

## БЕЗДОМИНАНТНАЯ ЧАСТОТНАЯ СТРУКТУРА НЕУСВОЕНИЯ РИТМА ПРИ ФИБРИЛЛЯЦИИ ЖЕЛУДОЧКОВ СЕРДЦА СОБАКИ

М. И. Гурьянов\*

Тобольская биологическая станция РАН, Тобольск

*Проведен частотный анализ электрокардиограммы методом быстрого преобразования Фурье при фибрилляции желудочков у 25 собак. Частотный анализ электрокардиограммы проводился в диапазонах, соответствующих частотным диапазонам дельта-, тета-, альфа-, бета- и гамма-ритмов электроэнцефалограммы. Показано, что циркуляторная стадия фибрилляции характеризуется неусвоением ритма с бездоминантной частотной структурой с наибольшим удельным весом частот тета-, альфа- и дельта-ритмов. Частотный анализ электрокардиограммы в ритмах электроэнцефалограммы позволяет количественно характеризовать стадию неусвоения ритма с бездоминантной частотной структурой на циркуляторной стадии фибрилляции желудочков. Результаты работы можно включать в алгоритмы автоматического анализа электрокардиограммы, что позволит объективно определять стадию фибрилляции желудочков сердца в автоматических дефибрилляторах.*

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

*Fast Fourier transform analysis of electrocardiogram was conducted during ventricular fibrillation in 25 dogs in the frequency range of delta-, theta-, alpha-, beta- and gamma-rhythms of electroencephalogram. It was shown, that circulatory phase of ventricular fibrillation is characterized by rhythm non-assimilation with undominant frequency structure with the most big specific gravity of theta-, alpha- and delta-rhythms. Frequency analysis of electrocardiogram in the rhythms of electroencephalogram permits to determine on the objective ground the stage of rhythm non-assimilation with undominant frequency structure on circulatory phase of ventricular fibrillation. Results of the work can be included in the automatic EKG analysis algorithms, that gives the possibility to determine on the objective ground stages of ventricular fibrillation in automatic defibrillators.*

*Key words:* canine heart, ventricular fibrillation, rhythm non-assimilation.

Фибрилляция желудочков (ФЖ) является основной причиной внезапной сердечной смерти [5, 8]. Тактика лечения и выживаемость при фибрилляции желудочков зависит от ее стадии и длительности. На циркуляторной стадии, на 3–5-й минуте фибрилляции желудочков, следует в первую очередь проводить сердечно-легочную реанимацию, включая наружный массаж сердца, и лишь затем проводить дефибрилляцию [1]. Циркуляторной стадии фибрилляции желудочков соответствует аperiодическая стадия, оп-

ределяемая при картировании около 20% эпикардиальной поверхности желудочков на 3–5-й минуте экспериментальной фибрилляции желудочков [9]. Но аperiодическая стадия неприменима для клинической диагностики, так как, во-первых, неясно, с какой точностью картирование 20% эпикардиальной поверхности желудочков может характеризовать фибрилляцию всего миокарда желудочков, во-вторых, не дана точная количественная характеристика аperiодической стадии фибрилляции желудочков [9].

\* Адрес для переписки: e-mail: mgurianov@yandex.ru

В доступной нам научной литературе нет работ, в которых была бы дана точная количественная разработка циркуляторной стадии фибрилляции желудочков, простая в диагностике и позволяющая объективно и оперативно определять стадии фибрилляции желудочков. Поэтому актуальной является разработка точного количественного анализа электрокардиограммы (ЭКГ), применимая для объективной и оперативной диагностики циркуляторной стадии фибрилляции желудочков, в том числе в автоматических дефибрилляторах, получающих широкое распространение в лечебной практике [1, 5].

Известно, что ФЖ развивается в порядке неусвоения ритма с регистрацией на ЭКГ нестабильных — непостоянных по частоте и амплитуде — фибриллярных осцилляций (потенциалов действия) [2]. В доступной нам научной литературе нет работ, в которых было бы изучено неусвоение ритма на циркуляторной стадии фибрилляции желудочков. Целью работы было изучение неусвоения ритма по биоэлектрической функции сердца на 3–5-й минуте экспериментальной фибрилляции желудочков сердца собаки, соответствующей клинической циркуляторной стадии фибрилляции. Анализ результатов проводился с позиций учения Н. Е. Введенского и А. А. Ухтомского о переменной лабильности и усвоении ритма [6].

