УДК 616.12-008.318.1
DOI 10.52575/2687-0940-2025-48-2-166-182
EDN ECFWLV
Обзорная статья

Современный взгляд на вариабельность сердечного ритма в нейрокардиологии

Щукина Е.В.[1], **Сарбаш И.В.** [2]
[1)] Донецкий государственный медицинский университет им. М. Горького,
Россия, ДНР, 283003, г. Донецк, пр-т Ильича, д. 16;
[2)] Республиканская Клиническая Больница имени М.И. Калинина,
Россия, ДНР, г. Донецк, пр-т Ильича, д. 14
E-mail: schukina.elena@mail.ru

Аннотация. В обзоре литературы обсуждаются современные аспекты формирования вариабельности сердечного ритма с точки зрения нейрокардиологии. Рассматриваются основные физиологические принципы, участвующие в формировании вариабельности сердечного ритма. В работе приведены основные методы исследования вариабельности сердечных сокращений, обсуждены преимущества и недостатки каждого из методов, обсуждена значимость вариабельности сердечного ритма при исследовании сердечно-сосудистой системы. Представлены основные факторы, оказывающие влияние на нормативные показатели вариабельности сердечного ритма. Обсуждается роль функциональной взаимосвязи между сердечной мышцей и головным мозгом, а также раскрываются вопросы взаимосвязи и баланса между симпатической и парасимпатической нервной системой, которые подтверждают высокую значимость изучения вариабельности сердечного ритма.

Ключевые слова: вариабельность сердечного ритма, нейрокардиология, вегетативная нервная система, сердечно-сосудистая система

Для цитирования: Щукина Е.В., Сарбаш И.В. 2025. Современный взгляд на вариабельность сердечного ритма в нейрокардиологии. *Актуальные проблемы медицины*, 48(2): 166–182. DOI: 10.52575/2687-0940-2025-48-2-166-182. EDN: ECFWLV

Финансирование: работа выполнена без внешних источников финансирования.

Modern View on Heart Rate Variability in Neurocardiology

Elena V. Shchukina [1], **Ivan V. Sarbash** [2]
[1)] M. Gorky Donetsk State Medical University,
16 Ilyich Ave., Donetsk 283003, DPR, Russia;
[2)] M.I. Kalinin Republic Clinical Hospital,
14 Ilyich Ave., Donetsk 283003, DPR, Russia
E-mail: schukina.elena@mail.ru

Abstract. The article reviews the literature on the modern vision of the processes of heart rate variability formation in the field of neurocardiology. The main physiological principles involved in the formation of heart rate variability are considered. The authors present the main methods of studying heart rate variability, taking into account the disadvantages and advantages of each one, and discuss the significance of heart rate variability in the study of the cardiovascular system. The main factors influencing the normative indicators of heart rate variability are considered. Scientific facts indicating the functional relationship between the heart muscle and the brain are given. The issue of the relationship and balance between the sympathetic and parasympathetic nervous system is also revealed which confirms the high importance of studying heart rate variability.

© Щукина Е.В., Сарбаш И.В., 2025

Keywords: heart rate variability, neurocardiology, autonomic nervous system, cardiovascular system

For citation: Shchukina E.V., Sarbash I.V. 2025. Modern View on Heart Rate Variability in Neurocardiology. *Challenges in Modern Medicine*, 48(2): 166–182 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0940-2025-48-2-166-182. EDN: ECFWLV

Funding: The work was carried out without external sources of funding.

Введение

Нейрокардиология – область медицины, изучающая взаимодействия сердечно-сосудистой и нервной систем. Она охватывает широкий спектр состояний, в которых участвуют эти две системы, включая сердечно-сосудистые расстройства, которые зависят от неврологической дисфункции или вызваны ею, в дополнение к неврологическим расстройствам, которые влияют на сердечно-сосудистую систему. Система сердце – мозг включает в себя множество сложных узлов, объединенных в единую структуру, известную как ганглиозное сплетение. Внутри него располагаются сердечные ганглии, обладающие афферентными нервными волокнами, а также локальными ганглиями цепи, функционирующими как интернейроны и эфферентные ганглии, передающие сигналы через симпатические и парасимпатические нейроны [Brunye et al., 2021]. Взаимосвязь между мозгом и сердцем становится одним из основополагающих факторов в решении вопроса о терапии болезней сердечно-сосудистой системы благодаря нарастающему объему научной информации. Внутри сердца функционирует особая система, способная обрабатывать данные, поступающие от различных органов, кровеносных сосудов и самого сердца, что необходимо для нормального функционирования сердечно-сосудистой системы. В клинической кардиологии крайне важна информация о нейрогуморальной регуляции сердца.

Исследователи за последнее время изучили связь между смертностью от сердечно-сосудистых заболеваний и ролью вегетативной нервной системы (ВНС) в контроле работы сердца. Автономная нервная система (АНС) осуществляет постоянный контроль над функционированием сердца, оказывая влияние на вариации интервалов между ударами сердца. Также АНС играет важную роль в сердечной активности, что подтверждается вариацией сердечного ритма [Jung et al., 2021].

Таким образом, изучение оси сердце – мозг – изучение механизмов, посредством которых неврологические расстройства влияют на сердечную функцию и наоборот, – может привести к выявлению новых факторов риска и открытию терапевтических целей для профилактики и лечения сердечно-сосудистых и неврологических заболеваний.

Цель – систематизация и обобщение имеющейся на данный момент научной информации в сфере медицины о вариабельности сердечного ритма в нейрокардиологии. Определение основных механизмов взаимодействия нервной регуляции на сердечную мышцу. Разбор основных методов исследования вариабельности сердечного ритма (ВСР) и факторов, оказывающих влияние на нее.

Материалы и методы

Проведен поиск и анализ литературных источников, включавший релевантные статьи в базах PubMED, eLIBRARY, CyberLeninka на русском и английском языках за период 2016–2024 гг. При поиске публикаций использовались следующие ключевые слова и их словосочетания: вариабельность сердечного ритма, нейрокардиология, вегетативная нервная система. Поиск включал систематические обзоры, метаанализы, данные рандомизированных контролируемых исследований и оригинальные исследования. Всего была проанализирована 51 публикация, а для окончательного анализа было отобрано 46 работ. Результаты анализа представлены в данном литературном обзоре.

Результаты

Взаимосвязь между функционированием сердечной мышцы и головного мозга

Установлено, что ВСР происходит благодаря взаимодействию головного мозга и сердечно-сосудистой системы, которое обеспечивает адаптацию работы сердца к различным условиям для сохранения гармонии между внутренними потребностями организма и внешними раздражителями. ВСР контролируется нервными путями, соединяющими головной мозг и сердце. Известно, что в составе сердечно-нервной системы присутствуют ганглии, нейротрансмиттеры, дополнительные клеточные элементы и белковые соединения. Сигналы, передаваемые через симпатические и парасимпатические пути, контролируют работу сердца благодаря нервной системе. При воздействии различных факторов, затрагивающих нормальное функционирование сердца (такие как частота сокращений сердца, его ритм, кровяное давление или гормональные колебания), сенсорные нейроны мгновенно передают импульсы в сердечно-сосудистую нервную систему, вызывая активацию симпатического отдела нервной системы для адекватного контроля работы сердца [Shah et al., 2024]. Внутренняя нервная система сердца отправляет сигналы через блуждающий нерв и позвоночник, проходя через продолговатый мозг, гипоталамус, таламус, миндалевидное тело, прежде чем достигнет коры головного мозга для обработки информации. В периферическом участке мозга через полисинаптический путь передаются сигналы от миокардиоцитов в ганглий, после чего они продолжают свой путь к преганглионарным и премоторным нейронам. Регуляция сердечной деятельности осуществляется за счет активации различных видов рецепторов, включая барорецепторы, хеморецепторы, носоглоточные рецепторы и прочие, а также посредством центральных автоматических реакций на стрессовые ситуации, выполнение физических нагрузок, сон и другие факторы [Manuel et al., 2020]. Клинически выявлено, что хронические нейродегенеративные заболевания могут проявляться в постепенном ухудшении функционирования и потенциальном отказе АНС. Возможны случаи, когда гиперактивность АНС может быть обусловлена патологией кровеносных сосудов, неврологическими нарушениями или воспалительными и травматическими повреждениями.

