

# ЧАСТОТНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА НЕУСВОЕНИЯ РИТМА ПРИ ФИБРИЛЛЯЦИИ ЖЕЛУДОЧКОВ СЕРДЦА СОБАКИ

М. И. Гурьянов

Тобольская биологическая станция Российской Академии Наук, Тобольск

## Frequency Characteristics of Rhythm Non-Assimilation in Canine Ventricular Fibrillation

M. I. Guryanov

Tobolsk Biological Station, Russian Academy of Science, Tobolsk

Фибрилляция желудочков является основной причиной внезапной сердечной смерти во многих странах, включая Россию, поэтому изучение фибрилляции желудочков является актуальной проблемой. *Цель исследования.* Изучение неусвоения ритма при фибрилляции желудочков сердца собаки. *Материал и методы.* Проведен частотный анализ электрокардиограммы методом быстрого преобразования Фурье при фибрилляции желудочков у 25 собак. Частотный анализ проводился в диапазонах частот, соответствующих частотным диапазонам дельта-, тета-, альфа-, бета- и гамма-ритмов электроэнцефалограммы. *Результаты.* Фибрилляция желудочков характеризуется неусвоением ритма с регистрацией на электрокардиограмме осцилляций в диапазонах частот, соответствующих частотным диапазонам дельта-, тета-, альфа-, бета- и гамма-ритмов электроэнцефалограммы. Удельный вес осцилляций в частотных диапазонах дельта-, тета-, альфа-, бета- и гамма-ритмов определяется функциональной подвижностью (лабильностью) сердца. Лабильность сердца снижается под влиянием ишемии при фибрилляции желудочков. Снижение лабильности сердца при фибрилляции желудочков отражают стадии неусвоения ритма с доминантной и бездоминантной частотной структурой, закономерно выявляемые при частотном анализе электрокардиограммы в частотных диапазонах дельта-, тета-, альфа-, бета- и гамма-ритмов. Чем больше удельный вес частот альфа-, бета- и гамма-ритмов в бездоминантной частотной структуре неусвоения ритма при фибрилляции желудочков, тем глубже падение лабильности сердца. *Заключение.* Частотный анализ электрокардиограммы в частотных диапазонах дельта-, тета-, альфа-, бета- и гамма-ритмов позволяет объективно определять стадии неусвоения ритма во всем диапазоне — на всех стадиях фибрилляции желудочков. Результаты работы можно включать в алгоритмы автоматического анализа электрокардиограммы, что позволит объективно определять стадии фибрилляции желудочков сердца в автоматических дефибрилляторах. *Ключевые слова:* сердце собаки, фибрилляция желудочков, неусвоение ритма.

Ventricular fibrillation is the main cause of sudden cardiac death in many countries, including Russia; therefore to study ventricular fibrillation is an urgent problem. *Objective:* to study rhythm non-assimilation in canine ventricular fibrillation. *Materials and methods.* The author made a frequency analysis of electrocardiograms in 25 dogs with ventricular fibrillation, by applying the fast Fourier transform method. The frequency analysis was carried out in the frequency ranges corresponding to those of delta, theta, alpha, beta, and gamma rhythms of an electroencephalogram. *Results.* Ventricular fibrillation is characterized by rhythm non-assimilation with the oscillations being recorded on an electrocardiogram in the frequency ranges corresponding to those of delta, theta, alpha, beta, and gamma rhythms of an electroencephalogram. The proportion of oscillations in the frequency ranges of delta, theta, alpha, beta, and gamma rhythms is determined by cardiac functional mobility (lability). The latter is reduced by ischemia in ventricular fibrillation. Diminished cardiac lability in ventricular fibrillation reflects the stages of rhythm non-assimilation with a dominant and non-dominant frequency pattern naturally detectable by the frequency analysis of an electrocardiogram in the frequency ranges of delta, theta, alpha, beta, and gamma rhythms. The greater proportion of alpha, beta, and gamma rhythm frequencies in the non-dominant frequency pattern of rhythm non-assimilation in ventricular fibrillation is, the deeper cardiac lability fall is. *Conclusion.* The frequency analysis of an electrocardiogram in the frequency ranges of delta, theta, alpha, beta, and gamma rhythms allows the stages of rhythm non-assimilation to be objectively determined in the entire range — at all stages of ventricular fibrillation. The findings may be included into the algorithms of an automated electrocardiogram analysis, which permits objective determination of ventricular fibrillation stages in automated defibrillators. *Key words:* canine heart, ventricular fibrillation, rhythm non-assimilation.

Фибрилляция желудочков является основной причиной внезапной сердечной смерти во всех экономически развитых странах. Частота внезапной сердеч-

ной смерти составляет от 0,36 до 1,28 на 1000 населения в год, а у мужчин в возрасте от 60 до 69 лет, страдающих заболеванием сердца, внезапная сердечная смерть встречается в 8 случаях на 1000 человек в год [1]. В России последние 10–15 лет отмечается высочайшая смертность от сердечно-сосудистых заболеваний, превосходящая более чем в 3 раза соответствующую смертность среди населения Европейского союза

Адрес для корреспонденции (Correspondence to):

Гурьянов Марат Ильич  
E-mail: mgurianov@yandex.ru

[1]. Частота внезапной сердечной смерти в России составляет 450–600 тысяч случаев в год [2].

У 75–80% больных с внезапной остановкой кровообращения регистрируется фибрилляция желудочков [1]. Тактика лечения и выживаемость при фибрилляции желудочков зависит от ее стадии и длительности. На ранних стадиях, в первые 1–2 мин фибрилляции желудочков, одна лишь дефибрилляция способна привести к восстановлению эффективной работы сердца. На более поздних стадиях, на 3–5 мин фибрилляции желудочков, следует в первую очередь проводить сердечно-легочную реанимацию, включая наружный массаж сердца и лишь затем проводить дефибрилляцию [3]. При развитии фибрилляции желудочков каждая минута промедления с началом сердечно-легочной реанимации уменьшает вероятность выживания на 7–10% и с промедлением дефибрилляции — на 10–15% [3]. Поэтому актуальной является разработка точного количественного анализа электрокардиограммы (ЭКГ), на основе которого можно объективно и оперативно, в автоматическом режиме, определять стадии фибрилляции желудочков.

