

ВОЗМОЖНОСТИ И ОГРАНИЧЕНИЯ В ПРИМЕНЕНИИ СВЕРХКОРОТКИХ ЗАПИСЕЙ ВАРИАБЕЛЬНОСТИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА

Н.А. Тишутин, к.б.н., доц. И.Н. Рубченя

Белорусский государственный университет физической культуры

Кафедра Физиологии и биохимии

nickoknick@mail.ru

Nəşr tarixi

Qəbul edilib: 01 oktyabr 2021

Dərc olunub: 27 oktyabr 2021

© 2021 ADBTİA Bütün hüquqlar qorunur

Аннотация. В статье проанализированы возможности и ограничения применения сверхкоротких записей variability сердечного ритма. Установлено, что сверхкороткие записи необходимы в случае синхронной регистрации параметров вегетативной регуляции сердечного ритма и эффективности выполняемой деятельности, а также если выполняемая проба или тест ограничены по времени. Выявлены факторы, ограничивающие достоверность и объективность получаемых таким способом данных. Сформулированы рекомендации для предотвращения влияния стационарности и длительности записи кардиоинтервалов на объективность, получаемых с их помощью данных. Рассмотрено влияние эффекта Еськова-Зинченко на результаты регистрации различных физиологических параметров.

Ключевые слова: *вариабельность сердечного ритма, сверхкороткие записи, стационарность записи, длительность записи, эффект Еськова-Зинченко.*

В основе функционирования всех живых организмов лежат процессы регуляции. Одной из ведущих регуляторных систем организма является вегетативная нервная система (ВНС). Она представляет собой совокупность центральных и периферических нервных структур, которые осуществляют регуляцию и контроль за функциональным уровнем организма, необходимым для оптимальной реакции всех его систем (Ноздрачёв А.Д. 1983, Шлык Н.И. 2009) [1, с. 11]. Профессор М.Р. Могендович отмечал, что деятельность ВНС заключается в удержании строгого соответствия между постоянно меняющейся интенсивностью

двигательной активности и необходимым для ее поддержания уровнем функционирования внутренних органов [2].

В настоящее время исследования деятельности ВНС организма человека неразрывно связаны с изучением сердечного ритма, особенностей variability сердечного ритма (ВСР). С использованием методов оценки ВСР демонстрируется общая активность регуляторных механизмов, нейрогуморальная регуляция сердца, а также соотношение между активностью парасимпатического и симпатического звена ВНС [1, с. 12]. В этом отношении сердечный ритм рассматривается как маркер работы вегетативной нервной системы.

Уровень текущей вегетативной регуляции в организме отражает фоновую активность структур, которые играют важную роль в адаптации организма к физическим нагрузкам. Следовательно, исходный вегетативный статус является одной из ведущих составляющих в формировании типа реагирования организма и на изменение внешних условий [3].

Сердечный ритм формируется многоуровневой и многоконтурной системой регуляции, деятельность которой определяется текущими запросами организма [4, с. 108]. Согласно модели Р.М. Баевского, в основе регуляции ритма сердца лежат два взаимосвязанных контура: центральный и автономный с прямой и обратной связью. Автономный контур представлен синусовым узлом, блуждающими нервами, а также его ядрами, расположенными в продолговатом мозге. Центральный уровень управления ритмом сердца есть более сложная многоуровневая система регуляции, в которую включаются звенья сердечного-сосудистого центра продолговатого мозга, высшие вегетативные центры, а также кора

больших полушарий головного мозга [4, с. 111].

В исследованиях В.А. Машина (2010) указывается, что сегментарный уровень регуляции сердечного ритма, в который включаются центры симпатии и парасимпатии в продолговатом мозге, контролируется надсегментарными или корково-лимбическими структурами [5]. Это также отмечалось в работах Баевского Р.М. и др., (2001) и Флейшмана А.Н. (1999) и ещё раз подчёркивает сложность и многоуровневость системы управления сердечным ритмом.

