



И.Ю. Выгодчикова

АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ УРОВНЯ КАРДИОНАГРУЗКИ НА ОСНОВЕ КРИТЕРИЯ МИНИМАКСА

(Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского)

Информационные технологии оценки сигналов медицинских приборов позволят человеку самостоятельно принимать верное решение относительно режима оптимального медикаментозного вмешательства, в условиях существующих ограничений двигательной активности и индивидуального режима деятельности. В статье представлена методология системного анализа приборов электрокардиограммы (ЭКГ) на основе линейного сглаживания и масштабирования интервальных данных с использованием критерия минимакса.

Целью исследования является разработка алгоритма оценки уровня кардионагрузки на основе обработки сигналов прибора ЭКГ с использованием сглаживания и критерия минимакса.

Гипотеза работы. Люди, имеющие инфарктное предупреждение, после изменения нагрузки имеют учащённое сердцебиение, нерегулируемый тренд активности сердечных ритмов, приводящее к угрозе инфаркта миокарда.

Гипотеза работы: информационно-ориентированная обработка сигнала ЭКГ позволит дать человеку понятийный аппарат управления ресурсами своего здоровья путём получения следующих рекомендаций: поддерживать режим, снизить физические нагрузки, увеличить физические нагрузки, обратиться в клинику для получения медикаментозного лечения.

Постановка математической задачи. Пусть в узлах сетки $T = \{t_0 < t_1 < \dots < t_N\}$ заданы диапазоны (интервалы) изменения показателя кардиоинтервалограммы (КИГ)⁵ для нескольких испытуемых (за каждый период выбирается минимум и максимум) [1,2]: $[y_{1,k}; y_{2,k}]$, $y_{2,k} \geq y_{1,k}$, $k = \overline{0, N}$. Требуется аппроксимировать данные полиномом вида $p_n(A, t) = a_0 + a_1 t + \dots + a_n t^n$ с коэффициентами $A = (a_0, a_1, \dots, a_n) \in R^{n+1}$, $N \geq n + 1$:

$$\rho(A) = \max_{k=0, N} f(A, k) \longrightarrow \min_{A \in R^{n+1}}, \quad (1)$$

где

$$f(A, k) = \max\{y_{2,k} - p_n(A, t_k); p_n(A, t_k) - y_{1,k}\}. \quad (2)$$

Этапы обработки данных. Во-первых, применяется сглаживание на основе простого скользящего среднего (в рассматриваемом случае, исходная выборка из 800-900 показателей, зафиксированных с интервалом 8-15 секунд, подлежит сглаживанию до 45 аналитических данных). После сглаживания

⁵ Расшифровка сигналов ЭКГ. URL: <https://unclinic.ru/osnovnye-jelementy-jekg-chto-soderzhit-grafik-kardiogrammy/> (дата обращения 10.03.2021).



применяется линейное масштабирование данных для приведения показателей КИГ к интервалу от 0 до 1.

Для этих целей используется формула линейного масштабирования показателя y_k до оценочной оценки \hat{y}_k ($k=0, \dots, N, (N+1)$ – количество данных по данному объекту в выборке, y_{min} – минимальное значение по показателям y_k , y_{max} – максимальное значение по показателям y_k):

$$\hat{y}_k = (y_k - y_{min}) / (y_{max} - y_{min}).$$

После наложения данных выполняется аппроксимация аналитических данных, полученных после сглаживания и масштабирования, по задаче (1)-(2). Алгоритм обработки данных представлен на рис. 1.



Рис. 1. Схема алгоритма



Вычислительный эксперимент⁶. Исходные данные содержат 884 замера интервалов между сердечными сокращениями по результатам КИГ в секундах (для кардиоинтервального анализа, 10-секундный интервал, длительность эксперимента для каждого клиента около 15-18 минут, сглаживание по 840 замерам, итоговая выборка содержит 45 данных, полученных после сглаживания и масштабирования) [3].

На рис.2, рис.3 представлены последовательности временных интервалов между сердечными сокращениями, соответственно, для здоровых людей (рис. 2), нуждающихся в лечении (рис.3).