Известна классификация стадий фибрилляции желудочков по Н. Л. Гурвичу в эксперименте у собак, в которой стадии фибрилляции желудочков определяют: 1) по длительности фибрилляции желудочков; 2) по частоте осцилляций; 3) по амплитуде осцилляций; 4) по анализу чередования ритмичных и аритмичных осцилляций на ЭКГ [4]. Длительность фибрилляции желудочков не всегда можно точно определить в реальной жизни. Амплитуда осцилляций может зависеть не только от стадии фибрилляции желудочков, но и от условий регистрации, например может варьировать в разных отведениях ЭКГ. Анализ ритмичных и аритмичных осцилляций не является достаточно объективным. Поэтому классификацию по Н. Л. Гурвичу нельзя использовать для объективной и оперативной диагностики стадий фибрилляции желудочков в автоматических дефибрилляторах, получающих широкое распространение в лечебной практике [1–3].

Известны «относительно периодическая» стадия на 1-й мин фибрилляции желудочков, «высоко периодическая» — на 1–2-й мин и «апериодическая» — на 3–10-й мин фибрилляции желудочков [5]. Эта описательная классификация, разработанная при оптическом картировании 20% эпикардиальной поверхности желудочков, непригодна для диагностики стадий фибрилляции желудочков в реальной жизни. Таким образом, в доступной нам научной литературе нет работ, в которых была бы дана точная количественная разработка стадий фибрилляции желудочков, простая в диагностике и позволяющая объективно и оперативно определять стадии фибрилляции желудочков.

Сердце является ритмически работающим органом, монотонными ритмичными сокращениями которого обеспечивается снабжение кровью органов и тканей. Известно, что работа сердца собаки осуществляется в порядке усвоения ритма в широком физиологическом диапазоне частот от 30 до 180 в 1 мин [6]. Усвоение ритма сердцем

собаки по биоэлектрической функции сердца характеризуется стабильными по амплитуде и длительности потенциалами действия, регистрируемыми на ЭКГ. Усвоение ритма по сократительной функции сердца характеризуется стабильными по амплитуде сокращениями [6]. Повышение ритма сердца от 180 до 300 в 1 мин сопровождается закономерным переходом от усвоения ритма к трансформации ритма сердцем собаки: усвоение ритма по биоэлектрической и сократительной функции сердца — неполное усвоение ритма по сократительной функции сердца — трансформация ритма сокращений — неполное усвоение ритма по биоэлектрической функции сердца — трансформация ритма возбуждений [7]. Стимуляция сердца собаки стимулами частотой свыше 6–7 Гц приводит к неусвоению ритма сердцем собаки и развитию фибрилляции желудочков [4]. Фибрилляция желудочков характеризуется неусвоением ритма по биоэлектрической функции сердца с регистрацией на ЭКГ нестабильных — непостоянных по частоте и амплитуде фибриллярных осцилляций (потенциалов действия).

Неусвоение ритма при фибрилляции желудочков изучалось для раскрытия общей закономерности развития фибрилляции желудочков при разных воздействиях на сердце [4]. Но в доступной нам научной литературе нет работ, в которых было бы изучено неусвоение ритма во всем диапазоне — на всех стадиях фибрилляции желудочков от первых ее секунд до угасания биоэлектрической активности сердца. Неусвоение ритма развивается, по-видимому, стадийно при фибрилляции желудочков, так как развитие фибрилляции желудочков протекает стадийно [4].

Цель работы — изучение стадий неусвоения ритма при фибрилляции желудочков во всем диапазоне — на всех стадиях фибрилляции желудочков сердца собаки от первых ее секунд до угасания биоэлектрической активности сердца. Анализ результатов проводился с позиции учения Н. Е. Введенского и А. А. Ухтомского о переменной лабильности и усвоении ритма [8].

## Материалы и методы

Было поставлено 25 острых опытов на беспородных собаках обоего пола весом 15–35 кг. Опыты были проведены в соответствии с Международными рекомендациями по проведению медико-биологических исследований с использованием животных (1985) и Приказом Министерства высшего и среднего специального образования СССР №742 от 13.11.1984 «Об утверждении Правил проведения работ с использованием экспериментальных животных». Каждой собаке проводили общую анестезию: внутримышечно вводили золетил из расчета 20 мг/кг. Через 5–10 мин регистрировали в течение 2–3 мин ЭКГ в III стандартном отведении 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 [4]. Через 2–5 с от начала электростимуляции сердца регистрировали ЭКГ при фибрилляции желудочков. ЭКГ при свободном развитии фибрилляции желудочков регистрировали в течение 20–30 мин — до полного угасания биоэлектрической активности сердца собаки. ЭКГ регистрировали на элект-

роэнцефалографе «NeuroS-4U» фирмы «Нейроботикс» (РФ) при частоте оцифровки 500 Гц и записывали на жесткий диск персонального компьютера в файл формата «edf32».

Неусвоение ритма при фибрилляции желудочков изучали по биоэлектрической функции сердца: проводили частотный анализ односекундных отрезков ЭКГ при фибрилляции желудочков методом быстрого преобразования Фурье, используя компьютерную программу «Неокортекс 2.1» фирмы «Нейроботикс». Частотный анализ проводили в диапазоне частот 1–40 Гц, которые были сгруппированы 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. Диапазоны частот дельта-, тета-, альфа-, бета- и гамма-ритмов нашего анализа соответствуют частотным диапазонам дельта-, тета-, альфа-, бета- и гамма-ритмов электроэнцефалограммы (ЭЭГ) [9]. Частотный анализ ЭКГ при фибрилляции желудочков проводили во всем диапазоне — на всех стадиях фибрилляции желудочков от первых секунд фибрилляции желудочков до угасания биоэлектрической активности сердца.

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 ( $p < 0,05$ ).

