

ИЗМЕРЕНИЕ ВАРИАБЕЛЬНОСТИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА НА ОСНОВЕ ТОНОПЛЕТИЗМОГРАФИИ

А. В. Кузнецова, А. Р. Аветисян, С. Г. Проскурин

*Тамбовский государственный технический университет,
Российская Федерация*

Представлены методы анализа variability сердечного ритма на основе регистрации звуков тонометра при неинвазивном измерении артериального давления и пульса человека, описан принцип работы аппаратно-программного устройства для определения количественных характеристик variability сердечного ритма и его программное обеспечение, а также технические особенности реализации.

Ключевые слова: синусовый ритм, variability сердечного ритма, тоноплетизмография, микроконтроллер.

MEASUREMENT OF HEART RATE VARIABILITY RHYTHM BASED ON TONOPLETISMOGRAPHY

A. V. Kuznetsova, A. R. Avetisyan, S. G. Proskurin

Tambov State Technical University, Russian Federation

Methods for analyzing heart rate variability based on recording tonometer sounds during noninvasive measurement of human blood pressure and pulse are presented. Software principles for the device operation for determining quantitative characteristics of heart rate variability, as well as technical features of implementation are described.

Keywords: sinus rhythm, heart rate variability, tonoplethysmography, microcontroller.

Исследование variability сердечного ритма (BCP) важно в медицине из-за широкой распространенности сердечно-сосудистых болезней, стресса и популярности персонализированных технологий. Анализ BCP позволяет выявлять риски патологий, повышать эффективность лечения и формировать индивидуальный подход к здоровью. Целью работы является обобщение методов количественного анализа variability сердечного ритма для оценки функций организма и управления профилактикой, диагностикой и коррекцией нарушений с использованием тонометра для измерения АД и пульса, а также описание принципа работы устройства и программного обеспечения, определяющее численные характеристики BCP.

Существует несколько методов анализа BCP, среди которых наиболее распространены: временной, частотный и различные нелинейные приложения. Временной метод включает расчет таких показателей, как стандартное отклонение нормальных интервалов (SDNN), среднеквадратическое отклонение последовательных разностей (RMSSD), процент пар соседних интервалов, различающихся более чем на 50 миллисекунд (pNN50). Частотный метод основан на спектральном анализе, выделяя низкочастотные (LF) и высокочастотные (HF) компоненты спектра. Нелинейные методы включают анализ фазовых портретов, рекуррентных структур и энтропийных мер.

Каждый из этих методов имеет свои преимущества и ограничения, выбор метода зависит от целей исследования и особенностей исследуемых пациентов.

Программное обеспечение (ПО) устройства, предназначенного для определения количественных характеристик BCP, разработано для автоматизации процесса анализа частоты сердечных сокращений (ЧСС) и других ключевых показателей variability сердечного ритма. Оно позволяет оценить стабильность синусового ритма, стресс, уста-

лость и общее состояние сердечно-сосудистой системы. Также ПО производит автоматизированный расчет важнейших параметров ВСП: ЧСС, SDNN, RMSSD, pNN50.

Звуковые импульсные сигналы регистрируются датчиком давления, встроенным в тонометр. Для каждого сердечного сокращения фиксируется временной интервал между ударами. Далее происходит расчет ЧСС путем вычисления среднего арифметического рассчитанных мгновенных значений пульса, а также вычисление SDNN (1), RMSSD (2), pNN50 (3) и расчет индекса HRV (4), характеризующего общую нагрузку на систему регуляции сердечного ритма. Показания отображаются на экране устройства в удобной форме, на дисплее компьютера и сохраняются для дальнейшего анализа.

$$SDNN = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}, \quad (1)$$

где N – общее количество измеренных $R-R$ интервалов; x_i – отдельные значения интервалов между ударами сердца ($R-R$ интервалы); $\bar{x}$ – среднее значение всех $R-R$ интервалов.

$$RMSSD = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} (NN_i - NN_{i+1})^2}, \quad (2)$$

где NN_i, NN_{i+1} – последовательные интервалы между сердечными сокращениями.

$$pNN50 = \frac{N_{50}}{N}, \quad (3)$$

где N_{50} – количество пар последовательных интервалов NN , разница между которыми превышает 50 мс; N – общее количество интервалов.

$$HRV = \frac{SDNN}{RMSSD}. \quad (4)$$

Среди технических особенностей реализации можно выделить следующее: использование библиотеки микроконтроллера «GyverOLED» для взаимодействия с дисплеем, фиксацию периодичности регистрации сердечных сокращений (экспериментально установлено 25 измерений подряд), определение временных интервалов между сердцебиениями (интервалы $R-R$), необходимых для расчета всех индексов ВСП.