Различные виды нагрузок, которые требуют вовлечения в управление сердечным ритмом центрального контура, снижают влияние дыхательного компонента синусовой аритмии и, напротив, увеличивают ее недыхательный компонент [4, с. 111]. Однако такая ситуация наблюдается не всегда. Согласно модели регуляции сердечного ритма американской исследовательской группы [6], взаимоотношения между симпатическим и парасимпатическими отделами ВНС не являются исключительно реципрокными. Например, появление эмоций может сопровождаться синхронным усилением активности обоих отделов ВНС, и синергические отношения между ними возникают чаще, чем реципрокные [5].

Исследования, связанные с математическим анализом сердечного ритма, указывают на нормальность распределения последовательности кардиоинтервалов (КИ) у здоровых людей на большом временном интервале [7]. Достоверность применяемых оценок вариабельности сердечного ритма зависит от размера исследуемой выборки длительности КИ, а также от стационарности анализируемого временного ряда [4, 7, 8].

В настоящее время отмечается актуальность исследований вегетативных изменений в совокупности с параметрами выполняемой деятельности [9]. Для реализации данной идеи необходима синхронная регистрация параметров вегетативной регуляции, которая общепринято исследуется

через анализ ВСР, и показателей, отражающих эффективность и особенности выполняемой деятельности. В таких условиях являются необходимым применение сверхкоротких записей сердечного ритма, который, под влиянием выполняемой различного рода деятельности, может быть весьма изменчивым.

Цель статьи – проанализировать возможности и ограничения применения сверхкоротких записей вариабельности сердечного ритма, а также сформировать комплекс рекомендаций по их наиболее корректному использованию.

Стационарность записи. Наиболее достоверные данные о ВСР организма человека, бесспорно, будут получены при записи временных промежутков между КИ с соблюдением полной стационарности условий регистрации. Однако, возможно, самая важная и интересная информация о процессе адаптации и функционировании ВНС кроется в особенностях изменений и уровне ВСР, который поддерживается во время разных типов деятельности. Например, вегетативное обеспечение процесса психической, умственной и физической деятельности. Но в таких условиях процесс изменчивости кардио-интервалов может быть далеко не стационарен.

Для соблюдения требований стационарности при использовании наиболее распространённых коротких записей (5 мин) проводят регистрацию параметров в состоянии относительного покоя, при выполнении однообразной деятельности, а также при достижении и поддержании стабильного уровня функционального состояния организма [8]. Но примеры выше указывают на частую невозможность соблюдения данных требований в связи со спецификой регистрации ВСР в процессе выполнения различной деятельности. Это толкает исследователей на поиск и разработку нечувствительных к стационарности показателей и пересмотру устоявшихся требований. В работе В.Н. Friedman и соавт. [10] показано, что фиксируемая в эксперименте нестационарность колебаний времени меж-

ду КИ незначительно влияет на значения показателей, отражающих вагусные влияния на сердечный ритм. Исследователь В.А. Машин в своих трудах [5, с. 208, 8] сравнивал средние значения показателей variability сердечного ритма с соблюдением условий стационарности и без неё. С использованием критерия Вилкоксона им не было выявлено статистически достоверных различий, связанных с влиянием нестационарности на следующие показатели ВСР: Mo (мода), HF (высокочастотные волны), RMSSD, pNN50, LF (низкочастотные волны), LF/HF (сим-пато-вагальный индекс). Однако фактор нестационарности достоверно изменял значения показателей низкочастотного спектра сердечного ритма (VLF). В дополнение к этому, автор отмечает [5, с. 210], что все изменения значений показателей, характеризующих очень низкочастотный компонент спектра мощности, не выходят за нормированные границы, что свидетельствует о возможности получения объективных данных о сердечном ритме даже при нестационарности записи.