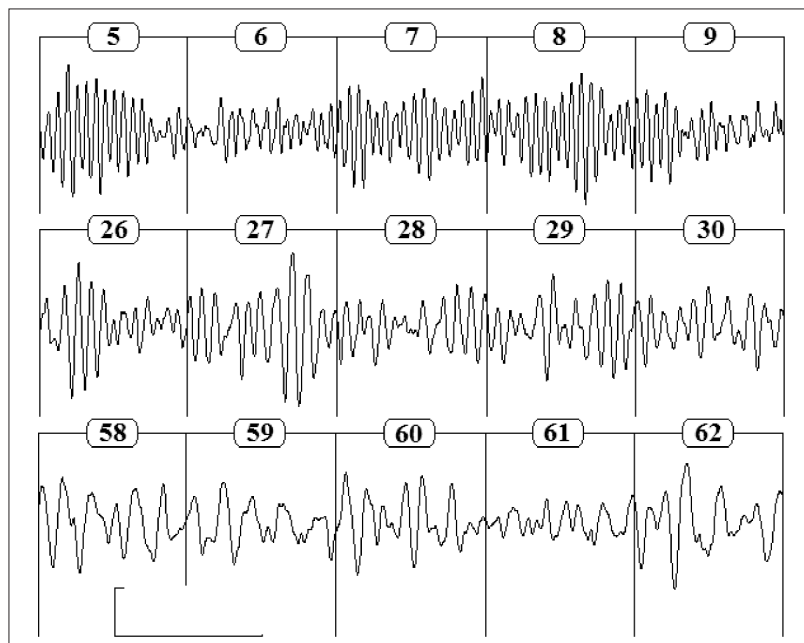


Рис. 1. ЭКГ собаки в III стандартном отведении на 5–9-й, 26–30-й и 58–62-й секундах фибрилляции желудочков. ЭКГ разделена на отрезки 1 с. Калибровка: 0,7 мВ, 1 с.

## Результаты и обсуждение

На рис. 1 приведены типичные отрезки ЭКГ на 1-й мин фибрилляции желудочков. Как видно на рис. 1, на 5–9-й секундах фибрилляции желудочков регистрируются осцилляции бета-ритма частотой 13–16 Гц и амплитудой 0,2–2 мВ. Осцилляции бета-ритма сгруппиро-

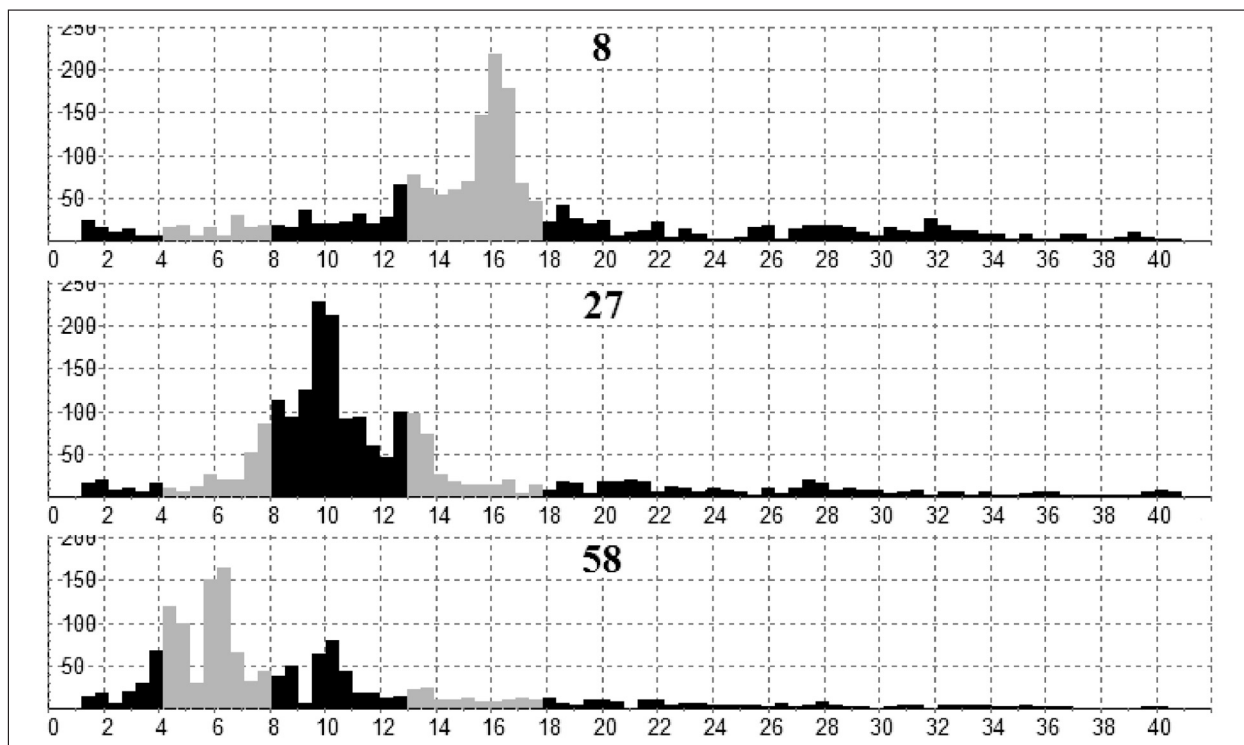


Рис. 2. Спектральная мощность дельта-, тета-, альфа-, бета- и гамма-ритмов односекундных отрезков ЭКГ на 8, 27 и 58-й секундах фибрилляции желудочков собаки. Дельта-, альфа- и гамма-ритмы выделены на спектрограммах черным цветом, тета- и бета-ритмы — оттенком серого. По оси абсцисс — частота, Гц; по оси ординат — мощность, мкВ<sup>2</sup>.