Влияние ВНС распространяется на физиологические процессы организма человека, включая обмен веществ, регуляцию температуры и работу сердца. Два отдела ВНС, симпатический и парасимпатический, функционируют различным образом при разнообразных обстоятельствах, обеспечивая сохранение баланса. При возникновении стрессовых факторов, таких как страх, агрессия и другие, симпатическая система активизируется, что сопровождается учащением пульса; напротив, парасимпатическая система проявляет свою активность во время отдыха и пищеварительного процесса, способствуя замедлению ритма сердца [Brunye et al., 2021]. При активации симпатического механизма происходит стимуляция производства гормонов стресса, за счет чего повышается сердечная производительность и снижается ВРС, тогда как парасимпатический механизм замедляет частоту сердечных ударов и повышает ВСР для восстановления равновесия после окончания влияния стрессовых состояний. Взаимодействие между симпатической и парасимпатической ветвями ВНС обеспечивает адаптивность работы сердца в разнообразных обстоятельствах и при разных нагрузках. Между симпатической и парасимпатической нервными системами существует антагонистическое взаимодействие. Блуждающий нерв замедляет ритм сердца под контролем парасимпатической системы. Кроме того, блуждающий нерв изначально активизирует синусовый узел, который является главным регулятором сердечного ритма, чтобы запустить систему проведения импульсов, тогда как симпатическая нервная система сосредотачивается на атриовентрикулярном узле для усиления сократительной функции желудочков сердца [Kwon et al., 2022]. Блуждающий нерв испытывает влияние симпатической активации, которая модифицирует его ингибирующее действие, повышая тем самым ритм сердца, тогда как парасимпатическая активность

стимулирует вагальное торможение, приводящее к снижению частоты сердечных сокращений. В составе парасимпатического нерва, известного как вагус, присутствуют как афферентные, так и эфферентные нервные волокна, причем большая часть этих волокон выполняет функцию передачи информации от сердечной мышцы к головному мозгу. Центральная нервная система, получив информацию от сердца, активизирует эфферентный нерв, который передает сигналы к водителю ритма (СА-узел), далее к АВ-узлу и другим отделам сердечной системы. Внутренняя нервная система сердца способна работать самостоятельно при обычных обстоятельствах, обеспечивая успешное и корректное выполнение своей роли. В процессе данной сигнализации выявлено значительное влияние сигнальных молекул. Как ключевой элемент обычно упоминается гамма-аминомасляная кислота (ГАМК). Частота сердечных сокращений контролируется ГАМК для поддержания нормального уровня кровяного давления. Исследования указывают на то, что стимуляция ГАМК приводит к подавлению блуждающего нерва, тем самым оказывает слабое симпатическое действие на сердечную деятельность. В грудной полости располагаются сердечные ганглии, обладающие как непосредственным, так и опосредованным влиянием на организм человека. Легкие и пищевод находятся в прямом контакте с ними, тогда как косвенная связь осуществляется через спинной мозг с остальными органами, включая кожу, артерии и прочее.

Участие нервной системы в формировании ВСР

Циркуляция крови по всему организму является лишь одной из функций сердца, которая также включает взаимодействие с другими функциональными системами тела. Важным компонентом данной деятельности является вариабельность сердечного ритма (ВСР). Колебания между двумя последовательными сердечными сокращениями обусловлены различными факторами, оказывающими влияние на сердечный ритм. Центральная нервная система контролирует сердечный выброс через нервные и гормональные механизмы. Вариабельность в каждом сердечном цикле является ключевой характеристикой работы сердца [Bai et al., 2024]. Количество ударов сердца за одну минуту определяет частоту сердечных сокращений, тогда как ВСР измеряется через изменения интервалов между ударами в заданный временной промежуток. Анализ сердечной ритмичности осуществляется через изучение колебаний частоты сердечных ударов в течение суток. Если оценить сердечные сокращения по частоте 60 ударов в минуту, то фактически это не соответствует одному удару в секунду, хотя логически должно быть именно так. Среди сердечных сокращений предполагается наличие вариации временного интервала, который может составлять примерно 0,9–1,2 секунды или даже превышать эти значения. Расчет частоты сердечных сокращений основан на подсчете ударов сердца за одну минуту, тогда как ВСР измеряет временные интервалы между каждым сердечным ударом. Установлено, что среди здоровых взрослых людей средний показатель *RMSSD (root mean square of successive RR interval differences – к*вадратный корень из средней разницы между смежными RR-интервалами*)* равняется 42 миллисекундам, колеблясь между 19 и 75 миллисекундами, тогда как у профессиональных атлетов этот параметр может достигать 120 миллисекунд [Shaffer et al., 2017].

На частоту сердечных сокращений могут влиять различные факторы, такие как уровень физической активности, стрессовые ситуации и эмоциональное состояние человека. Вследствие этого ВСР способна служить сигналом о том, как сердце реагирует на разнообразные раздражители, адаптируясь к ним. Соответственно, изменения данной характеристики могут выступать в качестве ранних индикаторов развития сердечно-сосудистых заболеваний. Состояние нейрокардиальной физиологии может быть оценено посредством применения методики определения ВСР. Также она исследует параметры, оказывающие воздействие на частоту пульса. Информацию о временных промежутках между ударами сердца можно использовать для определения потребности в изменении внутренних и

внешних факторов, влияющих на адаптационную способность организма [Youung et al., 2018]. Влияние на ВСР оказывают разнообразные состояния, включая сердечно-сосудистые заболевания и расстройства эмоционального характера, что делает ВСР потенциальным индикатором общего здоровья. Поиск реакций организма на острый и хронический стресс может осуществляться с помощью ВСР, которая является в данных ситуациях полезным инструментом. Взаимосвязь физического, эмоционального и умственного состояния человека определяет адаптивную реакцию сердца на разнообразные условия. Из этого следует, что ВСР потенциально служит индикатором способности организма адаптироваться к различным внутренним и внешним сигналам ради сохранения баланса [Johnston et al., 2020]. Под влиянием стимулов адаптивность сердечной деятельности может оцениваться с помощью ВСР. Однако перед тем как оценивать адаптацию, необходимо определить физиологические и окружающие факторы, которые оказывают влияние на ВСР [Jung et al., 2021]. Различные состояния организма могут влиять на ВСР, включая тонус сосудов, который играет ключевую роль в контроле кровяного давления, работе сердца и пищеварительной системы, а также других аспектов. Активность блуждающего и симпатического нервов, а также состояние ВНС отражается на ВСР. Указывается, что контролирование сердечной деятельности через вагус имеет обратное влияние на синусоатриальный узел сердца. Ацетилхолин, являясь одним из нейротрансмиттеров, контролирует сердечную вагальную деятельность через взаимодействие с мускариновыми и никотиновыми рецепторами. Лекарства могут оказывать воздействие или блокировать работу этих рецепторов. Также регуляция сердечно-сосудистой системы включает в себя влияние генетических факторов [Golosheykin et al., 2017; Nolte et al., 2017].

ВНС отвечает за постоянную модификацию и контроль ритмичности и частоты сокращения сердца [Matusik et al., 2023]. В сердце имеются участки, в которых блуждающий нерв влияет на синоатриальный узел, атриовентрикулярный узел и сам миокард, являясь частью парасимпатической нервной системы. Из-за активации парасимпатического отдела нервной системы происходит выделение ацетилхолина, что ведет к увеличению длительности интервала между R-зубцами на ЭКГ и снижению частоты сердечных сокращений [Van Thanh et al., 2022]. Усиление сердцебиения и его сокращения обусловлено повышенной активностью катехоламиновых синапсов, стимулируемых симпатической нервной системой. В отличие от ацетилхолина, катехоламины проявляют замедленную активность, вызывая трудности в симпатическом возбуждении и изменение ритма сердца на протяжении пяти секунд. Исследование различий между нейротрансмиттерами симпатической и парасимпатической нервной системы показало, что влияние каждого компонента АНС характеризуется одинаковым и симметричным действием, однако включает в себя вариации по времени активности и эпизодам преобладания [Lawton et al., 2022]. Для исследования ВСР разработаны различные инструментальные методы, которые имеют свои преимущества и недостатки.

Методы исследования ВСР

Анализ влияния ВНС на сердечную деятельность осуществляется путем обработки данных ЭКГ [Tiwari et al., 2021]. Недавно разработанные методики оценки включают в себя ВСР, которая считается одним из наиболее эффективных, быстрых и безопасных инструментов для получения точных и надежных данных о функционировании вегетативной регуляции сердца. В настоящее время выделяют следующие методы анализа ВСР: геометрический, во временной области, спектральный и статистический.

Геометрические методы анализа ВСР

Из ряда интервалов между нормальными сокращениями (NN) возможно получить геометрический узор. Этот метод включает три основных подхода: определение геометрической модели, математическое описание формы для интерполирования и классификация геометрических форм по различным типам ВСР на основе изображения. Для

применения геометрических методов необходимо выполнить измерения последовательностей интервалов NN или осуществить дискретизацию шкалы, что дает возможность построения гистограммы. Измеряемый параметр ВСР представляет собой отношение треугольного индекса к максимальной плотности распределения. Значение в дискретной шкале рассчитывается следующим образом: отношение интервала общего значения к интервалу модального бина. Интервал треугольной интерполяции гистограммы (TINN) используется для определения ширины базовой линии распределения. TINN и треугольный индекс ВСР отображают общую ВСР, замеренную за сутки и функционирующую в области более широких диапазонов. Основной недостаток данного подхода заключается в необходимости определенного числа интервалов для создания геометрических моделей, в то время как устойчивость к точности анализа ряда интервалов является ключевым достоинством.

Методы временного анализа ВСР

Оценка вариаций сердечного ритма может быть выполнена с помощью одного из наиболее доступных способов – измерения во временной области. Метод осуществляется посредством расчета временных промежутков между последующими стандартными комплексами или же определением ритма сердца в любой заданный момент времени. В процессе непрерывного мониторинга ЭКГ осуществляется поиск комплекса QRS для выявления мгновенного ритма сердца и интервалов NN, связанных с активностью синусового узла. В данной методике важно учесть такие параметры, как среднее значение частоты сердца, различия в ритме сердцебиения между дневными и ночными периодами, разницу между минимальным и максимальным интервалом между сокращениями сердца. Различия могут быть определены путем выявления отклонений в длительности циклов или частоте сердцебиений [Jung et al., 2021].

