

ционно-аллергической формой бронхиальной астмы, столбняком, изменяется клеточный иммунитет.

2. Этим изменениям способствуют меры интенсивной терапии этих состояний.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Брондз Б. Д., Рохлин О. В. Молекулярные и клеточные основы иммунологического распознавания. М., 1978, с. 52—104.
- Неговский В. А. Основы реаниматологии. 3-е изд. Ташкент, 1977, с. 6—22.
- Мачавариани Ш. С., Хеладзе З. С. — Сабчота мед., 1979, № 1, с. 18—22.
- Петров Р. В. Иммунология и иммуногенетика. М., 1976, с. 284—301.
- Хеладзе З. С. — Республиканская конф. аллергологов. Тезисы. Тбилиси, 1977, с. 332—333.
- Хеладзе З. С., Мачавариани Ш. С. — Всесоюзная конф. молодых нейрохирургов. 11-я. Тезисы докладов. М., 1978, с. 68—69.
- Хеладзе З. С. — Научная конф. молодых реаниматологов Грузии. 1-я. Материалы. Тбилиси, 1978, с. 122—129.
- Чумаченко Н. В., Соколова Э. М. — Антибиотики, 1963, № 7, с. 601—604.
- Floeshein G. L. — Helv. physiol. pharmacol. Acta, 1964, v. 22, p. 241—256.
- Long O., Hartman G., French L. — J. Neurosurg., 1968, v. 24, p. 813—817.
- Scherek R., Stefani S. S. — Fed. Proc., 1963, v. 27, p. 428—431.
- Stulman O. — J. Immunol., 1972, v. 108, p. 602—605.
- Walton A. — Ann. Anesth. franç. 1976, v. 17, p. 247—250.
- Wybran J., Belohradsky A. H., Fudenberd H. H. — Cell. Immunol., 1974, v. 14, p. 353—371.

Поступила 22/V 1979 г.

#### INVESTIGATION OF CELLULAR IMMUNITY IN PATIENTS REQUIRING RESUSCITATION

S. S. Machavariani, Z. S. Kheladze

Questions of cellular immunity are discussed in 85 patients with the infectious allergic form of bronchial asthma in status asthmaticus, 32 patients with severe cranio-cerebral traumatism and in 27 patients with tetanus. It is established that in such patients cellular immunity changes at different stages of the critical condition. Methods of intensive therapy helped to modify cellular immunity. Importance of study of immunological status and rational correction of immunity in patients requiring resuscitation is stressed.

УДК 616.124-009.3-073.97

● В. Я. Табак, А. М. Черныш, А. П. Немирко, Л. А. Манило

#### ДИНАМИКА СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭКГ ПРИ РАЗВИТИИ ФИБРИЛЛЯЦИИ ЖЕЛУДОЧКОВ СЕРДЦА

Лаборатория общей реаниматологии (зав. — акад. АМН СССР В. А. Неговский) АМН СССР, кафедра физики (зав. — проф. Н. М. Ливенцев) I Московского медицинского института им. И. М. Сеченова, кафедра биомедицинской электроники и охраны среды (зав. — проф. В. М. Ахутин) Ленинградского электромеханического института им. В. И. Ульянова (Ленина)

Судить о характере восстановления координированных сокращений миокарда желудочков после электрической дефибрилляции позволяет

непосредственное наблюдение за сердцем во время прямого массажа (Wiggers; Н. Л. Гурвич). Если воздействию дефибриллирующего импульса предшествовали быстрые сокращения крупных участков миокарда («живая» фибрилляция), наступает практически немедленное восстановление эффективных сокращений желудочков, прекращение «вялой» фибрилляции приводит к асистолии, редкому идиовентрикулярному ритму, частым рецидивам фибрилляции и т. д. Следовательно, о функциональном состоянии сердца, которое определяется в первую очередь тяжестью гипоксии, можно судить по виду фибриллярных сокращений.