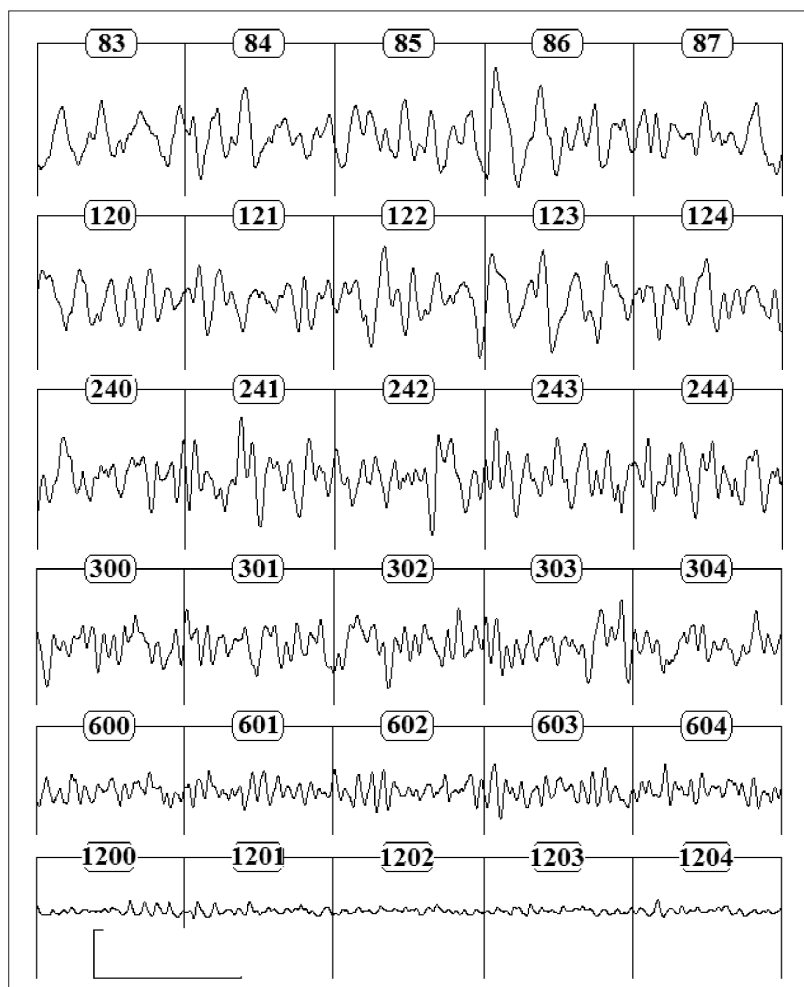


Рис. 3. ЭКГ собаки в III стандартном отведении на 83–87, 120–124, 240–244, 300–304, 600–604 и 1200–1204-й секундах фибрилляции желудочков. ЭКГ разделена на отрезки 1 с. Калибровка: 0,7 мВ, 1 с.

ваны — модулированы в «фигуры веретен». На 26–30-й секундах фибрилляции желудочков регистрируются осцилляции альфа-ритма 8–12 Гц и 0,2–2,2 мВ. Осцилляции альфа-ритма также сгруппированы — модулированы в «фигуры веретен». На 58–62-й секундах фибрилляции желудочков регистрируются осцилляции тета-ритма 4–7 Гц и 0,2–1,5 мВ. Осцилляции тета-ритма не сгруппированы в характерные фигуры веретен, как на первых секундах фибрилляции желудочков.

На рис. 2 приведены типичные спектрограммы односекундных отрезков ЭКГ. Как видно на рис. 2, спектральная мощность распределена очень неравномерно в частотном диапазоне от дельта- до гамма-ритма. На 8-й секунде фибрилляции желудочков наибольшую спектральную мощность содержат частоты бета-ритма 13–16 Гц, на 27-й секунде — частоты альфа-ритма 8–12 Гц, на 58-й секунде — частоты тета-ритма 4–7 Гц.

На рис. 3 приведены типичные отрезки ЭКГ на 2–20-й мин фибрилляции желудочков. Как видно на рис. 3, на 83–124 и 120–124-й секундах фибрилляции желудочков регистрируются осцилляции дельта-, тета- и альфа-ритмов частотой 2–10 Гц и амплитудой 0,2–1,6 мВ. На 240–244 и 300–304-й секундах фибрилляции желу-

дочков регистрируются осцилляции дельта-, тета-, альфа- и бета-ритмов частотой 2–15 Гц и амплитудой 0,1–1,1 мВ. На 600–604-й секундах фибрилляции желудочков регистрируется так называемый белый шум — хаотичные осцилляции частотой от 2 до 20 Гц и амплитудой от 0,1 до 0,6 мВ. На 1200–1204-й секундах фибрилляции желудочков регистрируются хаотичные низкоамплитудные осцилляции амплитудой 0,1–0,2 мВ.

На рис. 4 приведены типичные спектрограммы односекундных отрезков ЭКГ. Как видно на рис. 4, на 85 и 120-й секундах фибрилляции желудочков наибольшая спектральная мощность сосредоточена в диапазонах частот дельта-, тета- и альфа-ритмов. На 240, 300 и 600-й секундах фибрилляции желудочков наибольшая спектральная мощность сосредоточена в диапазонах частот дельта-, тета- и альфа- и бета-ритмов.

Средние процентные величины спектральной мощности дельта-, тета-, альфа-, бета- и гамма-ритмов ( $M$ ) и ошибки средней ( $m$ ) приведены в таблице. Из таблицы видно, что на 5–20-й секундах фибрилляции желудочков частоты бета-ритма 13–17 Гц содержат в среднем  $44 \pm 1,6\%$  спектральной мощности. Таким образом, бета-ритм, занимающий 5/40 частотного диапазона, доминирует в частотной (спектральной) структуре ЭКГ. Различие между спектральной мощностью бета-ритма и спектральной мощностью дельта-, тета-, альфа- и гамма-ритмов статистически достоверно ( $p < 0,05$ ).

На 26–42-й секундах фибрилляции желудочков частоты альфа-ритма 8–12 Гц содержат  $42 \pm 1,4\%$  спектральной мощности. Альфа-ритм, занимающий 5/40 частотного диапазона, доминирует в спектральной структуре ЭКГ. Различие между спектральной мощностью альфа-ритма и мощностью дельта-, тета-, бета- и гамма-ритмов статистически достоверно ( $p < 0,05$ ). На 58–82-й секундах фибрилляции желудочков частоты тета-ритма 4–7 Гц содержат  $38 \pm 1,0\%$  спектральной мощности. Тета-ритм, занимающий 4/40 частотного диапазона, доминирует в спектральной структуре ЭКГ. Различие между спектральной мощностью тета-ритма и мощностью дельта-, альфа-, бета- и гамма-ритмов статистически достоверно ( $p < 0,05$ ).