### Материал и методы

Было поставлено 25 острых опытов на беспородных собаках обоего пола с массой тела 15–35 кг. Опыты были проведены в соответствии с Международными рекомендациями по проведению медико-биологических исследований с использованием животных (1985 г.) и Приказом Министерства высшего и среднего специального образования СССР от 13.11.1984 № 742 «Об утверждении правил проведения работ с использованием экспериментальных животных». Каждой собаке проводили общую анестезию: внутримышечно вводили золетил (20 мг/кг). Через 5–10 мин регистрировали в течение 2–3 мин ЭКГ в стандартных отведениях через электроды, вколотые в конечности собаки. Через электроды, вколотые в грудную клетку в области сердца, пропускали в течение 2–3 с переменный ток (50 Гц и 30 В), что приводило к развитию фибрилляции желудочков во всех опытах. Известно, что данная процедура всегда приводит к развитию фибрилляции желудочков сердца собаки [2].

Через 2–5 с от начала электростимуляции сердца регистрировали ЭКГ при фибрилляции желудочков. При свободном развитии фибрилляции желудочков ЭКГ регистрировали в течение 20–30 мин — до полного угасания биоэлектрической ак-

тивности сердца собаки. Регистрацию ЭКГ проводили на электроэнцефалографе NeuroS-4U фирмы «Нейроботикс» (РФ) при частоте оцифровки 500 Гц и записывали в файл формата «edf32».

Был проведен частотный анализ односекундных отрезков ЭКГ методом быстрого преобразования Фурье с использованием программы Неокортекс-2.1 фирмы «Нейроботикс». Частотный анализ ЭКГ проводили в диапазоне частот 1–40 Гц, сгруппированных 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 (ЭЭГ) [4].

Полученный цифровой материал был статистически обработан с использованием компьютерной программы Microsoft Excel из пакета Microsoft Office 2003 (профессиональный выпуск версии 2003) с вычислением средней величины ( $M$ ) и ошибки средней ( $m$ ). Степень достоверности наблюдений оценивали с помощью  $t$ -критерия Стьюдента. Различия считали достоверными при 95% уровне значимости ( $p < 0,05$ ).

### Результаты и обсуждение

На рисунке 1 видно, что на 136–137-й секундах регистрации на ЭКГ определяется синусовый ритм с частотой 210 уд/мин. Электростимуляция сердца на 138–139-й секундах приводит к развитию фибрилляции желудочков.

На рисунке 2 приведены типичные пятисекундные отрезки ЭКГ в начале 3, 4 и 5-й минуты свободного развития фибрилляции желудочков. Как видно на рисунке 2, на 120–124-й секундах фибрилляции желудочков регистрируются осцилляции дельта-, тета- и альфа-ритмов частотой от 2 до 10 Гц и амплитудой от 0,2 до 1,4 мВ, на 180–184-й секундах — осцилляции дельта-, тета-, альфа- и бета-ритмов частотой от 2 до 14 Гц и амплитудой от 0,1 до 1,3 мВ, на 240–243-й секундах — осцилляции дельта-, тета-, альфа- и бета-ритмов частотой от 2 до 17 Гц и амплитудой от 0,1 до 1,1 мВ. Таким образом, на 3–5-й минуте фибрилляции желудочков частота фибриллярных осцилляций постепенно возрастает, но амплитуда осцилляций снижается незначительно.