Методы спектрального анализа ВСР

Сбор данных о распределении мощности по частоте осуществляется через анализ плотности спектральной мощности. Для определения спектральной плотности мощности возможно применение как параметрических, так и непараметрических подходов. В результате применения обоих подходов достигается идентичный результат. Параметрические методы обладают следующими преимуществами: во-первых, они позволяют точно определить функцию плотности спектра мощности на основе ограниченного числа выборок, во-вторых, обеспечивают возможность выделения более плавных спектральных составляющих вне зависимости от предварительного выбора диапазона частот. Достоинства методов без параметров включают легкость применения алгоритмов и эффективную работу со стартовым значением. Выбор параметрической модели подразумевает необходимость подтверждения её адекватности, что представляет собой трудоемкую задачу; напротив, непараметрический подход, основанный на алгоритме преобразование Фурье (FFT), обладает высокой скоростью выполнения и легкостью реализации [Кошелева и др., 2021]. При использовании алгоритма FFT компьютер преобразует сохраненные интервалы RR в спектры с разными частотными диапазонами. Кроме того, если разделить обнаруженные данные на усредненную длину интервалов RR, то можно преобразовать отражения в единицы измерения частоты (Гц). Спектральной мощностью характеризуется диапазон от 0 до 0,5 Гц.

В настоящее время существует разделение на четыре диапазона частот [Garbilis et al., 2024]: высокочастотный диапазон (HF) (0,15–0,4 Гц); низкочастотный диапазон (LF) (0,04–0,15 Гц); очень низкочастотный диапазон (VLF), охватывающий интервал от 0,003 до 0,04 Гц; частоты менее 0,003 Гц относятся к сверхнизкочастотному диапазону (ULF).

В краткосрочном спектре присутствуют характеристики VLF, HF и LF, фиксируемые в интервале 5–10 минут, в то время как в длительной записи добавляется компонент ULF.

Общая мощность колебаний интервала RR выражается через сумму диапазонов LF, HF, VLF и ULF, а также их дисперсию. Определению высокочастотной составляющей HF способствует вагальная модуляция, тогда как низкочастотные компоненты LF регулируются симпатической и парасимпатической нервными системами. Увеличение LF-компонента может вызвать симпатическую активность, в то время как снижение мощности LF может привести к блокированию бета-адренорецепторов. Соотношение между компонентами LF и HF позволяет определить глобальный симпато-вагальный баланс, который также может быть представлен через это соотношение. В состоянии полного спокойствия у здоровых взрослых людей наблюдается соотношение LF/HF, равное 1/2. Соответственно, компоненты VLF и ULF демонстрируют данные длительного мониторинга ритма сердца и циркадные нейроэндокринные колебания [Garbilis et al., 2024].

Основополагающими принципами нелинейных методов измерения ВСР выступают фрактальная геометрия и теория хаоса. Хаосом называют изучение многомерных и непериодических систем, которые обладают нелинейными свойствами [Шакиров и др., 2020]. Учет хаотических и нерегулярных аспектов сердечного ритма у здоровых людей позволяет применять эту теорию для изучения его динамики. Для определения характеристик ВСР применяются такие параметры, как кластерный спектральный анализ (CGSA), масштабирование спектров Фурье на 1/f и индекс масштабирования H [Racz et al., 2022]. В настоящее время исследования показали, что использование фрактального анализа позволяет выявлять аномальные паттерны колебаний RR гораздо эффективнее, чем традиционные методы измерения ВСР.

Статистические методы анализа ВСР

Измеряемая за 24 часа последовательность мгновенных интервалов сердечного цикла или частота сердцебиений позволяет определить статистическую временную область. Разделить их можно на два типа: первый включает данные, полученные путем прямого расчета мгновенной частоты сердцебиения или интервала между сокращениями сердца, второй же основывается на результатах разниц между этими интервалами. Изучив запись ЭКГ или разбив её на короткие интервалы времени, можно определить данную величину. Кроме того, возможно определить соотношение ВСР при выполнении разнообразных действий, включая сон, отдых и прочее. Наиболее доступным параметром считается SDNN, представляющее собой стандартное отклонение интервала NN. В рамках SDNN, где каждый циклический элемент вызывает колебания в периоде регистрации, можно определить максимальную и минимальную длину циклов за сокращенный период наблюдения. Установлено, что рост продолжительности исследования приводит к возрастанию суммарной дисперсии данных ВСР [Новиков и др., 2023]. Таким образом, длительность записи лежит в основе SDNN. Сравнение значений SDNN, полученных из разных ситуационных записей, неуместно, так как при расчете SDNN необходимо руководствоваться общим временем записи.

Факторы, оказывающие влияние на ВСР

Определение ВСР показывает, что сердце реагирует на различные стимуляции путем адаптации. В настоящее время известно пять групп факторов, оказывающих влияние на ВСР: образ жизни, экологические аспекты, а также физиологические, патологические и немодифицируемые факторы [Sammito et al., 2024].

Воздействие физиологических факторов, включая возраст, гендерную принадлежность и суточные биоритмы, оказывает умеренное влияние на ВСР. До достижения возраста пятнадцати лет ВСР человека находится на высоком уровне, после чего наблюдается его снижение. Установлено, что выполнение физических нагрузок коррелирует с уменьшением ВСР [Kushwaha et al., 2022]. Установлено, что функционирование симпатической и парасимпатической составляющей ВНС имеет гендерную специфику между мужчинами и

женщинами, влияющую на ВСР, причем данная разница снижается после достижения возраста в 50 лет [Sammito et al., 2024]. При изучении взаимосвязи гендерной принадлежности и величины ВСР было выявлено, что у женского пола показатели ВСР значительно выше по сравнению с мужским [Tiwari et al., 2021]. Влияние циркадного ритма проявляется в изменениях ВСР, которая уменьшается в течение дня и увеличивается в ночное время суток [Banerjee et al., 2022]. При вдыхании воздуха наблюдается увеличение числа ударов сердца, тогда как при выдохе их количество снижается [Sevoz-Couche et al., 2022]. При исследовании ВСР необходимо учитывать данную закономерность между частотой сердцебиения и дыхательными движениями.

В ходе множества исследований выявлено, что воспалительные процессы и инфекционные заболевания приводят к снижению ВСР. Было продемонстрировано, что ВСР может служить индикатором для определения влияния различных заболеваний (таких как вирусные инфекции, септические состояния, воспалительные процессы и др.) на работу сердца, а недостаточная адаптация организма для поддержания равновесия может спровоцировать снижение иммунитета и увеличить риск развития инфекционных болезней или онкологии [Kingma et al., 2017]. При наличии воспалительных реакций, вызывающих выделение интерлейкина-6 макрофагами и Т-лимфоцитами, в кровяной плазме наблюдается повышенное содержание пентамерного гепато-синтезированного белка, известного как С-реактивный белок (СРБ). Этот белок выполняет ключевую роль в повышении эффективности антител и активации фагоцитоза. Сердечно-сосудистые и метаболические расстройства тесно взаимосвязаны с повышенным уровнем СРБ [Musa et al., 2022; Smukowska-Gorynia et al., 2022]. Для того чтобы избежать развития таких заболеваний, как повышенное артериальное давление, сахарный диабет и другие, необходимо принимать во внимание наличие воспалительных процессов и нарушений в сосудистой системе. Изменение ритма сердца способствует росту объема крови, перекачиваемого сердцем за одно сокращение, и влияет на уровень сопротивления кровотоку в артериях из-за их жесткости, а также оказывает воздействие на силу сокращения миокарда [Maciorowska et al., 2022; Bus et al., 2022].

Воспалительные процессы, вызванные различными патогенными агентами, оказывают влияние на ВНС, которая также передаёт информацию о заражении в головной мозг посредством блуждающего нерва, влияя на регуляцию ВСР. Исследования показали, что противовоспалительная реакция, связанная с холинергической системой, регулирует защитную реакцию организма на травмы и инфекции. В результате длительной неактивности холинергических рефлексов и отсутствия провоспалительных цитокинов происходило снижение ВСР, что способствовало развитию сердечно-сосудистых заболеваний [Chen et al., 2021; Matusik et al., 2023].

Также исследование показателей ВСР позволяет оценить степени психологической нагрузки. Часто люди с депрессией и хроническим стрессом не проходят должного лечения и выздоровления, что оказывает влияние на правильную работу сердечно-сосудистой, эндокринной, нервной и мышечной систем организма. Изменения в сердечном ритме связаны с взаимодействием мозга и сердца, где любая трансформация влияет на ВСР. Ученые обнаружили связь между развитием тревожных состояний и уменьшением ВСР. Снижение ВСР также ассоциируется с депрессией [Wang et al., 2023]. Установлено, что больные с выраженным депрессивным расстройством, не получавшие лечения и имеющие хорошую физическую форму, но страдающие от тревожности, демонстрируют низкие показатели ВСР [Amjadian et al., 2020]. При возникновении стрессовых факторов активация парасимпатических нервов приводит к уменьшению ВСР.

