

ПОЛУЧЕНИЕ И ОБРАБОТКА ДАННЫХ ФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

*Королев Д. В. *, Александров И. В. **, Галагудза М. М. *,
Сыренский А. В. **, Сонин Д. Л. **, Хрусталева Р. С. **

* ФГУ ФЦСКЭ им. В. А. Алмазова Росмедтехнологий

** ГОУ ВПО СПбГМУ им. акад. И. П. Павлова Росздрава

Сложность автоматизации исследований системы кровообращения обусловлена большим набором взаимосвязанных экспериментальных данных, а также необходимостью в ряде случаев осуществлять сбор и анализ данных по ходу эксперимента в реальном масштабе времени. Одним из условий успешного решения этих задач является использование персональных компьютеров с возможностью ввода аналоговых сигналов через устройства аналого-цифрового преобразования (АЦП).

Для проведения продолжительных физиологических и фармакологических экспериментов, направленных на изучение сердечно-сосудистой системы, важным инструментом является программное обеспечение, обладающее удобным интуитивным интерфейсом и позволяющее принимать, хранить и обрабатывать значительные массивы данных. Немаловажным условием для таких программ является также совместимость и удобство работы с другими приложениями.

Для решения сложных задач была разработана программа PhysExp [1].

Программа предназначена для непрерывного наблюдения кривой артериального давления (АД) во время проведения эксперимента. Предусмотрен расчет систолического, диастолического, пульсового и среднего значений давления. Для анализа вариабельности сердечного ритма предусмотрен спектральный Фурье-анализ, построение частотных гистограмм и аппроксимация статистическими распределениями (вариационная пульсометрия), построение корреляционных ритмограмм.

Для ввода сигналов давления реализована поддержка АЦП нескольких производителей— L-Card, ADLink, National Instruments.

Первым этапом анализа экспериментального сигнала является его предварительная обработка.

В общем случае предварительная обработка сигнала может осуществляться либо при помощи фильтрации, либо при помощи сглаживания [2]. При обработке сигнала АД использовались медианная фильтрация, полиномиальное сглаживание [3] и сглаживание сплайном [4].

Наилучшие результаты показал алгоритм сглаживания кубическим сплайном. Для функции $y = f(t)$ значения аппроксимировались функцией вида

$$\varphi(t) = K_{j-1} \frac{(t_j - t)^3}{6h_j} + K_j \frac{(t - t_{j-1})^3}{6h_j} + \frac{t_j - t}{h_j} \left(y_{j-1} - \frac{K_{j-1} h_j^2}{6} \right) + \frac{t - t_{j-1}}{h_j} \left(y_j - \frac{K_j h_j^2}{6} \right),$$

$$t \in [t_{j-1}, t_j], \quad j = 2, \dots, N, \quad h_j = t_j - t_{j-1}.$$

где $y = f(t)$ — функция значений сигнала АД;

t — время;

K — коэффициенты сплайна;

N — число экспериментальных значений.

Сглаживание достигалось введением параметра сглаживания при поиске коэффициентов сплайна минимизацией функционала вида

$$\Phi(\varphi) = \int [\varphi''(t)]^2 dt + \sum_{j=1}^N R[\varphi(t_j) - y_j]^2,$$

где $R = \frac{1}{\rho}$ — параметр сглаживания;

$\rho > 0$ — веса точек.

Для определения частоты сердечных сокращений (ЧСС) и RR интервала необходимо из набора экспериментальных точек $y = f(t)$ выделить систолы. Для этого применялся следующий алгоритм. Для каждой точки из набора экспериментальных данных вычислялись производные слева и справа (рис. 1). Значение, удовлетворяющее условию

$$\left\{ \frac{\partial y}{\partial t} \right\}_1 > 0, \left\{ \frac{\partial y}{\partial t} \right\}_2 < 0,$$

считалось вершиной систолы.

Правильность работы алгоритма достигалась регулированием ширины исследуемого интервала.

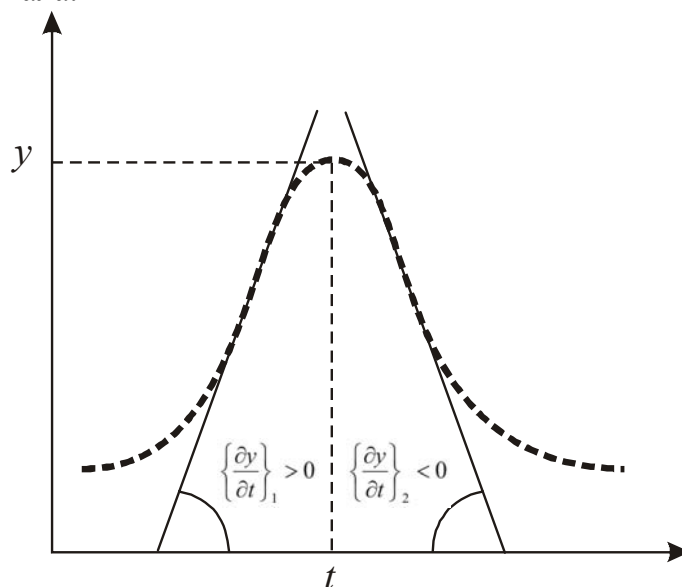


Рисунок 1 — К алгоритму поиска систолы

Для оценки variability сердечного ритма использовался спектральный Фурье анализ (см. рис. 2, 3), включающий в себя определение спектральной плотности и фазового сдвига сигнала

$$S(\omega) = \sqrt{[S_C(\omega)]^2 + [S_S(\omega)]^2},$$

$$\varphi(\omega) = -\arctg[S_S(\omega) / S_C(\omega)],$$

где $S_C = \Delta t \sum_{i=1}^{N-1} y_i \cos(2\pi f \Delta t i)$;

$$S_S = \Delta t \sum_{i=1}^{N-1} y_i \sin(2\pi f \Delta t i);$$

$\omega = 2\pi f$ — угловая частота гармоники;

f — частота гармоники.