На рисунке 3 приведены типичные спектрограммы односекундных отрезков ЭКГ на 120, 180 и 240-й секундах фибрилляции желудочков. Как видно на рисунке 3, спектральная амплитуда (мощность) распределена неравномерно в диапазоне частот от 1 до 40 Гц. На 120-й секунде фибрилляции желудочков

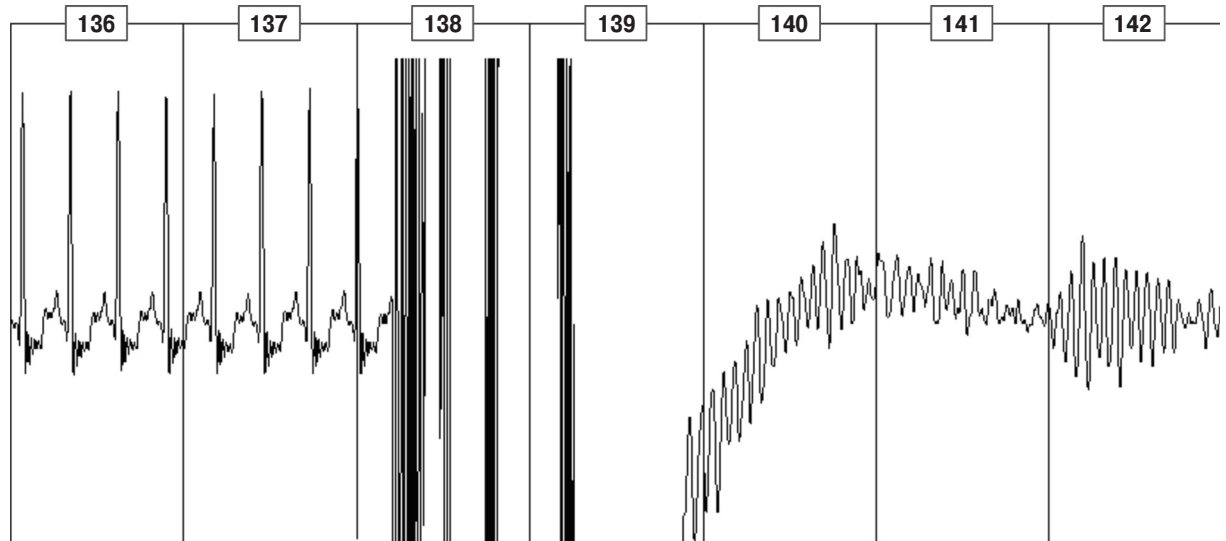


Рис. 1. Электрокардиограмма собаки в III стандартном отведении на 136–142-й секундах регистрации. Электрокардиограмма разделена на отрезки длительностью 1 с. Калибровка: 0,5 мВ, 1 с

самая большая спектральная мощность сосредоточена в диапазоне частот дельта-, тета- и альфа-ритмов от 3 до 8 Гц, на 180-й секунде – в диапазоне частот дельта-, тета-, альфа- и бета-ритмов от 2 до 13 Гц, на 240-й секунде – в диапазоне частот дельта-, тета-, альфа- и бета-ритмов от 2 до 17 Гц. Таким об-

разом, на 3–5-й минуте фибрилляции желудочков частотный (спектральный) диапазон фибриллярных осцилляций постепенно расширяется.

В таблице 1 приведена спектральная мощность дельта-, тета-, альфа-, бета- и гамма-ритмов в начале 3, 4 и 5-й минуты фибрилляции желудочков.