На 83–95-й секундах фибрилляции желудочков тета-, дельта- и альфа-ритмы содержат, соответственно,  $33 \pm 1,7$ ;  $27 \pm 1,6$  и  $20 \pm 1,4\%$  спектральной мощности. Различие между спектральной мощностью тета-, дельта- и альфа-ритмов и мощностью бета- и гамма-ритмов статистически достоверно ( $p < 0,05$ ). На 120–135-й секун-



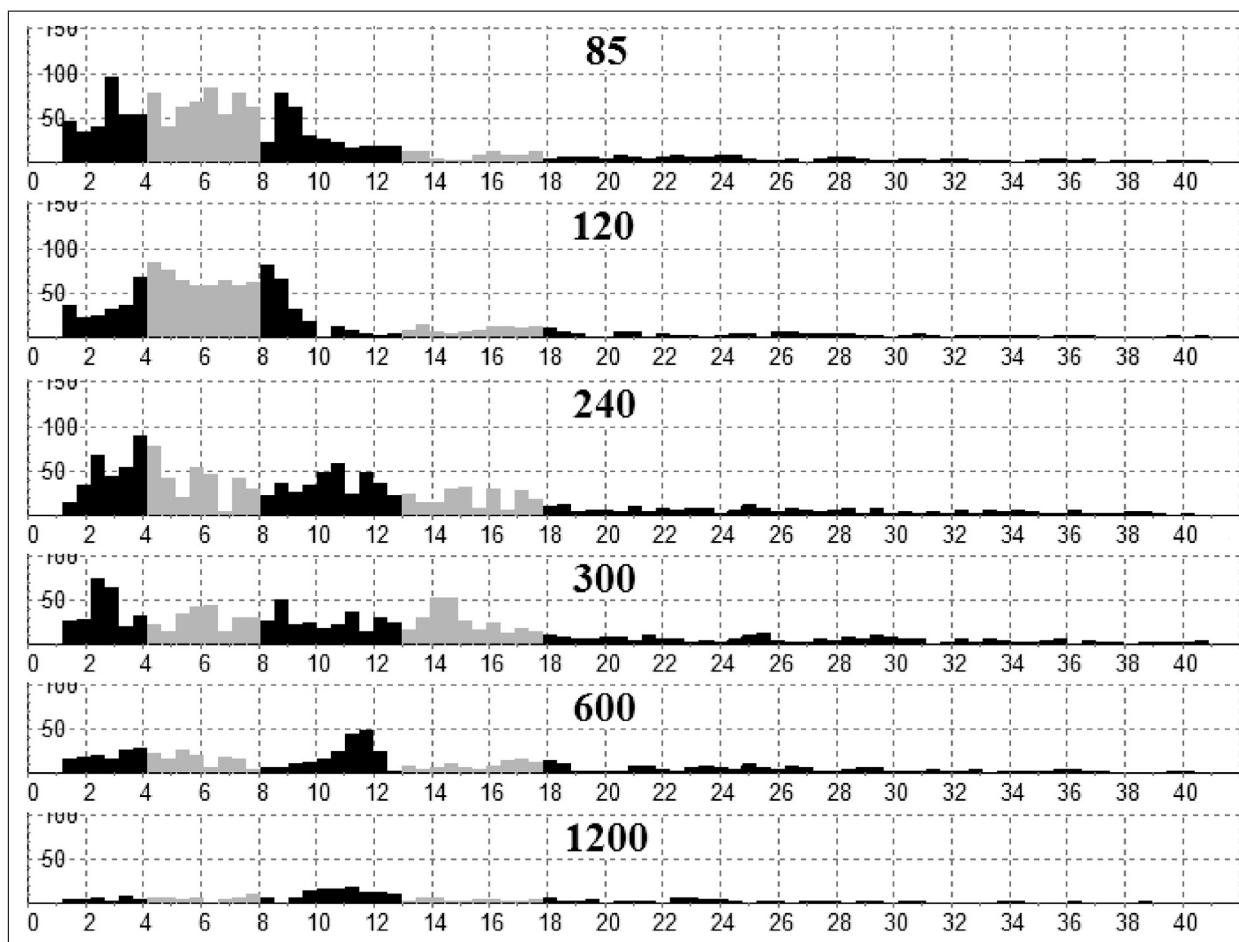


Рис. 4. Спектральная мощность дельта-, тета-, альфа-, бета- и гамма-ритмов в односекундных отрезках ЭКГ на 85, 120, 240, 300, 600 и 1200-й секундах фибрилляции желудочков собаки. Дельта-, альфа- и гамма-ритмы выделены на спектрограммах черным цветом, тета- и бета-ритмы — оттенком серого. По оси абсцисс — частота, Гц; по оси ординат — мощность, мкВ<sup>2</sup>.

дах фибрилляции желудочков тета-, альфа- и дельта-ритмы содержат, соответственно  $33 \pm 1,5$ ;  $27 \pm 1,3$  и  $21 \pm 1,5\%$  спектральной мощности. Различие между спектральной мощностью тета-, альфа- и дельта-ритмов и мощностью бета- и гамма-ритмов статистически достоверно ( $p < 0,05$ ). На 240–255-й секундах фибрилляции желудочков альфа-, тета- и дельта-ритмы содержат, соответственно,  $25 \pm 0,8$ ;  $24 \pm 0,9$  и  $19 \pm 0,9\%$  спектральной мощности. Различие между спектральной мощностью альфа- и тета-ритмов и мощностью бета- и гамма-ритмов статистически достоверно ( $p < 0,05$ ). На 600–615-й секундах фибрилляции желудочков альфа-, гамма- и бета-ритмы содержат  $28 \pm 0,7$ ;  $25 \pm 0,6$  и  $20 \pm 0,9\%$  спектральной мощности. Различие между спектральной мощностью альфа-, гамма- и бета-ритмов и мощностью дельта- и тета-ритмов статистически достоверно ( $p < 0,05$ ). На 720–735, 960–975 и 1080–1095-й секундах фибрилляции желудочков средние спектральные величины альфа-, бета- и гамма-ритмов больше, чем средние спектральные величины дельта- и тета-ритмов, и это различие является статистически достоверным ( $p < 0,05$ ).

Описание ЭКГ, основанное на анализе комплекса QRS, зубца R, интервала R–R, других зубцов и интервалов ЭКГ, неприменимо при фибрилляции желудоч-

ков, так как при фибрилляции желудочков на ЭКГ не определяется комплекс QRS, зубец R, интервалы R–R, другие зубцы и интервалы ЭКГ, изоэлектрическая линия отсутствует. От первых секунд фибрилляции желудочков до угасания биоэлектрической активности сердца на 20-й мин фибрилляции желудочков частота, амплитуда и ритмическая группировка фибриллярных осцилляций непрерывно изменяется в односекундных отрезках ЭКГ, что делает анализ таких осцилляций непростой задачей. Нестабильные — непостоянные по частоте и амплитуде осцилляции частотой от 1 до 20 Гц и амплитудой от 0,1 до 2,2 мВ, регистрируемые на ЭКГ, отражают неусвоение ритма сердцем собаки по биоэлектрической функции сердца при фибрилляции желудочков (рис. 1 и 3).