Влияние факторов окружающей среды на ВСР также подтверждается [Fatisson et al., 2016]. Исследования показали, что высокий уровень шума и социального стресса приводит к увеличению ВСР, в то время как низкая концентрация угарного газа способствует снижению ВСР. Температура окружающей среды на ВСР оказывает незначительное воздействие

[Муртазин и др., 2022]. Таким образом, исследователи указывают, что экологические факторы оказывают непосредственное влияние на модуляцию ВНС.

В многочисленных исследованиях было выявлено, что ВСР меняется при выполнении средних и интенсивных упражнений.

Употребление алкогольных напитков и табачной продукции увеличивает сердечно-сосудистые риски. Интенсивное курение сигарет имеет отрицательную корреляцию с функциональностью АНС [Bodin et al., 2017]. Курение является одной из причин снижения регуляции сердечной деятельности посредством блуждающего нерва. Влияние на ВСР оказывает и употребление алкогольных напитков. Алкоголь считается причиной снижения ВСР из-за возбуждения симпатических отделов ВНС и угнетения парасимпатического влияния. Исследовательские данные указывают на то, что употребление алкоголя в количестве одной-двух стандартных доз в день для женщин и мужчин ассоциируется с увеличением ВСР, тогда как превышение этой нормы приводит к его снижению [Wang et al., 2020]. Установлено, что у лиц, страдающих зависимостью от табака и алкоголя, уровень ВСР имеет тенденцию к понижению, однако возможно его повышение за счет перехода к здоровому образу жизни. Также существуют данные, что изменения ВСР коррелируют с индексом массы тела и частотой употребления кофе.

Исследование генетических детерминант ВСР способствует расширению знаний о механизмах развития ВНС и открывает новые возможности для разработки методов её коррекции. При наличии психологического стресса роль генетических факторов в формировании ВСР значительно выше [Munoz et al., 2018]. Установлено сходство генетических последствий между мужчинами и женщинами, тогда как климатический фактор оказывает минимальное воздействие на ВСР среди населения. Влияние климата на работу сердца зависит от генетической наследственности человека. Исследование выявило 11 однонуклеотидных полиморфизмов, влияющих на ритм сердца, причем один из них, замедляющий пульс, оказался связан с увеличением частоты сердцебиения. Исследование выявило, что вариации генов GNG11 и RGS6 оказывают воздействие на функционирование гетеротримера белка G, связанного с регуляцией гиперполяризации мембраны водителя ритма через G-белок-связанные калиевые каналы [Nolte et al., 2017]. Исследовательская работа, которая была направлена на выявление различий в ВСР между чернокожими и белокожими жителями США, показала, что афроамериканцы имеют более высокую ВСР по сравнению с европейскими американцами [Thayer et al., 2020].

Значимость изучения ВСР при заболеваниях сердечно-сосудистой системы

Определение функционирования ВНС осуществляется с помощью ВСР. При активации симпатической активности разница в сердечном ритме мала, тогда как при парасимпатическом режиме она высока. Замечено, что сердечно-сосудистые заболевания, включая гипертонию, связаны со сниженной ВСР, в то время как ее повышенная вариабельность свидетельствует о лучшем состоянии сердечно-сосудистой системы. Оценка влияния множества факторов на состояние ВНС, включая окружающую среду, эмоциональные состояния и прочее, может быть осуществлена через изучение ВСР [Stavrakis et al., 2020]. Системы симпатической и парасимпатической регуляции обеспечивают баланс функционирования жизненно важных органов согласно их физиологическим изменениям. Через звездчатый ганглий и блуждающий нерв ВНС передается сигнал в синоатриальный узел сердечной мышцы, обеспечивая поддержание ритма сердца в пределах нормального диапазона, что возможно контролировать путем исследования ВСР. В случае возникновения изменений в работе сердца периферические сенсорные нейроны передают информационный сигнал в ЦНС, что позволяет адаптировать функцию ВНС согласно текущему состоянию организма. Известно, что при увеличении числа ударов сердца за минуту наблюдается снижение ВСР вследствие ограниченного времени для каждого сердечного цикла. В возрастной категории старших граждан, страдающих сердечно-

сосудистыми болезнями, например, ишемической болезнью, инфарктом миокарда и другими подобными состояниями, вероятность понижения ВСР увеличивается при высоком уровне частоты сердцебиений [Vuoti et al., 2021]. Факторы, оказывающие влияние на ВСР, включая физиологические, экологические и генетические, имеют ключевое значение как для диагностики заболеваний, так и для разработки лечебной стратегии [Banerjee et al., 2022].

В доказательной медицине анализ ВСР имеет большое значение, а также часто применяется в нейрокардиологии. Данный показатель широко применяется во всем мире и является весомым критерием отображения состояния здоровья человека. Для диагностирования сердечно-сосудистых заболеваний проводят анализ изменений в ритме сердца через исследование колебаний между интервалами RR. Основной подход оценки ВСР включает линейную методику, основанную на временных параметрах, нелинейную методику и частотный метод [D'Angelo et al., 2023]. Множество факторов влияет на оценку ВСР. В отличие от линейной оценки, которая применяется значительно чаще, нелинейный подход предоставляет дополнительные данные относительно линейного метода и демонстрирует влияние колебаний гормонов и температуры на ВСР. В рамках линейной модели сердечную активность измеряют, сопоставляя время и частоту. Пациенты с сердечной недостаточностью могут получить пользу от нелинейного подхода для прогнозирования, однако его редко применяют из-за проблем с дублированием результатов. Используя длительную регистрацию ВСР, возможно провести оценку с применением коротко- и долгосрочной аналитической оценки ВСР [Hayano et al., 2021]. Простота в получении результатов ВСР позволяет достаточно часто использовать ее показатели при проведении клинических исследований. Исследования подтверждают, что пониженная вариабельность служит индикатором усиленной патологической активности и одновременно сигнализирует о факторах риска заболеваний и смерти [Marc et al., 2022]. При травматических повреждениях использование ВСР может оказаться ценным инструментом для начального определения тяжести состояния больного и последующего наблюдения за состоянием пациентов с серьёзными травмами [Seligowski et al., 2024]. Для получения точных данных о ВСР необходимо проводить сбор информации в периоды, когда человек находится в состоянии полного здоровья. Возможность возникновения искажений в параметрах исследования ВСР возрастает, если не устранить шумовые эффекты типа дополнительного сердечного тона или пропущенного сигнала [Cao et al., 2022]. Исправление дефектных ударов возможно путем устранения артефактов до начала анализа ВСР [Cannard et al., 2024].

Выводы

Анализ изменения ритма сердца осуществляется путем изучения его колебаний в течение суток. В процессе работы сердца обнаруживается, что ритмичность сердечных сокращений не стабильна, а ВСР представляет собой естественный аспект функционирования сердечно-сосудистой системы. Исследования показали, что здоровье человека напрямую связано с ВСР, которая является результатом сочетанного действия симпатической и парасимпатической нервной системы. Высокий уровень здоровья обычно характеризуется высокой ВСР. Влияние на ВСР обусловлено множеством аспектов, включая физиологические, патологические, образ жизни, экологию и наследственность. Влияние всех этих факторов на ВСР может проявляться как по отдельности, так и через их взаимодействие. Среди множества причин, вызывающих изменения в ВСР и учащение пульса, присущие стрессовым состояниям, также нельзя игнорировать роль генетических факторов.

Список литературы

Кошелева Д.Д., Доронина А.В. 2021. Преобразование Фурье и быстрое преобразование Фурье. Инновации. Наука. Образование. 38; 626–632.

Муртазин А.А., Максютов Н.Ф., Усенко А.Б., Изотов А.А., Мальсагова К.А., Буткова Т.В., Степанов А.А., Петров А.А., Балакин Е.И. 2022. Высокая температура окружающей среды и вариабельность сердечного ритма. Российский журнал персонализированной медицины. 2(6): 42–53. https://doi.org/10.18705/2782-3806-2022-2-6-42-53

Новиков А.А., Смоленский А.В., Михайлова А.В. 2023. Подходы к оценке показателей вариабельности сердечного ритма (обзор литературы). Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 17–3; 3–3. 85–94. doi: 10.24412/2075-4094-2023-3-3-3

Шакиров М.А., Прошин Ю.Н. 2020. Нелинейные точечные отображения. Практические задания по компьютерному моделированию. Казань: Казанский федеральный университет. 36.