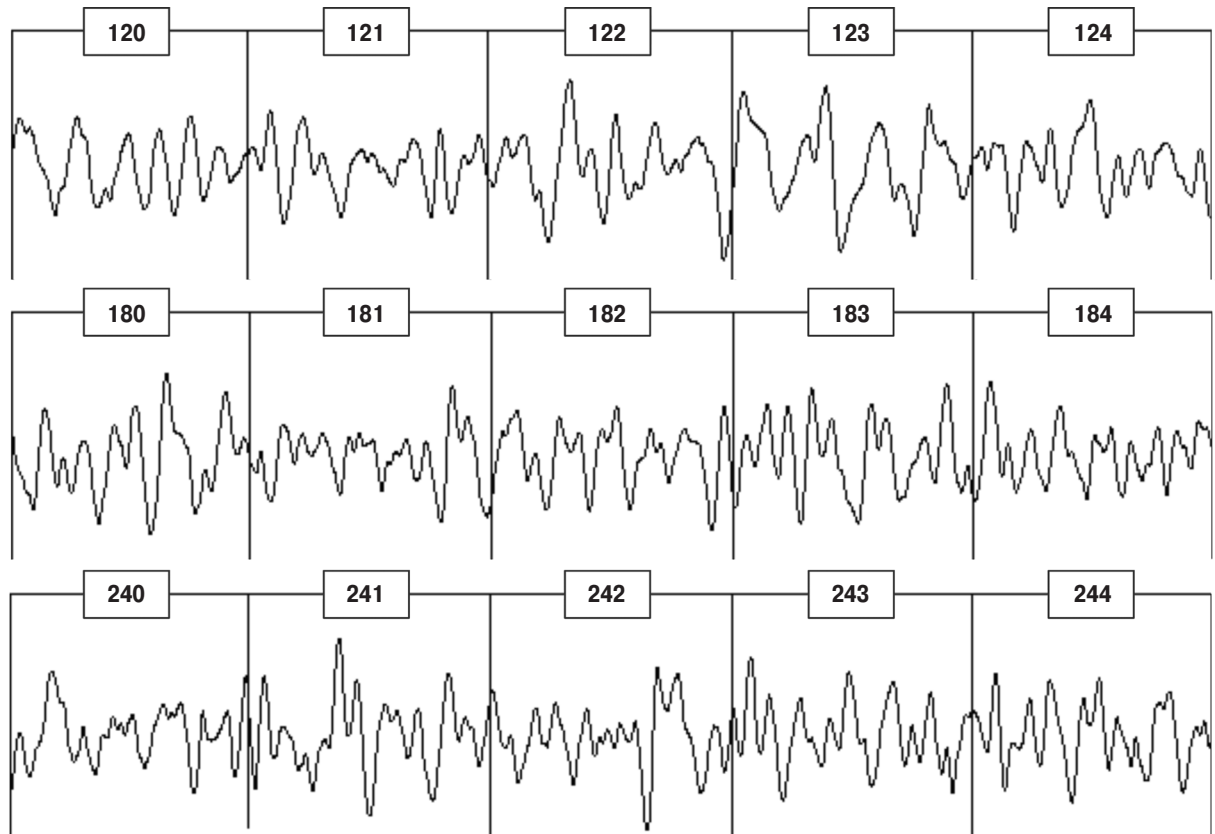


Рис. 2. Электрокардиограмма собаки в III стандартном отведении на 120–124, 180–184 и 240–244-й секундах фибрилляции желудочков. Электрокардиограмма разделена на отрезки длительностью 1 с. Калибровка: 0,7 мВ, 1 с

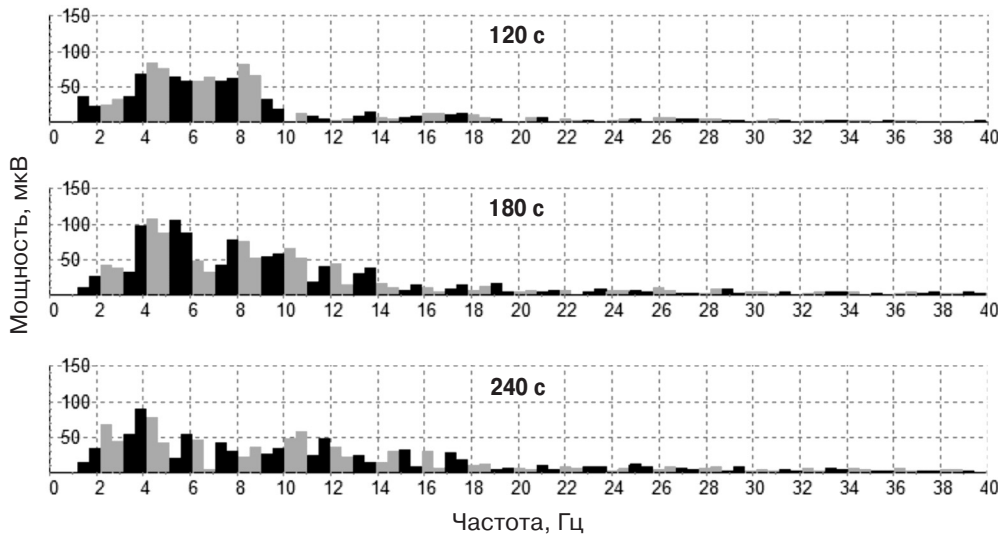


Рис. 3. Спектральная мощность частот 1–40 Гц в односекундных отрезках электрокардиограммы на 120, 180 и 240-й секундах фибрилляции желудочков собаки. Нечетные частоты выделены черным цветом, четные – серым.