При наружном массаже сердца получение такой информации не представляется возможным, что нередко приводит к ошибкам при выборе момента проведения электрической дефибрилляции. Преодоление указанной трудности может быть достигнуто с помощью объективного анализа ЭКГ. Как было установлено Н. Л. Гурвичем и В. А. Неговским, при нарастании гипоксии, во время умирания организма, происходит снижение амплитуды и частоты фибриллярных осцилляций на ЭКГ, нарушается их регулярность. Напротив, устранение гипоксии при проведении реанимационных мероприятий обуславливает увеличение частоты и амплитуды осцилляций, что связано с улучшением функции проводимости. При этом весьма характерно, что динамика ЭКГ как при умирании организма, так и в ходе его оживления носит стадийный характер (В. Я. Табак). В некоторых работах (Е. Б. Бабский и соавт., Ragsdale) делались попытки объективизировать данные ЭКГ с помощью математических методов, однако в них не уделено достаточного внимания подразделению фибрилляции желудочков (ФЖ) на стадии. До настоящего времени при описании процесса развития ФЖ обычно приводятся общие, качественные характеристики ФЖ («живая», «вялая», «крупноили мелковолнистая» и т. д.), что затрудняет быструю и точную оценку функционального состояния сердца. В связи с этим представляется целесообразной разработка принципов количественной оценки ЭКГ при ФЖ, которая позволила бы давать обоснованный прогноз характера восстановления сердечной деятельности после электрической дефибрилляции.

Целью настоящей работы явилось изучение спектральных характеристик ФЖ при умирании и оживлении организма и решение на этой основе задачи автоматического распознавания стадий ее развития. Внедрение в практику такого метода экстренной диагностики способствовало бы повышению эффективности реанимационных мероприятий.

**Материал и методы.** Проведено 46 опытов на наркотизированных собаках массой 9,5—23,5 кг. ФЖ сердца вызывали кратковременным (3 с) воздействием переменного

тока (127 В, 50 Гц) через игольчатые электроды по косой петле (правая передняя — левая задняя конечности). После 7—10 мин свободного развития ФЖ собак оживляли с помощью наружного массажа сердца, искусственной вентиляции легких (ИВЛ)  $O_2$  и введения в сосудистое русло 0,5—1 мл раствора адреналина (1 : 1000) в 20—30 мл полиглюкина. ФЖ устраняли на различных этапах оживления, применяя с этой целью 1—2 разряда дефибриллятора напряжением 2,5—3,5 кВ. В работе были использованы отечественные аппараты ИД-66 и ДИ-03.

Во время опыта у собак регистрировали артериальное давление и дыхание, вели наблюдение за динамикой глазных рефлексов. ЭКГ записывали на стандартных электрокардиографах и на магнитной ленте на всех этапах опыта.

Анализ ЭКГ при ФЖ показывает, что его можно представить суммой некоторого гармонического процесса и случайной составляющей. Случайная составляющая связана как с индивидуальными особенностями распространения процесса возбуждения в желудочках, так и с шумами измерения. Электрокардиосигнал (ЭКС) при ФЖ не является стационарным (в смысле теории случайных процессов) процессом, однако изменения в характере кривой фибрилляции происходят достаточно медленно, что позволяет рассматривать ЭКС как стационарный стохастический процесс на интервале 10—15 с.

Известно, что энергетический спектр достаточно полно определяет статистические свойства случайного стационарного процесса, поэтому его характеристики использованы для изучения патогенеза и диагностики стадий возникшей ФЖ. Выборочная оценка энергетического спектра получена на основе быстрого преобразования Фурье (БПФ). Однако выборочный спектр не является устойчивой оценкой спектральной плотности исследуемого процесса ввиду большой дисперсии этой оценки. Уменьшение дисперсии достигалось использованием сглаженных спектральных оценок:

$$G(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} W(g) G(f-g) dg$$

$$W_B(f) = M \left( \frac{\sin \pi f M}{\pi f M} \right), \quad (1)$$

где  $M$  — точка, задающая спектральную ширину окна Барлетта. Выбор этой точки определяется как заданным уровнем устойчивости спектральной оценки, так и необходимостью разрешения по частоте характерных пиков энергетического спектра, несущих информацию об особенностях процесса ФЖ.