Amjadian M., Ehsan H.B., Saboni K., Vahedi S., Rostami R., Roshani D. 2020. A Pilot Randomized Controlled Trial to Assess the Effect of Islamic Spiritual Intervention and of Breathing Technique with Heart Rate Variability Feedback on Anxiety, Depression and Psycho-Physiologic Coherence in Patients after Coronary Artery Bypass Surgery. Annals of General Psychiatry. 19; 46. doi: 10.1186/s12991-020-00296-1

Bai X., Wang N., Si Y., Liu Y., Yin P., Xu C.. 2024. The Clinical Characteristics of Heart Rate Variability After Stroke: A Systematic Review. The neurologist. 29(2): 133–141. doi: 10.1097/NRL.0000000000000540

Banerjee A., Singh N., Raju A., Gupta R. 2022. Central Markers of Obesity Affect Heart Rate Variability Independent of Physical Activity in Young Adults. Journal of Family Medicine and Primary Care. 11(6): 2521–2525. doi: 10.4103/jfmpc.jfmpc_1970_21

Bodin F., McIntyre K.M., Schwartz J.E., McKinley P.S., Cardetti C., Shapiro P.A., Gorenstein E., Sloan R.P. 2017. The Association of Cigarette Smoking with High-Frequency Heart Rate Variability: An Ecological Momentary Assessment Study. Psychosomatic Medicine. 79(9): 1045–50. http://dx.doi.org/10.1097/PSY.0000000000000507

Brunye T.T., Patterson J.E., Wooten T., Hussey E.K. 2021. A Critical Review of Cranial Electrotherapy Stimulation for Neuromodulation in Clinical and Non-clinical Samples. Frontiers in Human Neuroscience. 15: 625321. doi: 10.3389/fnhum.2021.625321

Bus S., Jedrzejewski K., Guzik P. 2022. Using Minimum Redundancy Maximum Relevance Algorithm to Select Minimal Sets of Heart Rate Variability Parameters for Atrial Fibrillation Detection. Journal of Clinical Medicine. 11(14): 4004. doi: 10.3390/jcm11144004

Cannard C., Delorme A., Wahbeh H. 2024. HRV and EEG Correlates of Well-Being Using Ultra-Short, Portable, and Low-Cost Measurements. Progress in Brain Research. 287: 91–109. doi: 10.1016/bs.pbr.2024.04.004

Cao R., Azimi I., Sarhaddi F., Niela-Vilen H., Axelin A., Liljeberg P., Rahmani A.M. 2022. Accuracy Assessment of Oura Ring Nocturnal Heart Rate and Heart Rate Variability in Comparison With Electrocardiography in Time and Frequency Domains: Comprehensive Analysis. Journal of Medicine Internet Research. 24(1): e27487. doi: 10.2196/27487

Chen Y.S., Lin Y.Y., Shih C.C., Kuo C.D. 2021. Relationship Between Heart Rate Variability and Pulse Rate Variability Measures in Patients After Coronary Artery Bypass Graft Surgery. Frontiers in Cardiovascular Medicine. 8: 749297. doi: 10.3389/fcvm.2021.749297.

D'Angelo J., Ritchie S.D., Oddson B., Gagnon D.D., Mrozewski T., Little J., Naul S. 2023. Using Heart Rate Variability Methods for Health-Related Outcomes in Outdoor Contexts: A Scoping Review of Empirical Studies. 20(2): 1330. doi: 10.3390/ijerph20021330

Eckstein M.L., Brockfeld A., Haupt S., Schierbauer J.R., Zimmer R.T., Wachsmuth N.B., Zunner B.E.M., Zimmermann P., Erlmann M., Obermayer-Pietsch B., Aberer F., Moser O. 2022. Acute Changes in Heart Rate Variability to Glucose and Fructose Supplementation in Healthy Individuals: A Double-Blind Randomized Crossover Placebo-Controlled Trial. Biology. 11(2): 338. doi: 10.3390/biology11020338

Fatisson J., Oswald V., Lalonde F. 2016. Influence Diagram of Physiological and Environmental Factors Affecting Heart Rate Variability: An Extended Literature Overview. Heart International. 11(1): e32-40. http://dx.doi.org/10.5301/heartint.5000232.

Garbilis A., Mednieks J. 2024. Differences in Heart Rate Variability in the Frequency Domain between Different Groups of Patients. Medicina (Kaunas). 60(6): 900. doi: 10.3390/medicina60060900

Golosheykin S., Grant J.D., Novak O.V., Heath A.C., Anokhin A.P. 2017. Genetic Influences on Heart Rate Variability. International Journal of Psychophysiology. 115: 65–73. http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2016.04.008

Hayano J., Yuda E. 2021. Assessment of Autonomic Function by Long-Term Heart Rate Variability: Beyond the Classical Framework of LF and HF Measurements. Journal of Physiological Anthropology. 40(1): 21. doi: 10.1186/s40101-021-00272-y

Jarczok M.N., Weimer K., Braun C., Williams D.W.P., Thayer J.F., Gündel H.O., Balint E.M. 2022. Heart Rate Variability in the Prediction of Mortality: A Systematic Review and Meta-Analysis of Healthy and Patient Populations. Neuroscience and Biobehavioral Reviews. 143: 104907. doi:10.1016/j.neubiorev.2022.104907

Johnston B.W., Barrett-Jolley R., Krige A., Welters I.D. 2020. Heart Rate Variability: Measurement and Emerging Use in Critical Care Medicine. Journal of the Intensive Care Society. 21(2): 148–157. doi: 10.1177/1751143719853744

Jung S.J., Jeon Y.J., Choi K.W., Yang J.S., Chae J.-H., Koenen K.C., Kim H.C. 2021. Correlates of Psychological Resilience and Risk: Prospective Associations of Self-Reported and Relative Resilience with Connor-Davidson Resilience Scale, Heart Rate Variability, and Mental Health Indices. 11(5): e02091. doi: 10.1002/brb3.2091

Kingma J.G., Simard D., Rouleau J.R. 2017. Influence of Cardiac Nerve Status on Cardiovascular Regulation and Cardioprotection. World Journal of Cardiology. 9(6): 508–520. doi: 10.4330/wjc.v9.i6.508

Kushwaha P., Moiz J.A., Mujaddadi A. 2022. Exercise Training and Cardiac Autonomic Function Following Coronary Artery Bypass Grafting: A Systematic Review and Meta-Analysis. The Egyptian Heart Journal. 74(1): 67. doi: 10.1186/s43044-022-00306-5

Kwon P.M., Lawrence S., Mueller B.R., Thayer J.F., Benn E.K.T., Robinson-Papp J. 2022. Interpreting Resting Heart Rate Variability in Complex Populations: The Role of Autonomic Reflexes and Comorbidities. Clinical Autonomic Research. 32(3): 175–184. doi: 10.1007/s10286-022-00865-2

Lawton J.S., Tamis-Holland J.E., Bangalore S., Bates E.R., Beckie T.M., Bischoff J.M., Bittl J.A., Cohen M.G., DiMaio J.M., Don C.W., Fremes S.E., Gaudino M.F., Goldberger Z.D., Grant M.C., Jaswal J.B., Kurlansky P.A., Mehran R., Metkus Jr T.S., Nnacheta L.C., Rao S.V., Sellke F.W., Sharma G., Yong C.M., Zwischenberger B.A. 2022. ACC/AHA/SCAI Guideline for Coronary Artery Revascularization: Executive Summary: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Joint Committee on Clinical Practice Guidelines. Journal of the American College of Cardiology. 79(2): 197–215.

Maciorowska M., Krzesinski P., Wierzbowski R., Uzieblo-Zyczkowska B., Gielerak G. 2022. Associations between Heart Rate Variability Parameters and Hemodynamic Profiles in Patients with Primary Arterial Hypertension, Including Antihypertensive Treatment Effects. Journal of Clinical Medicine. 11(13): 3767. doi: 10.3390/jcm11133767

Manuel J., Farber N., Gerlach D.A., Heusser K., Jordan J., Tank J., Beissner F. 2020. Deciphering the Neural Signature of Human Cardiovascular Regulation. eLife. 9: e55316. doi: 10.7554/eLife.55316

Matusik P.S., Matusik P.T., Stein P.K. 2023. Heart Rate Variability and Heart Rate Patterns Measured from Wearable and Implanted Devices in Screening for Atrial Fibrillation: Potential Clinical and Population-Wide Applications. European Heart Journal. 44(13): 1105–1107. doi: 10.1093/eurheartj/ehac546

Matusik P.S., Zhong C., Matusik P.T., Alomar O., Stein P.K. 2023. Neuroimaging Studies of the Neural Correlates of Heart Rate Variability: A Systematic Review. Journal of Clinical Medicine. 12(3): 1016. doi: 10.3390/jcm12031016

Munoz M.L., Jaju D., Voruganti S., Albarwani S., Aslani A., Bayoumi R., Al-Yahyaee S., Comuzzie A.G., Millar P.J., Picton P., Floras J.S., Nolte I., Hassan M.O., Snieder H. 2018. Heritability and Genetic Correlations of Heart Rate Variability at Rest and during Stress in the Oman Family Study. Journal of Hypertension. 36(7): 1477–1485. doi: 10.1097/HJH.0000000000001715

Musa A.F., Dillon J., Taib M.E., Yunus A.M., Sanusi A.R., Nordin M.N., Smith J.A. 2022. Incidence and Outcomes of Postoperative Atrial Fibrillation after Coronary Artery Bypass Grafting of a Randomized Controlled Trial: A Blinded End-of-cycle Analysis. Reviews in Cardiovascular Medicine. 23(4): 122. doi: 10.31083/j.rcm2304122

Nolte I.M., Munoz M.L., Tragante V., Amare A.T., Jansen R., Vaez A., von der Heyde B., Avery C.L., Bis J.C., Dierckx B., Van Dongen J., Gogarten S.M., Goyette P., Hernesniemi J., Huikari V., Hwang S.-J., Jaju D., Kerr K.F., Kluttig A., Krijthe B.P., Kumar J., Van der Laan S.W., Lyytikainen L.-P., Maihofer A.X.,