Из таблицы 1 видно, что на 120–124-й секундах фибрилляции желудочков тета-, альфа- и дельта-ритмы содержат  $32 \pm 3,2$ ,  $27 \pm 2,4$  и  $22 \pm 3,2\%$  спектральной мощности, гамма- и бета-ритмы –  $11 \pm 0,4$  и  $9 \pm 0,9\%$ . Различие между спектральной мощностью тета-, альфа- и дельта-ритмов и спектральной мощностью гамма- и бета-ритмов статистически достоверно ( $p < 0,05$ ). На 180–184-й секундах фибрилляции желудочков тета-, альфа- и дельта-ритмы содержат  $31 \pm 1,5$ ,  $29 \pm 1,9$  и  $15 \pm 0,7\%$  спектральной мощности, гамма- и бета-ритмы –  $15 \pm 1,0$  и  $11 \pm 1,1\%$ . Различие между спектральной мощностью тета- и альфа-ритмов и спектральной мощностью гамма- и бета-ритмов статистически достоверно ( $p < 0,05$ ). На 240–244-й секундах фибрилляции желудочков тета-, альфа- и дельта-ритмы содержат  $26 \pm 1,5$ ,  $26 \pm 1,2$  и  $18 \pm 2,0\%$  спектральной мощности, бета- и гамма-ритмы  $15 \pm 1,3$  и  $14 \pm 0,9\%$ . Различие между спектральной мощностью тета- и альфа-ритмов и спектральной мощностью гамма- и бета-ритмов статистически достоверно ( $p < 0,05$ ). Таким образом, на 3–5-минуте фибрилляции желудочков в частотной (спектральной) структуре ЭКГ удельный вес частот дельта- и тета-ритмов постепенно снижается, а удельный вес частот альфа-, бета- и гамма-ритмов постепенно возрастает.

В таблице 2 приведены индексы пяти частот с самой большой спектральной мощностью в начале 3, 4 и 5-й минуты фибрилляции желудочков. Из таблицы 2 видно, что на 120–124-й секундах фибрилляции желудочков в каждом интервале анализа в пятерку самых мощных частот входит 2–4 частоты тета-ритма, 1–2 частоты альфа-ритма и 0–2 частоты дельта-ритма. Всего в пятерку самых мощных частот входит 13 частот тета-ритма, 7 частот альфа-ритма и 5 частот дельта-ритма. На 180–184-й секундах фибрилляции желудочков в каждом интервале анализа в пятерку самых мощных частот

входит 1–3 частоты тета- и альфа-ритмов и 1 частота дельта-ритма. Всего в пятерку самых мощных частот входит 12 частот тета-ритма, 9 частот альфа-ритма и 4 частоты дельта-ритма. На 240–244-й секундах фибрилляции в каждом интервале анализа в пятерку самых мощных частот входит 2–3 частоты тета-ритма и 1–2 частоты альфа- и дельта-ритмов. Всего в пятерку самых мощных частот входит 11 частот тета-ритма, 7 частот альфа-ритма и 6 частот дельта-ритма.