Осцилляции частотой 1–20 Гц регистрируются на ЭЭГ. В электроэнцефалографии разработана методика анализа непостоянных по частоте и амплитуде осцилляций, регистрируемых на ЭЭГ [9]. Методика частотного анализа ЭКГ в частотных диапазонах, соответствующих частотным диапазонам дельта-, тета-, альфа-, бета- и гамма-ритмов ЭЭГ, позволяет количественно описать частотную структуру стадий неусвоения ритма во всем диапазоне — на всех стадиях фибрилляции желудочков сердца собаки. Из таблицы видно, что на 5–20-й секун-

Спектральная мощность дельта-, тета-, альфа-, бета- и гамма-ритмов в процентах к сумме мощности этих ритмов на 5–1215-й секундах фибрилляции желудочков собаки

| Интервал фибрилляции | Мощность ритмов, % |        |        |        |        |
|----------------------|--------------------|--------|--------|--------|--------|
|                      | Дельта             | Тета   | Альфа  | Бета   | Гамма  |
| 5–20 с               | 4±0,2              | 6±0,4  | 17±0,6 | 44±1,6 | 30±1,2 |
| 26–42 с              | 6±0,3              | 24±1,8 | 42±1,4 | 13±1,0 | 16±0,8 |
| 58–82 с              | 18±1,2             | 38±1,0 | 23±1,0 | 9±0,4  | 12±0,5 |
| 83–95 с              | 27±1,6             | 33±1,7 | 20±1,4 | 7±0,4  | 12±0,4 |
| 120–135 с            | 21±1,5             | 33±1,5 | 27±1,3 | 8±0,5  | 11±0,3 |
| 180–195 с            | 19±1,3             | 30±1,0 | 27±1,2 | 10±0,6 | 14±0,6 |
| 240–255 с            | 19±0,9             | 24±0,9 | 25±0,8 | 17±0,7 | 15±0,6 |
| 300–315 с            | 19±0,9             | 22±0,7 | 22±1,1 | 20±0,8 | 17±0,7 |
| 360–375 с            | 18±1,3             | 21±1,1 | 26±1,3 | 16±1,0 | 19±0,6 |
| 480–495 с            | 12±1,0             | 17±0,9 | 31±1,2 | 18±1,0 | 22±0,8 |
| 600–615 с            | 12±0,7             | 15±0,8 | 28±0,7 | 20±0,9 | 25±0,6 |
| 720–735 с            | 11±0,7             | 14±0,9 | 27±1,2 | 20±1,1 | 28±0,8 |
| 840–855 с            | 9±0,6              | 13±0,7 | 29±1,6 | 18±1,2 | 30±1,1 |
| 960–975 с            | 9±0,4              | 14±0,7 | 27±1,2 | 21±1,0 | 29±0,7 |
| 1080–1095 с          | 11±0,4             | 15±0,6 | 28±1,1 | 18±0,8 | 29±0,8 |
| 1200–1215 с          | 12±0,5             | 17±1,0 | 28±1,4 | 15±0,7 | 28±0,6 |

дах фибрилляции желудочков в частотной структуре неусвоения ритма доминируют частоты бета-ритма, на 26–42-й секундах фибрилляции желудочков в частотной структуре неусвоения ритма доминируют частоты альфа-ритма, на 58–82-й секундах фибрилляции желудочков в частотной структуре неусвоения ритма доминируют частоты тета-ритма.

На последующих стадиях фибрилляции желудочков выявляется бездоминантная частотная структура неусвоения ритма с постепенным возрастанием удельного веса частот альфа-, бета- и гамма-ритмов в бездоминантной частотной структуре. Из таблицы видно, что на 83–95-й секундах фибрилляции желудочков наибольший удельный вес в бездоминантной частотной структуре неусвоения ритма имеют частоты тета-, дельта- и альфа-ритмов, на 120–195-й секундах — частоты тета-, альфа- и дельта-ритмов, на 240–255-й секундах — частоты альфа-, тета- и дельта-ритмов. На 360–375-й секундах фибрилляции желудочков наибольший удельный вес в бездоминантной частотной структуре неусвоения ритма имеют частоты альфа-, тета- и гамма-ритмов, на 480–615-й секундах — частоты альфа-, гамма- и бета-ритмов, на 720–1215-й секундах — частоты гамма-, альфа- и бета-ритмов.

Неусвоение ритма отражает распад функциональной целостности миокарда при фибрилляции желудочков и дезорганизацию (десинхронизацию) биоэлектрической активности кардиомиоцитов. Но доминантная частотная структура неусвоения ритма отражает сохранение элементов организованной (синхронизованной) биоэлектрической активности кардиомиоцитов на 1-й мин 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 низкоамплитудными и высокочастотными беспорядочными колебаниями. Известно, что элементы организованной биоэлектрической активности определяются на 1-й мин

фибрилляции желудочков при электрическом картировании миокарда желудочков [5, 10]. На первых секундах фибрилляции желудочков кардиомиоциты генерируют неусвоенные потенциалы действия в доминирующих частотах бета-ритма 13–17 Гц или альфа-ритма 8–12 Гц [10, 11].

Снижение частоты доминирующих осцилляций от частот бета-ритма 13–17 Гц до частот тета-ритма 4–7 Гц на 1-й мин фибрилляции желудочков отражает падение лабильности сердца под влиянием ишемии. Развитие бездоминантной частотной структуры неусвоения ритма и закономерное возрастание частот альфа-, бета- и гамма-ритмов в бездоминантной частотной структуре отражает еще более значительное падение лабильности сердца, характеризующее углубление распада функциональной целостности миокарда под влиянием ишемии при фибрилляции желудочков.