Длительность записи. Другим важным фактором, который влияет на достоверность получаемых расчётных показателей ВСР является количество анализируемых кардиоинтервалов. Профессор Р.М. Бавевский отмечает, что «... при использовании коротких записей сердечного ритма (до 5 мин) искусственно ограничивается число изучаемых регуляторных механизмов...» [4, с. 112]. Также он добавляет, что, анализируя короткие выборки КИ, мы характеризуем лишь активность автономного контура регуляции и отчасти третий уровень центрального контура. С другой стороны, специфика современных исследовательских протоколов, в которых есть необходимость синхронной регистрации параметров сердечного ритма и эффективности выполнения какой-либо деятельности, требует анализа более коротких записей [8, 11, 13]. Исследователь Кубряк О.В. и соавт. указывает, что «...быстрая смена функциональных состояний человека снижает ценность существующих методов анализа вариаци-

онных кардиоритмограмм, так как за 5 минут такие состояния могут меняться неоднократно...» [12]. Здесь перед исследователем стоит дилемма: зарегистрировать большую по длительности выборку КИ, однако в таком случае можно ложно усреднить кратковременные изменения ритма сердца во время выполняемой деятельности или зафиксировать более короткую запись КИ, которая будет отражать только изменения, связанные с выполняемой работой, но в этом случае может снизиться достоверность.

Американские исследователи Prinzel L.J. et al. проанализировали различную по длительности выборок КИ variability сердечного ритма от 10 до 200 секунд. В результате установлено, что 30 секундная запись является минимальной для получения надёжных данных по показателю «0,1 Гц компонент» [13, с. 40].

В исследовании J. McNames et al. (2006) по записям электрокардиограммы различной длительности (10 секунд – 10 минут) рассчитывались и сравнивались между собой показатели ВСР [14]. Полученные данные указывают на существенное изменение значений показателей сердечного ритма в зависимости от количества кардиоинтервалов. Менее чувствительными к длительности записи показателями оказались RMSSD и HF. Оба показателя отражают активность автономного контура регуляции в управлении сердечным ритмом. Авторы работы связывают их большую устойчивость перед длительностью записи со способностью к эффективной фильтрации верхних частот серии NN интервалов.

Российскими учёными О.В. Кубряком и Ю.В. Урываевым проведён математический анализ четырёх 60-ти секундных записей кардиоритмограмм здоровых добровольцев во время выполнения различной по типу деятельности [12, с. 10]. Показано, что длительность R-R интервалов значимо меняется при выполнении мысленного счёта собственных сердечных сокращений по сравнению с фоновой записью. Обе записи регистрировались в течении 60 секунд и

включали в себя около 70 кардиоинтервалов.

В работах В.А. Машина [5, 8] изучался эффект длительности анализируемого временного ряда на значения показателей ВСП. Сравнению подвергались стандартный временной ряд в 256 КИ и R-R интервалы от 128 до 16 (с шагом в 16 R-R). Установлено, что самыми устойчивыми показателями, значения которых достоверно не изменяются в зависимости от длины выборки КИ (кроме выборки в 16 R-R интервалов), являются показатели HF, RMSDD, pNN50. Также высокий уровень устойчивости при объёме кардиоинтервалов от 64 был выявлен для показателя низкочастотных колебаний LF, что в итоге обуславливает устойчивость зависящих от вышеперечисленных показателей индексов: LF/HF, HFnu [5].

Таким образом, факторы стационарности и длительности записи кардиоинтервалов несомненно влияют на значения расчётных показателей ВСП. Некоторые авторы [15, с. 89] видят решение данной проблемы в применении нелинейных методов (фрактального и энтропийного анализов), а также различных их модификаций. Однако классические нелинейные методы анализа сердечного ритма требуют большого объёма выборок КИ (10^5), а при необходимости регистрации скоротечных изменений в функционировании регуляторных механизмов, такую продолжительность записи обеспечить представляется маловероятным. Различные модификации нелинейных методов [15, с. 90] отчасти могут решить проблему повышения чувствительности к кратковременным и долговременным изменениям времени между КИ. Но, в таком случае, возникают трудности физиологической интерпретации применяемых показателей. Классические, стохастические методы исследования сердечного ритма подкреплены десятками лет исследований в различных прикладных областях, а те же, например, расчёты квазиаттракторов остаются на сегодняшний день недостаточно понятыми и широко применяемыми в научных исследованиях. Наиболее оптимальный выход из