Сравнение описанной программы с ЭКГ исследованиями показало высокую точность и надежность расчетов, что позволяет эффективно применять ее в медицинских учреждениях и центрах диагностики [1, 2]. Данный подход позволяет количественно определить процент аритмии при помощи тонометра, необходимость дополнительной терапии, своевременно выявить нарушения сердечного ритма и контролировать эффективность восстановительных процедур.

Л и т е р а т у р а

1. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025661316 Российская Федерация. Количественное определение частоты и стандартного отклонения синусового ритма сердца человека : № 2025619457: заявлено 21.04.2025 : опубл. 05.05.2025 / Моргунов Н. Р., Сеченева Е. В., Проскурин С. Г. ; правообладатель ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет». – Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ.

2. Количественное определение характеристик variability сердечного ритма человека : заявлено 18.09.2025 / Аветисян А. Р., Кузнецова А. В., Проскурин С. Г. ; правообладатель ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет». – Подано в ФИПС для регистрации.

СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕНОСКОПА И СТАНДАРТНОГО МЕТОДА ПОИСКА ВЕН

Н. Р. Моргунов, Е. В. Сеченева, Д. Е. Судаков

*Тамбовский государственный технический университет,
Российская Федерация*

Рассмотрены традиционный и аппаратный методы поиска вен. Показано, что вено-скопы повышают успешность венопункции и имеют перспективы развития в медицинской электронике.

Ключевые слова: венозный доступ, венопункция, веноскоп, инфракрасная визуализация.

COMPARATIVE STUDY OF VEIN VIEWER AND STANDARD VEIN DETECTION METHOD

N. R. Morgunov, E. V. Secheneva, D. E. Sudakov

Tambov State Technical University, Russian Federation

Traditional and device-based vein detection methods are compared. Vein viewers improve venipuncture success and show promising prospects in medical electronics.

Keywords: venous access, venipuncture, vein viewer, infrared imaging.

Обеспечение венозного доступа – распространенная, но при этом сложная процедура в медицине. Введение иглы в вену, казавшееся простым, может вызвать трудности у ряда пациентов и сопровождаться нежелательными последствиями. Проблемы с выявлением вен делают манипуляцию более травматичной, вызывают болевые ощущения, тревогу и негативное отношение со стороны больных, а также увеличивают нагрузку на медсестр и врачей. Общепринятые методы определения положения сосудов, основанные на визуальном осмотре и пальпационном обследовании, не всегда дают желаемый результат и зависят от квалификации выполняющего их специалиста. В связи с этим возрастает значимость применения современных технических устройств, например, электронных аппаратов для визуализации, таких как веноскопы.

Обычно вены обнаруживают, используя визуальный осмотр и прощупывание. У этого способа есть плюсы: он не требует специальных приборов, применим в любом месте и бесплатен. Однако эффективность во многом определяется опытом медсестры или врача и индивидуальными особенностями строения тела пациента. Наибольшие сложности возникают при работе с детьми, пожилыми людьми, пациентами с избыточным весом, недостатком жидкости в организме или поврежденными кровеносными сосудами после многочисленных лечебных процедур.

Для преодоления текущих ограничений в современной медицине применяются современные устройства визуализации вен – веноскопы. Их принцип действия основан на использовании ближнего инфракрасного света, эффективно поглощаемого гемоглобином, присутствующим в венозной крови. Это дает возможность визуализировать сосуды на фоне окружающих тканей. Самые новые модели проецируют изображение венозной структуры непосредственно на кожу пациента или показыва-