В таблице 3 приведена спектральная мощность пяти самых мощных частот на 3–5-й минуте фибрилляции желудочков. Из таблицы 3 видно, что

Таблица 1  
Доля спектральной мощности в процентах дельта-, тета-, альфа-, бета- и гамма-ритмов от суммы мощностей этих ритмов электрокардиограммы в начале 3, 4 и 5-й минуты фибрилляции желудочков собаки

Время от начала фибрилляции, с	Мощность ритмов, %				
	Дельта	Тета	Альфа	Бета	Гамма
120	18	44	19	8	10
121	14	31	34	10	11
122	26	29	27	8	10
123	32	25	27	6	10
124	18	30	29	11	12
<i>M±m</i>	$22 \pm 3,2$	$32 \pm 3,2$	$27 \pm 2,4$	$9 \pm 0,9$	$11 \pm 0,4$
180	15	35	29	9	12
181	17	30	28	10	15
182	14	33	26	12	15
183	16	26	36	8	14
184	13	30	25	14	18
<i>M±m</i>	$15 \pm 0,7$	$31 \pm 1,5$	$29 \pm 1,9$	$11 \pm 1,1$	$15 \pm 1,0$
240	21	23	25	14	17
241	20	25	30	13	12
242	23	24	25	14	15
243	14	30	28	14	14
244	13	30	23	20	13
<i>M±m</i>	$18 \pm 2,0$	$26 \pm 1,5$	$26 \pm 1,2$	$15 \pm 1,3$	$14 \pm 0,9$

Таблица 2  
Индексы пяти частот с самой большой спектральной мощностью в односекундных интервалах электрокардиограммы в начале 3, 4 и 5-й минуты фибрилляции желудочков собаки

Время от начала фибрилляции, с	Частоты, Гц				
	1-я	2-я	3-я	4-я	5-я
120	4	8	5	7	6
121	4	8	5	6	10
122	5	3	2	4	8
123	3	4	9	6	2
124	5	4	8	2	10
180	4	5	3	8	10
181	4	11	5	6	9
182	5	11	6	4	2
183	4	3	12	11	9
184	6	11	4	7	3
240	3	4	2	10	5
241	3	4	10	12	7
242	3	9	5	2	4
243	5	12	6	8	4
244	6	13	3	8	4

Таблица 3  
Доля спектральной мощности (в процентах) пяти самых мощных частот и частот дельта-, тета- и альфа-ритмов из состава пяти самых мощных частот от спектральной мощности частот 1–40 Гц электрокардиограммы в начале 3, 4 и 5-й минуты фибрилляции желудочков собаки

Время от начала фибрилляции, с	Мощность частот, %			
	Дельта	Тета	Альфа	Пять частот
120	0	44	13	57
121	0	26	18	44
122	21	24	7	51
123	29	17	8	54
124	9	20	17	46
<i>M±m</i>	12±5,8	26±4,7	13±2,2	50±2,4
180	8	24	15	47
181	0	27	16	43
182	6	31	9	46
183	10	10	23	43
184	6	25	9	39
<i>M±m</i>	6±1,7	23±3,6	14±2,6	44±1,4
240	18	14	8	39
241	11	16	14	42
242	18	15	9	43
243	0	26	13	39
244	10	19	8	46
<i>M±m</i>	11±3,3	18±2,2	10±1,3	42±1,3

на 3–5-й минуте фибрилляции желудочков средняя спектральная мощность пяти самых мощных частот снижается от  $50 \pm 2,4$  до  $42 \pm 1,3\%$  ( $p < 0,05$ ). На 120–124-й секундах фибрилляции желудочков частоты тета-ритма, входящие в состав пяти самых мощных частот, содержат  $26 \pm 4,7\%$  спектральной мощности, частоты альфа-ритма –  $13 \pm 2,2\%$  и частоты дельта-ритма –  $12 \pm 5,8\%$ . На

180–184-й секундах фибрилляции желудочков частоты тета-ритма, входящие в состав пяти самых мощных частот, содержат  $23 \pm 3,6\%$  спектральной мощности, частоты альфа-ритма –  $14 \pm 2,6\%$  и частоты дельта-ритма –  $6 \pm 1,7\%$ . На 240–244-й секундах фибрилляции желудочков частоты тета-ритма, входящие в состав пяти самых мощных частот, содержат  $18 \pm 2,2\%$  спектральной мощности, частоты альфа-ритма –  $10 \pm 1,3\%$  и частоты дельта-ритма –  $11 \pm 3,3\%$ .