Физиологический диапазон сокращений сердца человека составляет 50–100 в 1 мин, что меньше, чем диапазон сокращений сердца собаки 50–200 в 1 мин [12]. Фибрилляция желудочков возникает у людей чаще в пожилом возрасте. Наиболее частой причиной фибрилляции желудочков является ишемическая болезнь сердца в различных вариантах (нестабильная стенокардия, инфаркт миокарда), то есть фибрилляция желудочков возникает чаще на фоне сниженной лабильности сердца. Поэтому можно предположить, что начальной стадии фибрилляции желудочков у пожилого человека с ишемической болезнью сердца, то есть со сниженной лабильностью сердца, соответствует стадия фибрилляции желудочков сердца собаки с доминированием частот тета-ритма. Наше предположение находит подтверждение в данных литературы. У пожилых людей (средний возраст 65 лет) с ишемической болезнью сердца и с имплантированным дефибриллятором спектральные параметры интракардиальной электрограммы сердца при спонтанной или вызванной стимуляцией переменным током 50 Гц фибрилляции желудочков соот-

ветствуют стадии фибрилляции желудочков сердца собаки с доминированием частот тета-ритма [13, 14]. При тяжелой кардиопатии (тетрада Фалло) спектральные параметры при картировании миокарда при фибрилляции желудочков, соответствуют стадиям фибрилляции желудочков сердца собаки с доминированием частот тета-ритма и/или стадии фибрилляции желудочков с бездоминантной частотной структурой с наибольшим удельным весом частот тета-, дельта- и альфа-ритмов [15].

Таким образом, стадии неусвоения ритма при фибрилляции желудочков, определенные в эксперименте на здоровом сердце собаки, могут быть использованы в клинике, где фибрилляция желудочков возникает чаще на фоне поражения миокарда, то есть при сниженной лабильности сердца.

У здорового человека с высокой лабильностью сердца фибрилляция желудочков может соответствовать стадиям фибрилляции желудочков сердца собаки с доминированием частот альфа-ритма, что подтверждается данными литературы. Известно, что на первой клинической стадии фибрилляции желудочков (первичная фибрилляция желудочков) частота фибриллярных осцилляций составляет 500 и более в 1 мин [16].

Существующие в настоящее время теории фибрилляции желудочков: теория множественных мелких волн, гипотеза материнского ротора, «быстрый» и «медленный» типы фибрилляции желудочков с крутой ( $\text{restitution slope} > 1$ ) и пологой ( $\text{restitution slope} < 1$ ) крутизной наклона восстановления потенциала действия, трехмерные компьютерные модели — не объясняют полностью все особенности развития фибрилляции желудочков [17–19]. При картировании миокарда и компьютерном моделировании выявлено от 6 до 9 роторов на поверхности эпикарда при фибрилляции желудочков у человека, что в 5 раз меньше, чем количество роторов, выявленное при фибрилляции желудочков сердца свиньи и собаки [20]. На наш взгляд, на стадиях фибрилляции желудочков с доминантной частотной структурой должно быть немного роторов — к этим стадиям фибрилляции желудочков больше применима, по-видимому, гипотеза материнского ротора. К стадиям фибрилляции желудочков с бездоминантной частотной структурой больше применима, по-видимому, теория множественных мелких волн, что подтверждается возрастанием фрагментации миокарда — возрастанием числа эктопических очагов под влиянием ишемии при картировании миокарда при фибрилляции желудочков [5, 21].

Известно, что скорость восстановления длительности потенциала действия снижается под влиянием ишемии при длительном развитии фибрилляции желудочков [22]. Теоретически это приводит к стабилизации ротора, возрастанию организованности (периодичности) биоэлектрической активности сердца при фибрилляции желудочков и прекращению фибрилляции желудочков [17–19]. Такой вывод не подтверждается в нашем исследовании, в котором фибрилляция

желудочков развивается от доминантных (относительно организованных) стадий к бездоминантным (дезорганизованным) стадиям фибрилляции желудочков, что отражает возрастание распада функциональной целостности миокарда под влиянием ишемии при фибрилляции желудочков.

## Заключение

Фибрилляция желудочков характеризуется неусвоением ритма сердцем собаки по биоэлектрической функции сердца с регистрацией на ЭКГ нестабильных — непостоянных по частоте и амплитуде осцилляций в частотных диапазонах, соответствующих частотным диапазонам дельта-, тета-, альфа-, бета- и гамма-ритмов ЭЭГ. Удельный вес осцилляций в частотных диапазонах дельта-, тета-, альфа-, бета- и гамма-ритмов определяется функциональной подвижностью (лабильностью) сердца.

Лабильность сердца снижается под влиянием ишемии при фибрилляции желудочков. Снижение лабильности сердца при фибрилляции желудочков отражают стадии неусвоения ритма с доминантной и бездоминантной частотной структурой, закономерно выявляемые при частотном анализе ЭКГ в частотных диапазонах, соответствующих частотным диапазонам дельта-, тета-, альфа-, бета- и гамма-ритмов ЭЭГ:

- стадия неусвоения ритма с доминированием частот бета-ритма;
- стадия неусвоения ритма с доминированием частот альфа-ритма;
- стадия неусвоения ритма с доминированием частот тета-ритма;
- стадия неусвоения ритма с бездоминантной частотной структурой с наибольшим удельным весом частот тета-, дельта- и альфа-ритмов;
- стадия неусвоения ритма с бездоминантной частотной структурой с наибольшим удельным весом частот тета-, альфа- и дельта-ритмов;
- стадия неусвоения ритма с бездоминантной частотной структурой с наибольшим удельным весом частот альфа-, тета- и дельта-ритмов;
- стадия неусвоения ритма с бездоминантной частотной структурой с наибольшим удельным весом частот альфа-, гамма- и бета-ритмов;
- стадия неусвоения ритма с бездоминантной частотной структурой с наибольшим удельным весом частот гамма-, альфа- и бета-ритмов.

Стадии неусвоения ритма с доминантной и бездоминантной частотной структурой отражают весь диапазон — все стадии развития фибрилляции желудочков от первых секунд фибрилляции желудочков до угасания биоэлектрической активности сердца. Чем больше удельный вес частот альфа-, бета- и гамма-ритмов в бездоминантной частотной структуре неусвоения ритма, тем глубже падение лабильности сердца и распад функциональной целостности миокарда при фибрилляции желудочков.

Спектральный анализ ЭКГ методом быстрого преобразования Фурье в частотных диапазонах, соответствующих частотным диапазонам ритмов ЭЭГ, позволяет объективно определять стадии неусвоения ритма с доминантной и бездоминантной частотной структурой во всем диапазоне — на всех стадиях развития фибрилляции желудочков сердца собаки.