Исследованы особенности фибриллярных осцилляций на основе спектрального разложения 5-секундных отрезков ЭКС, представленных дискретными отсчетами с частотой 50 измерений в секунду. Такая частота квантования позволяет анализировать составляющие спектра до 25 Гц. Исследование более высоких гармоник не входило в задачу данной работы. Особое внимание уделено рассмотрению стадий развития фибрилляции. Для каждой реализации, состоящей из 256 дискретных отсчетов, с использованием БПФ вычисляется спектр мощности, нормированный по дисперсии дискретизированного ЭКС,

$$\bar{G}_k^* = \frac{\bar{G}_k}{D}, \quad (2)$$

что исключало амплитудные искажения фибриллярных осцилляций на различных стадиях. Сглаживание производилось с использованием спектрального окна Барлетта (1) с  $M=64$ .

**Результаты и их обсуждение.** Исследуемые реализации ФЖ были разделены на три стадии: I — начальная стадия, II — промежуточная, III — конечная.

Спектры мощности для рассмотренных стадий ФЖ представлены на рис. 1, где  $f_{01}$  (Гц),

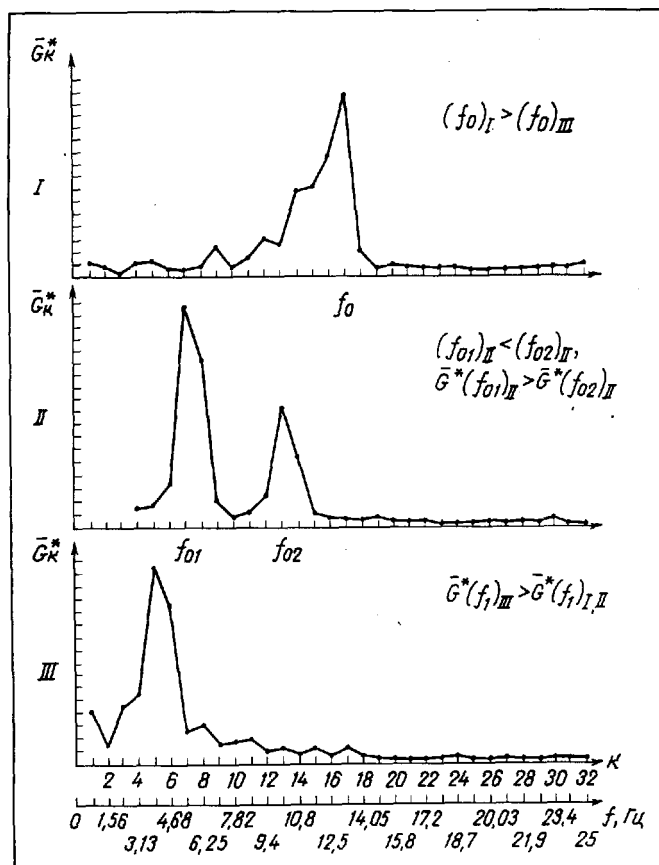


Рис. 1. Спектры мощности для трех стадий (I, II, III) ФЖ. Объяснение в тексте.

$\bar{G}|f_{01}|$  — частота и мощность первого максимума спектральной плотности;  $f_{02}$  (Гц),  $\bar{G}|f_{02}|$  — частота и мощность второго максимума спектральной плотности;  $\bar{G}^*(f_1)$  — мощность минимальной частоты спектра. Индекс при обозначениях указывает, к какой стадии относится данная величина.

Из представленных спектров можно заключить следующее;

1. Основные пики спектральной плотности, несущие информацию о гармонических колебаниях фибриллярных осцилляций, лежат в области от 2 до 13 Гц.

2. Наибольшая частота основного гармонического колебания характерна для начальной стадии (I):

$$(f_0)_I > (f_0)_III$$

3. Для промежуточной стадии (II) характерно наличие двух максимумов спектральной плотности, несущих информацию о двух колебательных процессах, причем колебания меньшей частоты имеют несколько большую мощность:

$$\text{если } (f_{01})_{II} < (f_{02})_{II}, \\ \text{то } \bar{G}^*(f_{01})_{II} > \bar{G}^*(f_{02})_{II}.$$

4. Для конечной стадии фибрилляции (III) характерно дальнейшее снижение частоты основного колебания ( $f_0$ ) III и увеличение мощности минимальной частоты спектра:

$$\bar{G}^*(f_1)_{III} > \bar{G}^*(f_1)_{I, II}.$$

При увеличении гипоксии частота максимума спектральной плотности сдвигается в сторону более низких частот, доходя почти до  $f=0$  при угасании фибрилляции. Динамика спектральной характеристики представлена на рис. 2. Из этого рисунка следует, что к концу II стадии мощность первого колебания  $\bar{G}^*(f_{01})$  стремится к 0, а ( $f_{02}$ ) сохраняется и переходит в III стадию, постепенно убывая.