данной ситуации видится в следовании следующим рекомендациям:

- 1) При сверхкоротких записях ВСП необходимо регистрировать максимально возможное количество КИ, которое должно обеспечивать достоверность получаемых данных, но в тоже время отражать кратковременные изменения в работе регуляторных механизмов, обусловленные выполняемой деятельностью. Временной промежуток записи времени сердечных циклов должен быть не менее 30 секунд, а количественный не менее 64 R-R интервалов. Начиная с этих порогов, отмечается устойчивость некоторых показателей ВСП относительно стандартной длины записи (256 R-R или 5 мин).
- 2) Требования стационарности сверхкоротких записей ВСП должны максимально возможно соблюдаться при её регистрации с параллельным выполнением какой-либо деятельности либо решением задач. Необходимо подбирать в качестве воздействующего фактора однообразную деятельность, которая не будет сильно меняться на протяжении всего её выполнения. Все переходные процессы, связанные со стабилизацией сердечного ритма в начале выполнения задач, должны исключаться. Также необходимо обращать внимание на продолжительность выполняемого теста, поскольку при слишком долгом тестировании может развиваться утомление, которое будет влиять на формирование текущего уровня ВСП и, соответственно, на общий результат.
- 3) Третья рекомендация касается как стационарности записи, так и её длительности. Более целесообразным при сверхкоротких записях ВСП является использование следующих показателей: RMSDD, pNN50, HF, LF, LF/HF, HFnu, LFnu. Эти показатели обладают большей устойчивостью к влиянию нестационарности анализируемой выборки КИ, которая будет неизбежно возникать при синхронной регистрации физиологических параметров и выпол-

нении определённых задач, а также они достаточно стабильны при сверхкоротких по длительности записях.

В настоящее время ещё одним острым вопросом, касательно регистрации физиологических параметров (в том числе сердечного ритма), является так называемый эффект Еськова-Зинченко [16]. Этот эффект подразумевает отсутствие однородности выборок при многократной записи физиологических параметров одного испытуемого. Имеются экспериментальные данные о том, что более однородная выборка получается при анализе однократных записей случайной группы, чем при серии регистраций одного человека [17, с. 8]. В такой ситуации кажется нецелесообразным дальнейшие исследования параметров организма в рамках классических методических подходов. Однако на эту проблему можно посмотреть иначе. Функционирование человеческого организма есть динамический процесс, который изменяется при адаптации к условиям окружающей среды с участием нейрогуморальных механизмов. Этот процесс постоянного приспособления крайне лабилен и изменчив, что отлично показывает метод исследования ВСП. В исследованиях [17, 18, стр. 71] отмечается, что более высокая статистическая устойчивость КИ наблюдается при анализе однократных записей случайной группы, чем при серии записей КИ одного человека даже в «одном гомеостазе». Под «одним гомеостазом» авторы, вероятно, имеют ввиду одно положение тела в процессе регистрации показателей (сидя, лёжа), поскольку нельзя с уверенностью говорить о стабильном психоэмоциональном состоянии, о контроле суточных колебаний ритма сердца в процессе 15-ти записей КИ от которых крайне изменяется вариабельность сердечного ритма. В такой ситуации большим преимуществом обладают записи физиологических параметров синхронно с выполнением строго стандартизированной деятельности, которые позволят оценивать эффективность работы регуляторных механизмов в стандартных для всех испытуемых условиях.