#### Литература

1. Востриков В. А. Электрическая дефибрилляция при внезапной остановке сердца на догоспитальном этапе. Общая реаниматология 2005; 1 (3): 41–45.
2. Бокерия Л. А., Ревинский А. Ш., Неминуцкий Н. М. Имплантируемые кардиовертеры-дефибрилляторы: основное предназначение — первичная профилактика внезапной сердечной смерти. Тихоокеанский мед. журн. 2007; 1: 6–11.
3. Востриков В. А. Сердечно-легочная реанимация и неотложная кардиологическая помощь при внезапном прекращении эффективной сердечной деятельности (догоспитальный и госпитальный этапы). ч. 1. Клин. анестезиол. реаниматол. 2007; 4 (4): 2–7.
4. Гурвич Н. Л. Основные принципы дефибрилляции сердца. М.: Медицина; 1975.
5. Huizar J. F., Warren M. D., Shvedko A. G. et al. Three distinct phases of VF during global ischemia in the isolated blood-perfused pig heart. Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol. 2007; 293 (3): H1617–H1628.
6. Гурьянов М. И. Усвоение ритма изолированным сердцем собаки в условиях изоволюмии. Росс. физиол. журн. им. И. М. Сеченова 2002; 88 (3): 363–371.
7. Гурьянов М. И. Усвоение ритма изолированным сердцем собаки при плавном повышении частоты стимуляции. Росс. физиол. журн. им. И. М. Сеченова 2003; 89 (12): 1529–1537.
8. Ухтомский А. А. Ансамбль возбуждения и электротон. Собр. соч. в 6 томах. Л.: изд-во ЛГУ; 1950–1962. т. 6. 152–167.
9. Зенков Л. Р., Ронкин М. А. Функциональная диагностика нервных болезней. Руководство для врачей. 3-е изд. М.; 2004.
10. Zaitsev A. V., Guha P. K., Sarmast F. et al. Wavebreak formation during ventricular fibrillation in the isolated, regionally ischemic pig heart. Circ. Res. 2003; 92 (5): 546–553.
11. Koller M. L., Riccio M. L., Gilmour R. F. Dynamic restitution of action potential duration during electrical alternans and ventricular fibrillation. Am. J. Physiol. 1998; 275 (5 Pt 2): H1635–H1642.
12. Boyett M. R., Jewell B. R. Analysis of the effects of changes in rate and rhythm upon electrical activity in the heart. Prog. Biophys. Mol. Biol. 1980; 36 (1): 1–52.

Результаты работы можно использовать для объективной и оперативной машинной диагностики стадий фибрилляции желудочков в автоматических дефибрилляторах. По результатам работы получен патент для диагностики стадий фибрилляции желудочков с доминантной и бездоминантной частотной структурой [23].

13. Sánchez-Muñoz J. J., Rojo-Alvarez J. L., García-Alberola A. et al. Spectral analysis of intracardiac electrograms during induced and spontaneous ventricular fibrillation in humans. Europace 2009; 11 (3): 328–331.
14. Panfilov I., Lever N. A., Smaill B. H., Larsen P. D. Ventricular fibrillation frequency from implanted cardioverter defibrillator devices. Europace 2009; 11 (8): 1052–1056.
15. Masse S., Downar E., Chauhan V. et al. Ventricular fibrillation in myopathic human hearts: mechanistic insights from in vivo global endocardial and epicardial mapping. Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol. 2007; 292 (6): H2589–H2597.
16. Иванов Г. Г., Востриков В. А. Фибрилляция желудочков и желудочковые тахикардии — базовые положения и диагностические критерии. 10-я науч.-практ. конф. Диагностика и лечение нарушений регуляции сердечно-сосудистой системы. М.; 2008. 300–311.
17. Taberoux P. B., Dossdall D. J., Ideker R. E. Mechanisms of VF maintenance: wandering wavelets, mother rotors, or foci. Heart Rhythm 2009; 6 (3): 405–415.
18. Keldermann R. H., ten Tusscher K. H., Nash M. P. et al. A computational study of mother rotor VF in the human ventricles. Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol. 2009; 296 (2): H370–H379.
19. Keldermann R. H., ten Tusscher K. H., Nash M. P. et al. Effect of heterogeneous APD restitution on VF organization in a model of the human ventricles. Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol. 2008; 294 (2): H764–H774.
20. ten Tusscher K. H., Mourad A., Nash M. P. et al. Organization of ventricular fibrillation in the human heart: experiments and models. Exp. Physiol. 2009; 94 (5): 553–562.
21. Li L., Jin Q., Huang J. et al. Intramural foci during long duration fibrillation in the pig ventricle. Circ. Res. 2008; 102 (10): 1256–1264.
22. Robertson P. G., Huang J., Chen K. A. et al. Increased cycle length during long duration ventricular fibrillation is caused by decreased upstroke velocity as well as prolonged refractoriness. Heart Rhythm 2009; 6 (3): 378–384.
23. Гурьянов М. И. Способ диагностики стадий фибрилляции желудочков сердца. Патент РФ № 2373849. Приоритет от 10.06.2008. Опубл. 27.11.2009. Бюл. № 33.

Поступила 15.03.10

28–29 августа 2010 г.  
Межрегиональная научно-практическая конференция  
Ассоциации анестезиологов-реаниматологов СЗО  
и ЦФО «Актуальные проблемы анестезиологии  
и реаниматологии»  
Рыбинск, Россия [www.anest-cfo.ru](http://www.anest-cfo.ru)

5–8 сентября 2010 г.  
32 Congress ESPEN  
Nice, France [www.espen.org](http://www.espen.org)  
8–11 сентября 2010 г.  
XXIX ESRA Annual Congress  
Porto, Portugal [www.esraeurope.org](http://www.esraeurope.org)

10–13 октября 2010 г.  
23<sup>rd</sup> Annual Congress ESICM  
Барселона, Испания [www.esicm.org](http://www.esicm.org)

17–19 ноября 2010 г.  
The 1<sup>st</sup> Russian National Congress  
of Hematologists & Transfusiology  
Москва, Россия [www.moscowtransfusion.com](http://www.moscowtransfusion.com)

2–4 декабря  
Resuscitation 2010. The Guidelines Congress 2010  
Porto, Portugal [www.resuscitation2010.eu](http://www.resuscitation2010.eu)