Minassian A., Van der Most P.J., Muller-Nurasyid M., Nivard M., Salvi E., Stewart J.D., Thayer J.F., Verweij N., Wong A., Zabaneh D., Zafarmand M.H., Abdellaoui A., Albarwani S., Albert C., Alonso A., Ashar F., Auvinen J., Axelsson T., Baker D.G., de Bakker P.I.W., Barcella M., Bayoumi R., Bieringa R.J., Boomsma D., Boucher G., Britton A.R., Christophersen I., Dietrich A., Ehret G.B., Ellinor P.T., Eskola M., Felix J.F., Floras J.S., Franco O.H., Friberg P., Gademan M.G.J., Geyer M.A., Giedraitis V., Hartman C.A., Hemerich D., Hofman A., Hottenga J.-J., Huikuri H., Hutri-Kahonen N., Jouven X., Junttila J., Juonala M., Kiviniemi A.M., Kors J.A., Kumari M., Kuznetsova T., Laurie C.C., Lefrandt J.D., Li Y., Li Y., Liao D., Limacher M.C., Lin H.J., Lindgren C.M., Lubitz S.A., Mahajan A., McKnight B., Schwabedissen H.M.Z., Milaneschi Y., Mononen N., Morris A.P., Nalls M.A., Navis G., Neijts M., Nikus K., North K.E., O'Connor D.T., Ormel J., Perz S., Peters A., Psaty B.M., Raitakari O.T., Risbrough V.B., Sinner M.F., Siscovick D., Smit J.H., Smith N.L., Soliman E.Z., Sotoodehnia N., Staessen J.A., Stein P.K., Stilp A.M., Stolarz-Skrzypek K., Strauch K., Sundstrom J., Swenne C.A., Syvanen A.-C., Tardif, J.-C. Taylor K.D., Teumer A., Thornton T.A., Tinker L.E., Uitterlinden A.G., Van Setten J., Voss A., Waldenberger M., Wilhelmsen K.C., Willemsen G., Wong Q., Zhang Z.-M., Zonderman A.B., Cusi D., Evans M.K., Greiser H.K., Van der Harst P., Hassan M., Ingelsson E., Jarvelin M.-R., Kaab S., Kahonen M., Kivimaki M., Kooperberg C., Kuh D., Lehtimaki T., Lind L., Nievergelt C.M., O'Donnell C.J., Oldehinkel A.J., Penninx B., Reiner A.P., Riese H., Van Roon A.M., Rioux J.D., Rotter J.I., Sofer T., Stricker B.H., Tiemeier H., Vrijkotte T.G.M., Asselbergs F.W., Brundel B.J.J.M., Heckbert S.R., Whitsel E.A., den Hoed M., Snieder H., de Geus E.J.C. 2017. Genetic Loci Associated with Heart Rate Variability and their Effects on Cardiac Disease Risk. Nature Communications. 8: 15805. doi: 10.1038/ncomms15805.

Racz F.S., Czoch A., Kaposzta Z., Stylianou O., Mukli P., Eke A. 2022. Multiple-Resampling Cross-Spectral Analysis: An Unbiased Tool for Estimating Fractal Connectivity with an Application to Neurophysiological Signals. Frontiers in physiology.13: 817239. doi: 10.3389/fphys.2022.817239

Sevoz-Couche C., Laborde S. 2022. Heart Rate Variability and Slow-Paced Breathing: When Coherence Meets Resonance. 135: 104576. doi: 10.1016/j.neubiorev.2022.104576.

Sammito S., Thielmann B., Bockelmann I. 2024. Update: Factors Influencing Heart Rate Variability – a Narrative Review. 15: 1430458. doi: 10.3389/fphys.2024.1430458

Seligowski A.V., Harnett N.G., Ellis R.A., Grasser L.R., Hanif M., Wiltshire C., Ely T.D., Lebois L.A.M., Rooij S.G.H., House S.L., Beaudoin F.L., An X., Neylan T.C., Clifford G.D., Linnstaedt S.D., Germine L.T., Bollen K.A., Rauch S.L., Haran J.P., Storrow A.B., Lewandowski C., Musey Jr P.I., Hendry P.L., Sheikh S., Jones C.W., Punches B.E., Swor R.A., Hudak L.A., Pascual J.L., Seamon M.J., Harris E., Pearson C., Peak D.A., Merchant R.C., Domeier R.M., Rathlev N.K., O'Neil B.J., Sergot P., Sanchez L.D., Bruce S.E., Harte S.E., Koenen K.C., Kessler R.C., McLean S.A., Ressler K.J., Stevens J.S., Jovanovic T. 2024. Probing the Neurocardiac Circuit in Trauma and Posttraumatic Stress. Journal of Psychiatric Research. 176: 173–181. doi: 10.1016/j.jpsychires.2024.06.009

Shaffer F., Ginsberg J.P. 2017. An Overview of Heart Rate Variability Metrics and Norms. Frontiers of Public Health. 5: 258. doi: 10.3389/fpubh.2017.00258

Shah A.S., Vaccarino V., Moazzami K., Almuwaqqat Z., Garcia M., Ward L., Elon L., Ko Y.-A., Sun Y.V., Pearce B.D., Raggi P., Bremner J.D., Lampert R., Quyyumi A.A., Shah A.J. 2024. Autonomic Reactivity to Mental Stress is Associated with Cardiovascular Mortality. European Heart Journal Open. 4(6): oeae086. doi: 10.1093/ehjopen/oeae086.

Smukowska-Gorynia A., Perek B., Jemielity M., Olasinska-Wisniewska A., Marcinkowska J., Stefaniak S., Cieslewicz A., Iwanczyk S., Lesiak M., Mularek-Kubzdela T. 2022. Neopterin as a Predictive Biomarker of Postoperative Atrial Fibrillation Following Coronary Artery Bypass Grafting. Kardiologia Polska. 80(9): 902–910. doi: 10.33963/KP.a2022.0143

Stavrakis S., Kulkarni K., Singh J.P., Katritsis D.G., Armoundas A.A. 2020. Autonomic Modulation of Cardiac Arrhythmias: Methods to Assess Treatment and Outcomes. JACC. Clinical Electrophysiology. 6(5): 467–483. doi: 10.1016/j.jacep.2020.02.014

Thayer J.F., Carnevali L., Sgiofo A., Williams D.P. 2020. Angry in America: Psychophysiological Responses to Unfair Treatment. Annals of Behavioral Medicine. 54(12): 924–931. doi: 10.1093/abm/kaaa094

Tiwari R., Kumar R., Malik S., Raj T., Kumar P. 2021. Analysis of Heart Rate Variability and Implication of Different Factors on Heart Rate Variability. Current Cardiology Reviews. 17(5): e160721189770. doi: 10.2174/1573403X16999201231203854

Van Thanh N., Hien N.S., Son P.N., Son P.T. 2022. Pattern Changes in the Heart Rate Variability of Patients Undergoing Coronary Artery Bypass Grafting Surgery. Cardiology Research and Practice. 2022: 1455025. doi: 10.1155/2022/1455025

Wang W., Zhornitsky S., Le T.M., Zhang S., Li C.-S.R. 2020. Heart Rate Variability, Cue-Evoked Ventromedial Prefrontal Cortical Response, and Problem Alcohol Use in Adult Drinkers. 5(6): 619–628. doi: 10.1016/j.bpsc.2019.12.013

Wang Z., Luo Y., Zhang Y., Chen L., Zou Y., Xiao J., Min W., Yuan C., Ye Y., Li M., Tu M., Hu J., Zou Z. 2023. Heart Rate Variability in Generalized Anxiety Disorder, Major Depressive Disorder and Panic Disorder: A Network Meta-Analysis and Systematic Review.

References

Kosheleva D.D., Doronina A.V. 2021. Preobrazovanie Fur'e i bystroe preobrazovanie Fur'e [Fourier Transform and Fast Fourier Transform]. Innovacii. Nauka. Obrazovanie. 38; 626–632.

Murtazin A.A., Maksjutov N.F., Usenko A.B., Izotov A.A., Mal'sagova K.A., Butkova T.V., Stepanov A.A., Petrov A.A., Balakin E.I. 2022. Vysokaja temperatura okruzhajushhej sredy i variabel'nost' serdechnogo ritma [High Ambient Temperature and Heart Rate Variability]. Rossijskij zhurnal personalizirovannoj mediciny. 2(6): 42–53. https://doi.org/10.18705/2782-3806-2022-2-6-42-53

Novikov A.A., Smolenskij A.V., Mihajlova A.V. 2023. Podhody k ocenke pokazatelej variabel'nosti serdechnogo ritma (obzor literatury) [Approaches to the Assessment of Heart Rate Variability (Literature Review)]. Vestnik novyh medicinskih tehnologij. Jelektronnoe izdanie. 17–3; 3–3. 85–94. doi: 10.24412/2075-4094-2023-3-3-3

Shakirov M.A., Proshin Ju.N. 2020. Nelinejnye tochechnye otobrazhenija [Nonlinear Point Mappings]. Prakticheskie zadanija po komp'juternomu modelirovaniju. Kazan': Kazanskij federal'nyj universitet. 36.