Таким образом, на 3–5-й минуте фибрилляции желудочков частота, амплитуда, конфигурация и ритмическая группировка фибриллярных осцилляций непрерывно изменяются в односекундных отрезках ЭКГ, что делает анализ таких осцилляций непостоянной задачей. Нестабильные – непостоянные по частоте и амплитуде осцилляции частотой от 1 до 20 Гц и амплитудой от 0,1 до 1,4 мВ, регистрируемые на ЭКГ, отражают неуверенное ритма сердцем собаки по биоэлектрической функции сердца при фибрилляции желудочков (см. рис. 2).

Осцилляции частотой 1–20 Гц регистрируются на ЭЭГ. В электроэнцефалографии разработана методика анализа непостоянных по частоте и амплитуде осцилляций, регистрируемых на ЭЭГ [4]. Методика частотного (спектрального) анализа ЭКГ в частотных диапазонах, соответствующих частотным диапазонам дельта-, тета-, альфа-, бета- и гамма-ритмов ЭЭГ, позволяет объективно (количественно) характеризовать частотную структуру неуверенного ритма на 3–5-й минуте фибрилляции желудочков. Неуверенное ритма на 3–5-й минуте фибрилляции желудочков характеризуется бездоминантной частотной структурой с наибольшим удельным весом частот тета-, альфа- и дельта-ритмов (см. табл. 1–3).

Функциональная подвижность (лабильность) сердца неуклонно снижается под влиянием ишемии при фибрилляции желудочков. Снижение лабильности сердца отражает постепенное возрастание удельного веса частот альфа-, бета- и гамма-ритмов в бездоминантной частотной структуре неуверенного ритма на 3–5-й минуте фибрилляции желудочков (см. табл. 1–3).

Известно, что фибрилляция желудочков возникает у людей чаще на фоне поражения миокарда (различные варианты ишемической болезни сердца, сердечная недостаточность, клапанные пороки), то есть на фоне гипоксии миокарда и сниженной лабильности сердца. По-видимому, начальной стадии фибрилляции желудочков у человека с патологией миокарда, то есть со сниженной лабильностью сердца, может соответствовать стадия фибрилляции желудочков сердца собаки с бездоминантной частотной структурой с наибольшим

удельным весом частот тета-, дельта- и альфа-ритмов. Такое предположение находит подтверждение в литературе. Например, при тяжелом поражении сердца (тетрада Фалло) спектральные параметры при картировании миокарда при фибрилляции желудочков соответствуют стадии фибрилляции желудочков сердца собаки с бездоминантной частотной структурой с наибольшим удельным весом частот тета-, альфа-, дельта-ритмов [11, 12]. Таким образом, стадия фибрилляции желудочков при сниженной лабильности сердца на 3–5-й минуте развития ФЖ собаки, характеризующаяся неувоением ритма с бездоминантной частотной структурой с наибольшим удельным весом частот тета-, альфа-, дельта-ритмов, применима в клинике, например в кардиохирургии, где фибрилляция желудочков возникает чаще на фоне более или менее значительного поражения миокарда, то есть при ишемии миокарда и сниженной лабильности сердца.

Электрофизиологические механизмы, лежащие в основе изменений ЭКГ в проведенных опытах, связаны, по-видимому, с замедлением и блокадой проведения в миокарде желудочков под влиянием ишемии при фибрилляции желудочков [7, 10].

Таким образом, в работе показано, что частотный анализ ЭКГ в диапазонах, соответствующих частотным диапазонам ритмов ЭЭГ, позволяет объективно (количественно) характеризовать неувоение ритма с бездоминантной частотной структурой на 3–5-й минуте фибрилляции желудочков собаки, соответствующей клинической циркуляторной стадии фибрилляции, на которой в первую очередь следует проводить сердечно-легочную реанимацию и лишь затем проводить дефибрилляцию. Результаты работы можно использовать для объективной и оперативной машинной диагностики циркуляторной стадии фибрилляции желудочков в автоматических дефибрилляторах. По результатам работы получен патент для диагностики фибрилляции желудочков с бездоминантной частотной структурой [3].