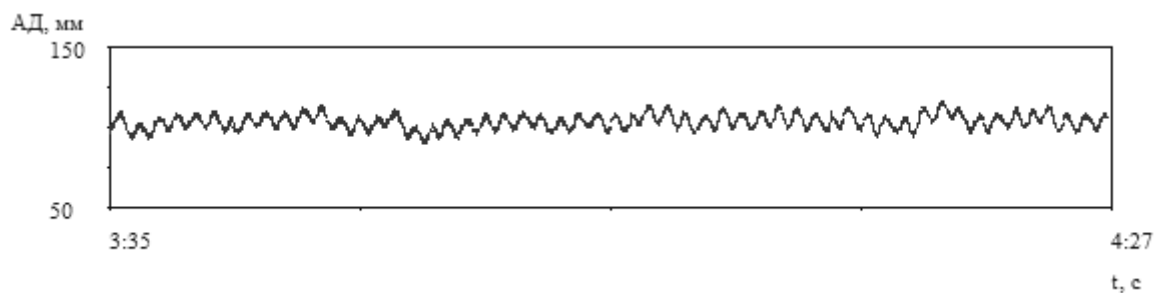


Рисунок 2 — Экспериментальные данные

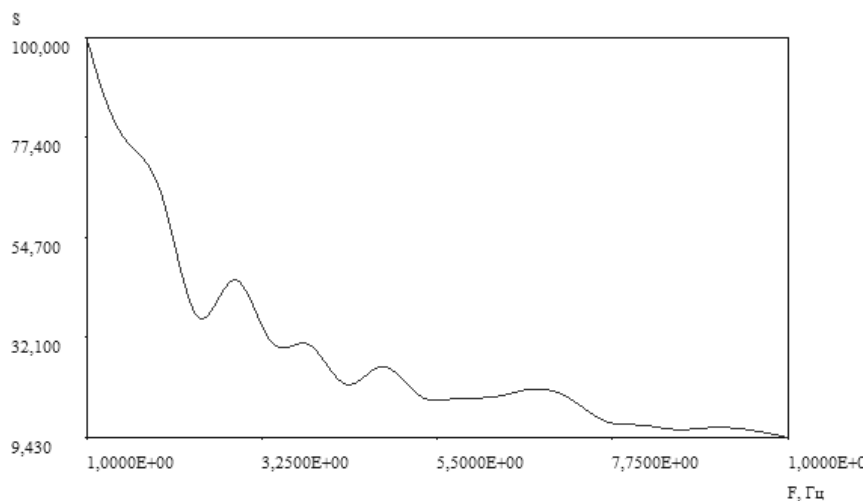


Рисунок 3 — Спектрограмма экспериментальных данных

Для аппроксимации частотной гистограммы использовался нормальный закон распределения (рис. 4).

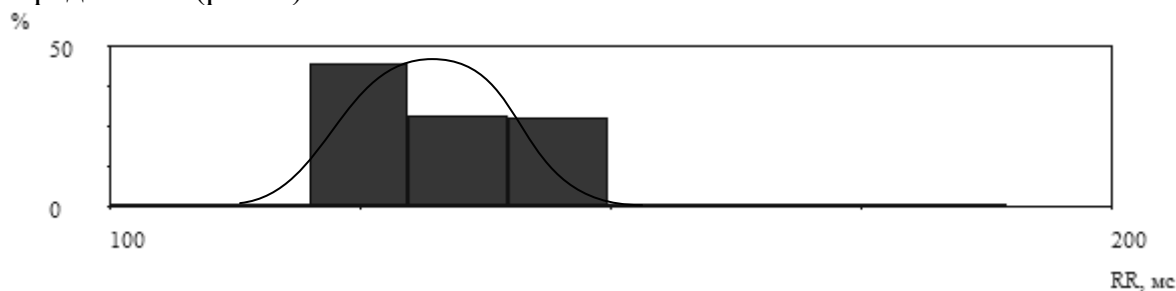


Рисунок 4 — Вариационная пульсограмма экспериментальных данных

1. Королев Д. В., Александров И. В., Сонин Д. Л., Галагудза М. М., Сыренский А. В. «Автоматизация физиологического эксперимента, сопровождающаяся регистрацией основных гемодинамических показателей» (PhysExp 2). Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2004612138, Б № 2, 2004.

2. Цифровая обработка сигналов/ Л. М. Гольдберг, Б. Д. Матюшкин, М. Н. Поляк.— М.: Радио и связь, 1985.— 312 с.

3. Дьяконов В. П. Справочник по алгоритмам и программам на языке бейсик для персональных ЭВМ.— М.: Наука, 1987.— 240 с.

4. Носач В. В. Решение задач аппроксимации с помощью персональных компьютеров.— М.: МИКАП, 1994.— 382 с.