Amjadian M., Ehsan H.B., Saboni K., Vahedi S., Rostami R., Roshani D. 2020. A Pilot Randomized Controlled Trial to Assess the Effect of Islamic Spiritual Intervention and of Breathing Technique with Heart Rate Variability Feedback on Anxiety, Depression and Psycho-Physiologic Coherence in Patients after Coronary Artery Bypass Surgery. Annals of General Psychiatry. 19; 46. doi: 10.1186/s12991-020-00296-1

Bai X., Wang N., Si Y., Liu Y., Yin P., Xu C.. 2024. The Clinical Characteristics of Heart Rate Variability After Stroke: A Systematic Review. The neurologist. 29(2): 133–141. doi: 10.1097/NRL.0000000000000540

Banerjee A., Singh N., Raju A., Gupta R. 2022. Central Markers of Obesity Affect Heart Rate Variability Independent of Physical Activity in Young Adults. Journal of Family Medicine and Primary Care. 11(6): 2521–2525. doi: 10.4103/jfmpc.jfmpc_1970_21

Bodin F., McIntyre K.M., Schwartz J.E., McKinley P.S., Cardetti C., Shapiro P.A., Gorenstein E., Sloan R.P. 2017. The Association of Cigarette Smoking with High-Frequency Heart Rate Variability: An Ecological Momentary Assessment Study. Psychosomatic Medicine. 79(9): 1045–50. http://dx.doi.org/10.1097/PSY.0000000000000507

Brunye T.T., Patterson J.E., Wooten T., Hussey E.K. 2021. A Critical Review of Cranial Electrotherapy Stimulation for Neuromodulation in Clinical and Non-clinical Samples. Frontiers in Human Neuroscience. 15: 625321. doi: 10.3389/fnhum.2021.625321

Bus S., Jedrzejewski K., Guzik P. 2022. Using Minimum Redundancy Maximum Relevance Algorithm to Select Minimal Sets of Heart Rate Variability Parameters for Atrial Fibrillation Detection. Journal of Clinical Medicine. 11(14): 4004. doi: 10.3390/jcm11144004

Cannard C., Delorme A., Wahbeh H. 2024. HRV and EEG Correlates of Well-Being Using Ultra-Short, Portable, and Low-Cost Measurements. Progress in Brain Research. 287: 91–109. doi: 10.1016/bs.pbr.2024.04.004

Cao R., Azimi I., Sarhaddi F., Niela-Vilen H., Axelin A., Liljeberg P., Rahmani A.M. 2022. Accuracy Assessment of Oura Ring Nocturnal Heart Rate and Heart Rate Variability in Comparison With Electrocardiography in Time and Frequency Domains: Comprehensive Analysis. Journal of Medicine Internet Research. 24(1): e27487. doi: 10.2196/27487

Chen Y.S., Lin Y.Y., Shih C.C., Kuo C.D. 2021. Relationship Between Heart Rate Variability and Pulse Rate Variability Measures in Patients After Coronary Artery Bypass Graft Surgery. Frontiers in Cardiovascular Medicine. 8: 749297. doi: 10.3389/fcvm.2021.749297.

D'Angelo J., Ritchie S.D., Oddson B., Gagnon D.D., Mrozewski T., Little J., Naul S. 2023. Using Heart Rate Variability Methods for Health-Related Outcomes in Outdoor Contexts: A Scoping Review of Empirical Studies. 20(2): 1330. doi: 10.3390/ijerph20021330

Eckstein M.L., Brockfeld A., Haupt S., Schierbauer J.R., Zimmer R.T., Wachsmuth N.B., Zunner B.E.M., Zimmermann P., Erlmann M., Obermayer-Pietsch B., Aberer F., Moser O. 2022. Acute Changes in Heart Rate Variability to Glucose and Fructose Supplementation in Healthy Individuals: A Double-Blind Randomized Crossover Placebo-Controlled Trial. Biology. 11(2): 338. doi: 10.3390/biology11020338

Fatisson J., Oswald V., Lalonde F. 2016. Influence Diagram of Physiological and Environmental Factors Affecting Heart Rate Variability: An Extended Literature Overview. Heart International. 11(1): e32-40. http://dx.doi.org/10.5301/heartint.5000232.

Garbilis A., Mednieks J. 2024. Differences in Heart Rate Variability in the Frequency Domain between Different Groups of Patients. Medicina (Kaunas). 60(6): 900. doi: 10.3390/medicina60060900

Golosheykin S., Grant J.D., Novak O.V., Heath A.C., Anokhin A.P. 2017. Genetic Influences on Heart Rate Variability. International Journal of Psychophysiology. 115: 65–73. http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2016.04.008

Hayano J., Yuda E. 2021. Assessment of Autonomic Function by Long-Term Heart Rate Variability: Beyond the Classical Framework of LF and HF Measurements. Journal of Physiological Anthropology. 40(1): 21. doi: 10.1186/s40101-021-00272-y

Jarczok M.N., Weimer K., Braun C., Williams D.W.P., Thayer J.F., Gündel H.O., Balint E.M. 2022. Heart Rate Variability in the Prediction of Mortality: A Systematic Review and Meta-Analysis of Healthy and Patient Populations. Neuroscience and Biobehavioral Reviews. 143: 104907. doi:10.1016/j.neubiorev.2022.104907

Johnston B.W., Barrett-Jolley R., Krige A., Welters I.D. 2020. Heart Rate Variability: Measurement and Emerging Use in Critical Care Medicine. Journal of the Intensive Care Society. 21(2): 148–157. doi: 10.1177/1751143719853744

Jung S.J., Jeon Y.J., Choi K.W., Yang J.S., Chae J.-H., Koenen K.C., Kim H.C. 2021. Correlates of Psychological Resilience and Risk: Prospective Associations of Self-Reported and Relative Resilience with Connor-Davidson Resilience Scale, Heart Rate Variability, and Mental Health Indices. 11(5): e02091. doi: 10.1002/brb3.2091

Kingma J.G., Simard D., Rouleau J.R. 2017. Influence of Cardiac Nerve Status on Cardiovascular Regulation and Cardioprotection. World Journal of Cardiology. 9(6): 508–520. doi: 10.4330/wjc.v9.i6.508

Kushwaha P., Moiz J.A., Mujaddadi A. 2022. Exercise Training and Cardiac Autonomic Function Following Coronary Artery Bypass Grafting: A Systematic Review and Meta-Analysis. The Egyptian Heart Journal. 74(1): 67. doi: 10.1186/s43044-022-00306-5

Kwon P.M., Lawrence S., Mueller B.R., Thayer J.F., Benn E.K.T., Robinson-Papp J. 2022. Interpreting Resting Heart Rate Variability in Complex Populations: The Role of Autonomic Reflexes and Comorbidities. Clinical Autonomic Research. 32(3): 175–184. doi: 10.1007/s10286-022-00865-2

Lawton J.S., Tamis-Holland J.E., Bangalore S., Bates E.R., Beckie T.M., Bischoff J.M., Bittl J.A., Cohen M.G., DiMaio J.M., Don C.W., Fremes S.E., Gaudino M.F., Goldberger Z.D., Grant M.C., Jaswal J.B., Kurlansky P.A., Mehran R., Metkus Jr T.S., Nnacheta L.C., Rao S.V., Sellke F.W., Sharma G., Yong C.M., Zwischenberger B.A. 2022. ACC/AHA/SCAI Guideline for Coronary Artery Revascularization: Executive Summary: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Joint Committee on Clinical Practice Guidelines. Journal of the American College of Cardiology. 79(2): 197–215.

Maciorowska M., Krzesinski P., Wierzbowski R., Uzieblo-Zyczkowska B., Gielerak G. 2022. Associations between Heart Rate Variability Parameters and Hemodynamic Profiles in Patients with Primary Arterial Hypertension, Including Antihypertensive Treatment Effects. Journal of Clinical Medicine. 11(13): 3767. doi: 10.3390/jcm11133767

Manuel J., Farber N., Gerlach D.A., Heusser K., Jordan J., Tank J., Beissner F. 2020. Deciphering the Neural Signature of Human Cardiovascular Regulation. eLife. 9: e55316. doi: 10.7554/eLife.55316

Matusik P.S., Matusik P.T., Stein P.K. 2023. Heart Rate Variability and Heart Rate Patterns Measured from Wearable and Implanted Devices in Screening for Atrial Fibrillation: Potential Clinical and Population-Wide Applications. European Heart Journal. 44(13): 1105–1107. doi: 10.1093/eurheartj/ehac546

Matusik P.S., Zhong C., Matusik P.T., Alomar O., Stein P.K. 2023. Neuroimaging Studies of the Neural Correlates of Heart Rate Variability: A Systematic Review. Journal of Clinical Medicine. 12(3): 1016. doi: 10.3390/jcm12031016

Munoz M.L., Jaju D., Voruganti S., Albarwani S., Aslani A., Bayoumi R., Al-Yahyaee S., Comuzzie A.G., Millar P.J., Picton P., Floras J.S., Nolte I., Hassan M.O., Snieder H. 2018. Heritability and Genetic Correlations of Heart Rate Variability at Rest and during Stress in the Oman Family Study. Journal of Hypertension. 36(7): 1477–1485. doi: 10.1097/HJH.0000000000001715

Musa A.F., Dillon J., Taib M.E., Yunus A.M., Sanusi A.R., Nordin M.N., Smith J.A. 2022. Incidence and Outcomes of Postoperative Atrial Fibrillation after Coronary Artery Bypass Grafting of a Randomized Controlled Trial: A Blinded End-of-cycle Analysis. Reviews in Cardiovascular Medicine. 23(4): 122. doi: 10.31083/j.rcm2304122