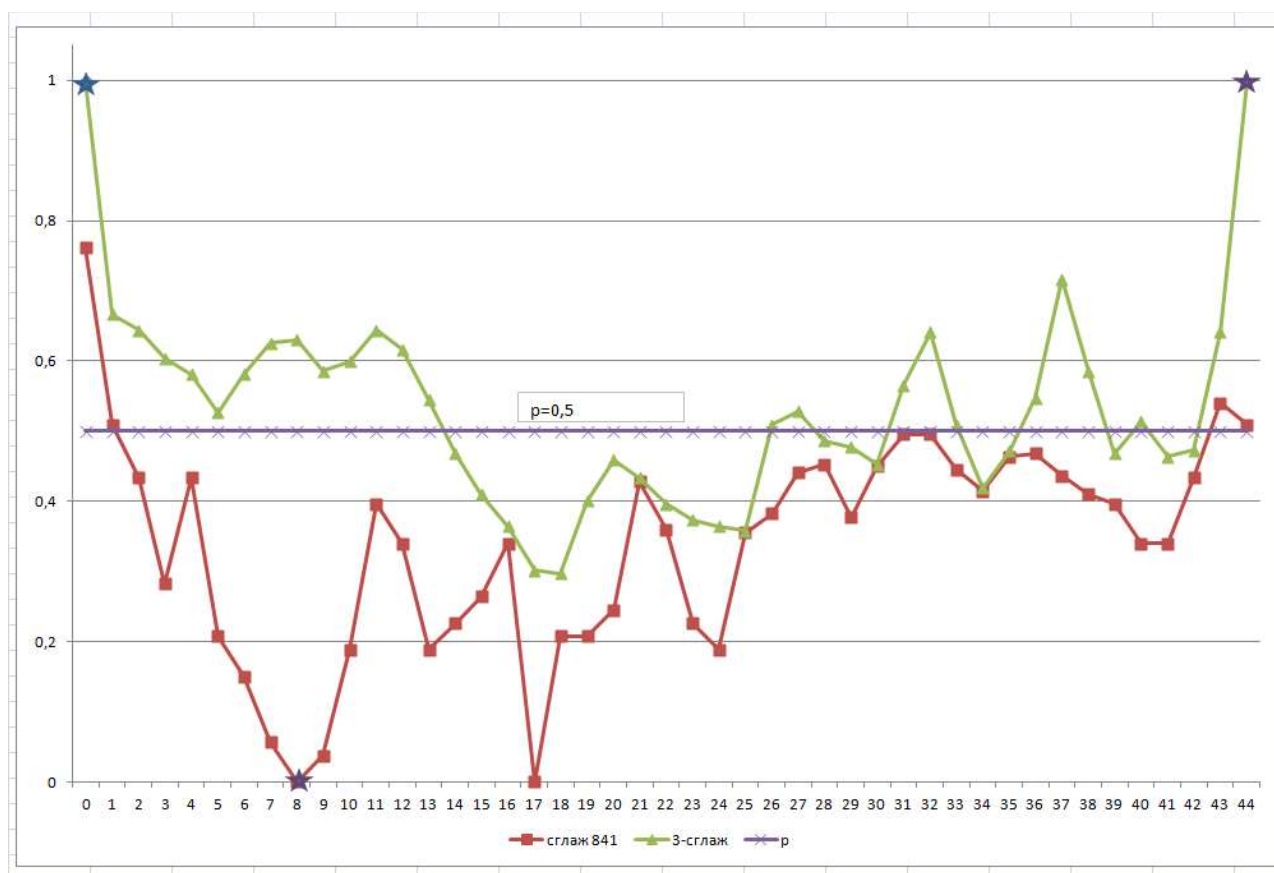


Рис.2. Динамика интервалов КИГ для здоровых клиентов⁷.

⁶ КИГ (кардиоинтервалограмма), состояние покоя испытуемого человека (лежачая поза, без нагрузки). Анализируется: последовательность временных интервалов между сердечными сокращениями. Частота дискретизации 250 Гц. Длительность 10-20 минут

⁷ значения аппроксимирующего полинома степени $n=1$ по задаче (1)-(2) обозначено через p .