### Выводы

1. Фибрилляция желудочков сердца собаки на 3–5-й минуте развития характеризуется неувоением ритма по биоэлектрической функции сердца с регистрацией на электрокардиограмме нестабильных — непостоянных по частоте и амплитуде — осцилляций в частотных диапазонах, соответствующих частотным диапазонам дельта-, тета-, альфа-, бета- и гамма-ритмов электроэнцефалограммы. Неувоение ритма на 3–5-й минуте фибрилляции

желудочков характеризуется бездоминантной частотной структурой с наибольшим удельным весом частот тета-, альфа- и дельта-ритмов.

2. Лабильность сердца снижается под влиянием ишемии при фибрилляции желудочков. Снижение лабильности сердца отражает возрастание удельного веса частот альфа-, бета- и гамма-ритмов в бездоминантной частотной структуре неувоения ритма на 3–5-й минуте фибрилляции желудочков.

3. Спектральный анализ электрокардиограммы в частотных диапазонах, соответствующих частотным диапазонам дельта-, тета-, альфа-, бета- и гамма-ритмов электроэнцефалограммы, позволяет объективно определять стадию неувоения ритма с бездоминантной частотной структурой с наибольшим удельным весом частот тета-, альфа- и дельта-ритмов, соответствующую фибрилляции желудочков на 3–5-й минуте свободного развития в эксперименте у собак.

### ЛИТЕРАТУРА

1. *Востриков, В. А.* Сердечно-легочная реанимация и неотложная кардиологическая помощь при внезапном прекращении эффективной сердечной деятельности / В. А. Востриков // *Клин. анестезиол. и реаниматол.* — 2007. — Т. 4, № 4. — С. 2–7.
2. *Гурвич, Н. Л.* Основные принципы дефибрилляции сердца / Н. Л. Гурвич. — М.: Медицина, 1975.
3. *Гурьянов, М. И.* Способ диагностики стадий фибрилляции желудочков сердца // Патент РФ № 2373849, 2009. Бюл. № 33.
4. *Зенков, Л. П.* Функциональная диагностика нервных болезней: руководство для врачей. — 3-е изд. / Л. П. Зенков, М. А. Ронкин. — М.: Медицина, 2004.
5. *Ревизивили, А. Ш.* Имплантируемые кардиовертеры-дефибрилляторы в профилактике внезапной сердечной смерти / А. Ш. Ревизивили, Н. М. Неминуший // *Вестн. аритмол.* — 2007. — № 47. — С. 42–47.
6. *Ухтомский, А. А.* О показателе лабильности (функциональной подвижности) физиологических приборов / А. А. Ухтомский // *Труды Физиол. института ЛГУ.* — 1934. — № 14. — С. 3–9.
7. *Dosdall, D. J.* Chemical ablation of the Purkinje system causes early termination and activation rate slowing of long-duration ventricular fibrillation in dogs / D. J. Dosdall, P. B. Tabereaux, J. J. Kim et al. // *Amer. J. Physiol.* — 2008. — Vol. 295. — P. H883–H889.
8. *Heart disease and stroke statistics: 2007 update* // *Circulation.* — 2007. — Vol. 115. — P. e69–e171.
9. *Huizar, J. F.* Three distinct phases of VF during global ischemia in the isolated blood-perfused pig heart / J. F. Huizar, M. D. Warren, A. G. Shvedko et al. // *Amer. J. Physiol.* — 2007. — Vol. 293. — P. H1617–H1628.
10. *Li, L.* Intramural foci during long duration fibrillation in the pig ventricle / L. Li, Q. Jin, J. Huang et al. // *Circ. Res.* — 2008. — Vol. 102. — P. 1256–1264.
11. *Massé, S.* Ventricular fibrillation in myopathic human hearts: mechanistic insights from in vivo global endocardial and epicardial mapping / S. Massé, E. Downar, V. Chauhan et al. // *Amer. J. Physiol.* — 2007. — Vol. 292. — P. H2589–H2597.
12. *Massé, S.* Effect of global ischemia and reperfusion during ventricular fibrillation in myopathic human hearts / S. Massé, T. Farid, P. Dorian et al. // *Amer. J. Physiol.* — 2009. — Vol. 297. — P. H1984–H1991.