При уменьшении гипоксии миокарда во время оживления организма динамика ЭКГ была в целом обратна той, которая наблюдалась при умирании. После 7—10 мин свободного развития ФЖ максимум спектральной плотности сдвигался в сторону высоких частот (10—12 Гц) только на 6—8-й минуте наружного массажа сердца и искусственной вентиляции легких. При этом ЭКГ постепенно приобретала черты, свойственные начальной (I) стадии ФЖ.

Электрическая дефибрилляция, осуществляемая на 1—2-й минуте реанимации, т. е. в период, когда фибриллярные осцилляции на ЭКГ имели вид, характерный для III стадии, закономерно приводила к асистолии, полной атрио-вентрикулярной блокаде или к очень редкой и нерегулярной эктопической активности. Это вынуждало продолжать наружный массаж сердца, на фоне которого нередко наблюдалось спонтанное возобновление ФЖ, что существенно удлиняло продолжительность реанимационных мероприятий и ухудшало прогноз стойкого восстановления жизненных функций. Если дефибрилляцию сердца проводили на II стадии (3—4-я минута реанимации), происходило восстановление координированных сокращений желудочков. Артериальное давление при этом оставалось низким и нестабильным, что вынуждало проводить дополнительные терапевтические мероприятия. Электрическая дефибрилляция на I стадии (6—8-я минута реанимации) всегда приводила к немедленному восстановлению синусовой автоматии и стабилизации артериального давления на адекватном уровне.

Стадийный характер развития ФЖ после электротравмы можно интерпретировать в свете существующих воззрений на механизм возникновения и поддержания этой аритмии следующим образом. При электротравме переменным током промышленной сети сердце собаки испытывает частоту раздражений, которая значительно превышает лабильность проводящей системы. Это обуславливает формирование зон однопольной блокады проведения и создает предпосылку для установления непрерывной циркуляции возбуждения по принципу «тасто — геент-

гу». Во время I стадии развития фибрилляции, т. е. при отсутствии выраженной гипоксии, существует, видимо, один «круг» распространения возбуждения, в формировании которого участвует проводящая система желудочков в целом.

По мере усиления гипоксии возникает два независимых ритма, что связано с появлением дополнительных зон блокады проведения и распадом одного «круга» на два. При этом весьма вероятно, что две основные волны возбуждения распространяются по крупным ветвям проводящей системы, например по ножкам пучка Гиса. Высказанное предположение подтверждается данными о различных видах вентрикуло-вентрикулярных диссоциаций и даже данными о возможности асинхронного сокращения одного участка миокарда на фоне нормального ритма (М. И. Кузин и Э. А. Богданова; Malamos).

На 2—3-й минуте свободного развития фибрилляции (III стадия) кислородная недостаточность достигает такой степени, когда циркуляция возбуждения может осуществляться по принципу «тасто — геентгу».

Процесс ФЖ, однако, не обязательно возникает и развивается по описанной динамической характеристике. Это объясняется тем, что в общем случае стадия фибрилляции определяется не временем, прошедшим с момента ее возникновения, а степенью гипоксии миокарда. Доказательством этого положения служит тот факт, что при оживлении организма у всех без исключения собак наблюдался «обратный» тип эволюции ЭКГ, в ходе которой III стадия ФЖ переходила во II и далее в I стадию.