Заключение. Сверхкороткие записи вариабельности сердечного ритма необходимы в случае синхронной регистрации параметров вегетативной регуляции сердечного ритма и эффективности выполняемой деятельности, а также если выполняемая проба или тест ограничены по времени. Их небольшая продолжительность объясняется скоротечностью изменений в функционировании регуляторных механизмов при решении каких-либо задач, а также большой научной ценностью исследований регуляторного компонента в обеспечении разных типов деятельности. Факторами, лимитирующими уровень достоверности и объективности получаемых таким способом данных, являются стационарность и длительность записи кардиоинтервалов. Для предотвращения или минимизации влияния данных факторов, по нашему мнению, целесообразно следовать некоторым рекомендациям. Необходимо регистрировать максимально допустимое протоколом исследования количество кардиоинтервалов, с условием их отражения именно тех изменений, которые связаны с выполняемой деятельностью (но не менее 64 R-R интервала). Выполняемая деятельность должна быть по возможности однообразной и не слишком продолжительной для предотвращения влияния процессов утомления на общий результат. Экспериментально выявлены показатели, которые более устойчивы к нестационарности исследуемой выборки КИ, а также к её небольшому объёму (RMSDD, pNN50, HF, LF, LF/HF, HFnu, LFnu), поэтому именно их и следует применять для интерпретации результатов. Следование данным рекомендациям позволит повысить достоверность и объективность получаемой информации, а также получить важные сведения об особенностях вегетативного обеспечения функций в организме при выполнении разных типов деятельности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шлык Н.И. *Сердечный ритм и тип регуляции у детей, подростков и спортсменов.* Н.И. Шлык. Ижевск: Филиал

- изд-ва Нижегородского ун-та, 2009, 255с.
2. **Могендович М.Р.** *Обзор работ М.Р. Могендовича и его учеников моторный анализатор и вегетативная нервная система*/ М. Р. Могендович. Лечебная физкультура и спортивная медицина. 2009, № 1(61), с. 55–60.
 3. **Кудря О.Н.** *Вегетативная регуляция работы сердечно-сосудистой системы и системы энергообеспечения мышечной деятельности при выполнении дозированных нагрузок юными спортсменами.* О. Н. Кудря, В. В. Вернер. Теория и практика физической культуры. 2009, № 3, с. 36–42.
 4. **Баевский Р.М.** *Вариабельность сердечного ритма: теоретические аспекты и возможности клинического применения.* Р.М. Баевский, Г.Г. Иванов. Ультразвуковая и функциональная диагностика. 2001, № 3, с. 108–127.
 5. **Машин В.А.** *Трехфакторная модель вариабельности сердечного ритма в психологических исследованиях функциональных состояний человека-оператора: диссертация ... доктора псих. наук: 19.00.03.* В. А. Машин. Москва, 2010, 440 с.
 6. **Berntson G.G.** *Cardiac psychophysiology and autonomic space in humans: empirical perspectives and conceptual implications.* G.G. Berntson, J.T. Cacioppo, K.S. Quigley. Psychol Bull. 1993, vol. 114, No 2. pp. 296–322.
 7. **Федотов А.А.** *Теоретическая и клиническая оценка чувствительности показателей вариабельности сердечного ритма.* А.А. Федотов, А. С. Акулова, П. А. Лебедев. Биофизика. 2017, т. 62, № 4, с. 760–768.
 8. **Машин В.А.** *Нестационарность и длительность временного ряда сердечного ритма при диагностике функциональных состояний.* В. А. Машин. Биофизика. 2007, т. 52, № 2, с. 344–354.
 9. **Городничев Р.М.** *Физиология силы: монография.* Р. М. Городничев, В.Н. Шляхтов. М.: Спорт, 2016, 232 с.
 10. **Friedman В. Н.** *Validity concerns of common heart-rate variability indices.* В. Н. Friedman, М. Т. Allen, I. С. Christie [et al.]. IEEE Eng Med Biol Mag., 2002. – V. 21, № 4, pp. 35–40.
 11. **Черниговская Т.В.** *Особенности вегетативного обеспечения процесса синхронного перевода.* Т.В. Черниговская, И.С. Парина, М.А. Кнабенгоф [и др.]. Восьмая международная конференция по когнитивной науке : Тезисы докладов, Светлогорск, 18–21 октября 2018 года. Ответственные редакторы: А.К. Крылов, В.Д. Соловьев. Светлогорск: Институт психологии РАН, 2018, с. 1046–1048.
 12. **Кубряк О.В.** *Способ анализа коротких кардиоритмограмм в оценке быстрых изменений типов деятельности.* О.В. Кубряк, Ю. В. Урываев. Вестник Российской академии медицинских наук. – 2008, № 3, с. 9–12.
 13. **Prinzel L.J.** *Three experiments examining the use of electroencephalogram, event-related potentials, and heart-rate variability for real-time human-centered adaptive automation design.* L.J. Prinzel, R. Parasuraman, F.G. Freeman [et al.]. Hampton, VA: NASA Langley Research Center, 2003, 70 p.
 14. **McNames J.** *Reliability and accuracy of heart rate variability metrics versus ECG segment duration.* J. McNames, M. Aboy. Medical and Biological Engineering and Computing. 2006, vol. 44, No 9, pp. 747–56.
 15. **Алпатов А.В.** *Методы повышения достоверности диагностических параметров электрокардиосигнала.* А.В. Алпатов, С.П. Вихров, В.Н. Локтюхин [и др.]. Биотехносфера. 2012, № 5-6 (23-24), с. 84–91.
 16. **Еськов В.В.** *Проблема статистической устойчивости параметров кардиоинтервалов сердечно-сосудистой системы жителей Севера Российской Федерации.* В.В. Еськов, Е.В. Орлов, Ю.В. Башкатова [и др.]. Экология человека. 2020, № 11, с. 27–31.