Nolte I.M., Munoz M.L., Tragante V., Amare A.T., Jansen R., Vaez A., von der Heyde B., Avery C.L., Bis J.C., Dierckx B., Van Dongen J., Gogarten S.M., Goyette P., Hernesniemi J., Huikari V., Hwang S.-J., Jaju D., Kerr K.F., Kluttig A., Krijthe B.P., Kumar J., Van der Laan S.W., Lyytikainen L.-P., Maihofer A.X., Minassian A., Van der Most P.J., Muller-Nurasyid M., Nivard M., Salvi E., Stewart J.D., Thayer J.F., Verweij N., Wong A., Zabaneh D., Zafarmand M.H., Abdellaoui A., Albarwani S., Albert C., Alonso A., Ashar F., Auvinen J., Axelsson T., Baker D.G., de Bakker P.I.W., Barcella M., Bayoumi R., Bieringa R.J., Boomsma D., Boucher G., Britton A.R., Christophersen I., Dietrich A., Ehret G.B., Ellinor P.T., Eskola M., Felix J.F., Floras J.S., Franco O.H., Friberg P., Gademan M.G.J., Geyer M.A., Giedraitis V., Hartman C.A., Hemerich D., Hofman A., Hottenga J.-J., Huikuri H., Hutri-Kahonen N., Jouven X., Junttila J., Juonala M., Kiviniemi A.M., Kors J.A., Kumari M., Kuznetsova T., Laurie C.C., Lefrandt J.D., Li Y., Li Y., Liao D., Limacher M.C., Lin H.J., Lindgren C.M., Lubitz S.A., Mahajan A., McKnight B., Schwabedissen H.M.Z., Milaneschi Y., Mononen N., Morris A.P., Nalls M.A., Navis G., Neijts M., Nikus K., North K.E., O'Connor D.T., Ormel J., Perz S., Peters A., Psaty B.M., Raitakari O.T., Risbrough V.B., Sinner M.F., Siscovick D., Smit J.H., Smith N.L., Soliman E.Z., Sotoodehnia N., Staessen J.A., Stein P.K., Stilp A.M., Stolarz-Skrzypek K., Strauch K., Sundstrom J., Swenne C.A., Syvanen A.-C., Tardif, J.-C. Taylor K.D., Teumer A., Thornton T.A., Tinker L.E., Uitterlinden A.G., Van Setten J., Voss A., Waldenberger M., Wilhelmsen K.C., Willemsen G., Wong Q., Zhang Z.-M., Zonderman A.B., Cusi D., Evans M.K., Greiser H.K., Van der Harst P., Hassan M., Ingelsson E., Jarvelin M.-R., Kaab S., Kahonen M., Kivimaki M., Kooperberg C., Kuh D., Lehtimaki T., Lind L., Nievergelt C.M., O'Donnell C.J., Oldehinkel A.J., Penninx B., Reiner A.P., Riese H., Van Roon A.M., Rioux J.D., Rotter J.I., Sofer T., Stricker B.H., Tiemeier H., Vrijkotte T.G.M., Asselbergs F.W., Brundel B.J.J.M., Heckbert S.R., Whitsel E.A., den Hoed M., Snieder H., de Geus E.J.C. 2017. Genetic Loci Associated with Heart Rate Variability and their Effects on Cardiac Disease Risk. Nature Communications. 8: 15805. doi: 10.1038/ncomms15805.

Racz F.S., Czoch A., Kaposzta Z., Stylianou O., Mukli P., Eke A. 2022. Multiple-Resampling Cross-Spectral Analysis: An Unbiased Tool for Estimating Fractal Connectivity with an Application to Neurophysiological Signals. Frontiers in physiology.13: 817239. doi: 10.3389/fphys.2022.817239

Sevoz-Couche C., Laborde S. 2022. Heart Rate Variability and Slow-Paced Breathing: When Coherence Meets Resonance. 135: 104576. doi: 10.1016/j.neubiorev.2022.104576.

Sammito S., Thielmann B., Bockelmann I. 2024. Update: Factors Influencing Heart Rate Variability – a Narrative Review. 15: 1430458. doi: 10.3389/fphys.2024.1430458

Seligowski A.V., Harnett N.G., Ellis R.A., Grasser L.R., Hanif M., Wiltshire C., Ely T.D., Lebois L.A.M., Rooij S.G.H., House S.L., Beaudoin F.L., An X., Neylan T.C., Clifford G.D., Linnstaedt S.D., Germine L.T., Bollen K.A., Rauch S.L., Haran J.P., Storrow A.B., Lewandowski C., Musey Jr P.I., Hendry P.L., Sheikh S., Jones C.W., Punches B.E., Swor R.A., Hudak L.A., Pascual J.L., Seamon M.J., Harris E., Pearson C., Peak D.A., Merchant R.C., Domeier R.M., Rathlev N.K., O'Neil B.J., Sergot P., Sanchez L.D., Bruce S.E., Harte S.E., Koenen K.C., Kessler R.C., McLean S.A., Ressler K.J., Stevens J.S., Jovanovic T. 2024. Probing the Neurocardiac Circuit in Trauma and Posttraumatic Stress. Journal of Psychiatric Research. 176: 173–181. doi: 10.1016/j.jpsychires.2024.06.009

Shaffer F., Ginsberg J.P. 2017. An Overview of Heart Rate Variability Metrics and Norms. Frontiers of Public Health. 5: 258. doi: 10.3389/fpubh.2017.00258

Shah A.S., Vaccarino V., Moazzami K., Almuwaqqat Z., Garcia M., Ward L., Elon L., Ko Y.-A., Sun Y.V., Pearce B.D., Raggi P., Bremner J.D., Lampert R., Quyyumi A.A., Shah A.J. 2024. Autonomic Reactivity

to Mental Stress is Associated with Cardiovascular Mortality. European Heart Journal Open. 4(6): oeae086. doi: 10.1093/ehjopen/oeae086.
Smukowska-Gorynia A., Perek B., Jemielity M., Olasinska-Wisniewska A., Marcinkowska J., Stefaniak S., Cieslewicz A., Iwanczyk S., Lesiak M., Mularek-Kubzdela T. 2022. Neopterin as a Predictive Biomarker of Postoperative Atrial Fibrillation Following Coronary Artery Bypass Grafting. Kardiologia Polska. 80(9): 902–910. doi: 10.33963/KP.a2022.0143
Stavrakis S., Kulkarni K., Singh J.P., Katritsis D.G., Armoundas A.A. 2020. Autonomic Modulation of Cardiac Arrhythmias: Methods to Assess Treatment and Outcomes. JACC. Clinical Electrophysiology. 6(5): 467–483. doi: 10.1016/j.jacep.2020.02.014
Thayer J.F., Carnevali L., Sgiofo A., Williams D.P. 2020. Angry in America: Psychophysiological Responses to Unfair Treatment. Annals of Behavioral Medicine. 54(12): 924–931. doi: 10.1093/abm/kaaa094
Tiwari R., Kumar R., Malik S., Raj T., Kumar P. 2021. Analysis of Heart Rate Variability and Implication of Different Factors on Heart Rate Variability. Current Cardiology Reviews. 17(5): e160721189770. doi: 10.2174/1573403X16999201231203854
Van Thanh N., Hien N.S., Son P.N., Son P.T. 2022. Pattern Changes in the Heart Rate Variability of Patients Undergoing Coronary Artery Bypass Grafting Surgery. Cardiology Research and Practice. 2022: 1455025. doi: 10.1155/2022/1455025
Wang W., Zhornitsky S., Le T.M., Zhang S., Li C.-S.R. 2020. Heart Rate Variability, Cue-Evoked Ventromedial Prefrontal Cortical Response, and Problem Alcohol Use in Adult Drinkers. 5(6): 619–628. doi: 10.1016/j.bpsc.2019.12.013
Wang Z., Luo Y., Zhang Y., Chen L., Zou Y., Xiao J., Min W., Yuan C., Ye Y., Li M., Tu M., Hu J., Zou Z. 2023. Heart Rate Variability in Generalized Anxiety Disorder, Major Depressive Disorder and Panic Disorder: A Network Meta-Analysis and Systematic Review.

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.
Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

Поступила в редакцию 25.02.2025
Поступила после рецензирования 02.05.2025
Принята к публикации 15.05.2025

Received February 25, 2025
Revised May 02, 2025
Accepted May 15, 2025

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Щукина Елена Викторовна, доктор медицинских наук, доцент, заведующая кафедрой внутренних болезней № 1, Донецкий государственный медицинский университет им. М. Горького, г. Донецк, ДНР, Россия
ORCID: 0000-0002-9022-6155

Сарбаш Иван Васильевич, врач-кардиолог, врач функциональной диагностики кардиологического диспансера, Республиканская клиническая больница имени М.И. Калинина, г. Донецк, ДНР, Россия
ORCID: 0009-0001-4600-1143

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Elena V. Shchukina, Doctor of Sciences in Medicine, Associate Professor, Head of the Department of internal diseases No. 1, M. Gorky Donetsk State Medical University, Donetsk, DPR, Russia

Ivan V. Sarbash, Cardiologist, Functional Diagnostics Doctor of the Cardiological Dispensary, M.I. Kalinin Republic Clinical Hospital, Donetsk, DPR, Russia