Полученные нами экспериментальные данные свидетельствуют о непосредственной связи между видом фибриллярных осцилляций на ЭКГ (т. е. стадией ее развития) и характером вос-

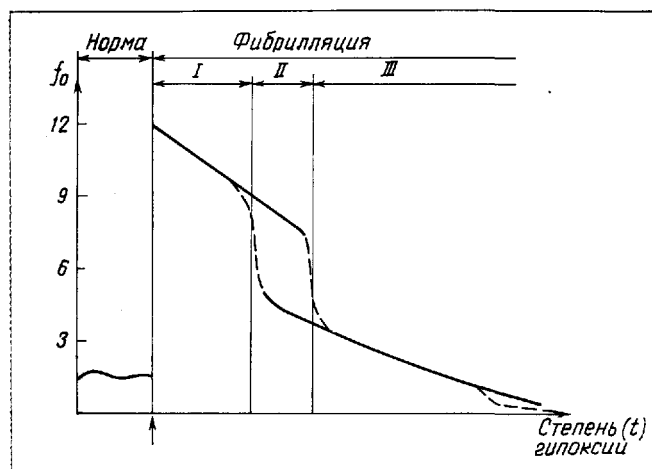


Рис. 2. Динамика спектральной характеристики. I, II, III — стадии ФЖ; стрелка — электротравма.

становления координированных сокращений миокарда после дефибрилляции желудочков. В силу этого эффективность медицинских мероприятий по оживлению организма в значительной степени зависит от правильности экстренной диагностики стадии ФЖ. Задача ее автоматического распознавания может решаться следующим образом. В результате обработки ЭКС с помощью ЭВМ определяется спектр мощности процесса и формируется набор спектральных признаков. Они представляют собой вторичное описание исследуемой реализации в частотной области. Последующая классификационная процедура определяет принадлежность данного вектора к одной из стадий ФЖ, имеющих собственные области в преобразованном пространстве признаков.

Автоматическое распознавание ФЖ и стадии ее развития открывает возможность весьма оперативной выработки оптимальной тактики лечебных мероприятий для оказания помощи значительному контингенту больных, у которых непосредственной причиной терминального состояния явилась ФЖ сердца. Предлагаемый метод экстренной диагностики этого опасного нарушения сердечного ритма будет способствовать улучшению исходов реанимации.

#### ВЫВОДЫ

1. При свободном развитии фибрилляции желудочков сердца, вызванной электротравмой, частота максимума спектральной плотности по мере углубления гипоксии постепенно убывает от 10—12 Гц до 0.

2. Динамическая спектральная характеристика развития фибрилляции желудочков служит основанием для ее подразделения на три стадии, каждая из которых может быть оценена количественно. Экспериментально установлены критерии выбора оптимального момента проведения электрической дефибрилляции.

3. Экстренная оценка ЭКГ при фибрилляции желудочков, осуществляемая с помощью ЭВМ, позволяет получить дополнительную информацию о функциональном состоянии сердца в ходе реанимации и судить об эффективности лечебного процесса в целом.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Бабский Е. Б., Балантер Б. И., Киреева Т. Б. и др. — В кн.: Научный совет по комплексной проблеме «Кибернетика» Академии наук СССР. Информационные материалы. М., 1972, вып. 9—10 (56), с. 44—51.
- Гурвич Н. Л. Основные принципы дефибрилляции сердца. М., 1975.
- Кузин М. И., Богданова Э. А. — Кардиология, 1970, № 10, с. 129.
- Неговский В. А. Актуальные вопросы реаниматологии. М., 1972.
- Табак В. Я. Изменение фибриллярных осцилляций желудочков сердца при умирании и оживлении организма. Дис. канд. М., 1969.

*Malamos B., Mouloupoulos S.* — Am. J. Cardiol., 1960, v. 5, p. 789.

*Wiggers C. J.* — Am. Heart J., 1940, v. 20, p. 399.

Поступила 21/IV 1978 г.

#### THE DYNAMICS OF SPECTRAL CHARACTERISTICS OF ECG IN CARDIAC FIBRILLATION OF THE VENTRICLES

*V. Ya. Tabak, A. M. Chernysh, A. P. Nemirko, L. A. Manilo*

The authors studied the dynamics of the spectral characteristics of the ventricular fibrillation (VF) of the heart during dying and resuscitation of the body. They have shown that the free development of VF possesses a stage-like character, and the timely objective evaluation of the stage enables to select the best method of resuscitation. The dynamic spectral characteristic of VF permits to divide it into three stages, each stage permitting a quantitative assessment. The objective assessment of ECG in VF enables to obtain extra information of the functional state of the heart during resuscitation and to judge of the efficacy of the therapeutic measures.