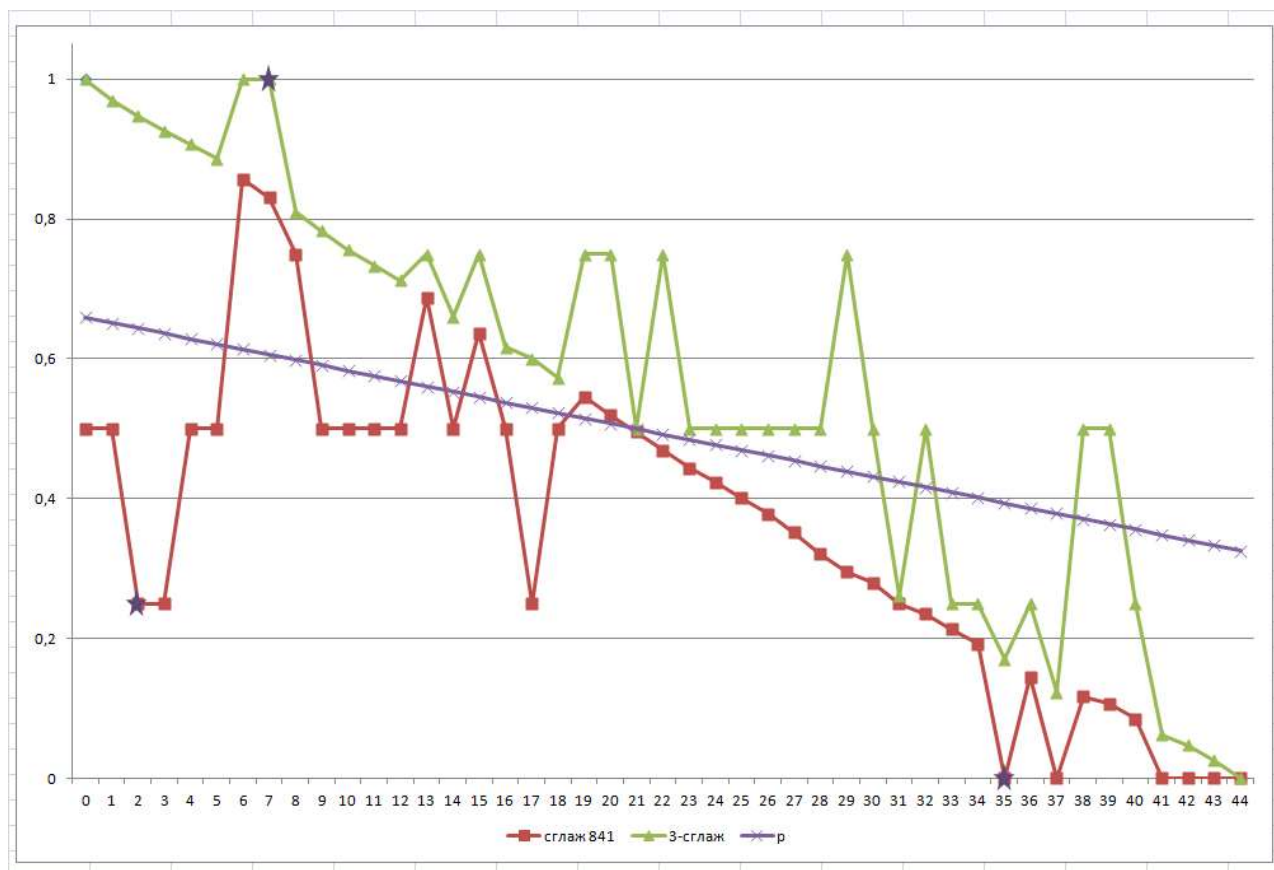


Рис.3. Динамика интервалов КИГ для клиентов, нуждающихся в лечении

Заключение. Автором статьи разработана система обработки и интерпретации сигналов прибора ЭКГ. Представлено математическое обоснование возможности и целесообразности использования приборов ЭКГ в «аптечке» любой семьи, с учётом применения информационных технологий до уровня комфортного восприятия полученных рекомендаций. Составлен алгоритм анализа данных с использованием и минимаксного критерия аппроксимации.

Литература

1. Бердышев В.И., Петрак Л.В. Аппроксимация функций, сжатие численной информации, приложения. Екатеринбург: УрО РАН, 1999. – 296 с.
2. Выгодчикова И.Ю., Гусятников В.Н. Анализ нагрузки телекоммуникационной сети с использованием метода аппроксимации интервальных данных // Телекоммуникации. 2019. № 9. С. 11-15.
3. Ишбулатов Ю.М., Караваев А.С., Пономаренко В.И., Прохоров М.Д., Безручко Б.П. Сравнение методов оценки параметров системы барорефлекторного контроля среднего артериального давления // Известия РАН. Серия физическая. 2016. Т. 80. № 2. С. 202-207.