синхронизированной) биоэлектрической активности кардиомиоцитов на начальной стадии распада функциональной целостности миокарда при фибрилляции желудочков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бокерия, Л.А. Имплантируемые кардиовертеры-дефибрилляторы: основное предназначение — первичная профилактика внезапной сердечной смерти / Л.А. Бокерия, А.Ш. Ревитшвили, Н.М. Неминуций // Тихоокеанский мед. журнал. — 2007. — № 1. — С. 6—11.
2. Востриков, В.А. Сердечно-легочная реанимация и неотложная кардиологическая помощь при внезапном прекращении эффективной сердечной деятельности (догоспитальный и госпитальный этапы): I ч. / В.А. Востриков // Клиническая анестезиология и реаниматология. — 2007. — Т. 4, № 4. — С. 2—7.
3. Гордеев, С.А. Особенности биоэлектрической активности мозга при высоком уровне тревожности человека / С.А. Гордеев // Физиология человека. — 2007. — № 4. — С. 11—17.
4. Гурвич, Н.Л. Основные принципы дефибрилляции сердца / Н.Л. Гурвич. — М.: Медицина, 1975.
5. Гурьянов, М.И. Способ диагностики стадий фибрилляции желудочков сердца / М.И. Гурьянов. — Патент РФ № 2373849; опубл. 27.11.2009. Бюл. № 33.
6. Зенков, Л.Р. Функциональная диагностика нервных болезней: руководство для врачей / Л.Р. Зенков, М.А. Ронкин. — 3-е изд., перераб. и доп. — М., 2004.
7. Иванов, Г.Г. Фибрилляция желудочков и желудочковые тахикардии — базовые положения и диагностические критерии / Г.Г. Иванов, В.А. Востриков // Диагностика и лечение нарушений регуляции сердечно-сосудистой системы: материалы 10-й науч.-практ. конф. — М., 2008. — С. 300—311.
8. Миролубов, А.В. Электроэнцефалограмма: учеб. пособие / А.В. Миролубов, М.Ю. Чиков. — СПб.: НИИ Военной медицины, 1994.
9. Мурашко, В.В. Электрокардиография / В.В. Мурашко, А.В. Струтынский. — М., 2004.
10. Табак, В.Я. Динамика спектральных характеристик ЭКГ при развитии фибрилляции желудочков сердца / В.Я. Табак, А.М. Черныш, А.П. Немирко, Л.А. Манило // Анестезиология и реаниматология. — 1980. — № 1. — С. 71—74.
11. Шмойлова, Р.А. Теория статистики: учебник / Р.А. Шмойлова, В.Г. Минашкин, Н.А. Садовникова, Е.Б. Шувалова. — 4-е изд. — М.: Финансы и статистика, 2004.
12. Boyett, M.R. Analysis of the effects of changes in rate and rhythm upon electrical activity in the heart / M.R. Boyett, B.R. Jewell // Prog. Biophys. Mol. Biol. — 1980. — Vol. 36. — P. 1—52.
13. Zaitsev, A.V. Wavebreak formation during ventricular fibrillation in the isolated, regionally ischemic pig heart / A.V. Zaitsev, P.K. Guha, F. Sarmast [et al.] // Circ. Res. — 2003. — Vol. 92. — P. 546—553.