17. Филатова Д.Ю. Проблема однородности параметров кардиоинтервалов у детей школьного возраста в условиях широтных перемещений. Д.Ю. Филатова, Ю.В. Башкатов, Е.Г. Мельникова [и др.]. Экология человека. 2020, № 1, с. 6–10.
18. Арсланова М.М. Статистическая неустойчивость выборок параметров

кардиоинтервалов в неизменном гомеостазе. М.М. Арсланова, И.В. Мирошниченко, Ю. М. Попов [и др.]. Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2017, №4, Публикация 1–8. DOI: 10.12737/article_5a38d02dd855e9.28694103.

ULTRA-QISA ÜRƏK RİTM QEYDLƏRİNİN İSTİFADƏSİNDƏ İMKANLAR VƏ MƏHDUDİYYƏTLƏR

N.A. Tışutin, b.e.n., dos. İ.N. Rubçen

Belarus Dövlət Bədən Tərbiyəsi Universiteti
Fiziologiya və biokimya kafedrası
nickoknick@mail.ru

Annotasiya. Məqalədə ürək dərəcəsi dəyişkənliyinin ultraqısa qeydlərinin istifadəsinin imkanları və məhdudiyətləri təhlil edilir. Müəyyən edilmişdir ki, ürək döyüntülərinin vegetativ tənzimləmə parametrlərinin və yerinə yetirilən fəaliyyətin səmərəliliyinin sinxron qeydiyyatı zamanı, habelə aparılan sınaq və ya sınaq müddətində məhdudlaşdıqda ultraqısa yazıların aparılması zəruridir. Bu yolla əldə edilən məlumatların etibarlılığını və obyektivliyini məhdudlaşdıran amillər ortaya çıxır.

Kardiointervalların stasionarlığının və qeyd müddətinin onların köməyi ilə əldə edilən məlumatların obyektivliyinə təsirinin qarşısını almaq üçün tövsiyələr tərtib edilmişdir. Eskov-Zinçenko effektinin müxtəlif fizioloji parametrlərin qeydiyyatının nəticələrinə təsiri nəzərdən keçirilir.

Açar sözlər: *ürək dərəcəsinin dəyişkənliyi, ultraqısa yazılar, qeydin stasionarlığı, qeyd müddəti, Eskov-Zinçenko effekti.*

POSSIBILITIES AND RESTRICTIONS IN THE APPLICATION OF ULTRA-SHORT HEART RATE VARIABILITY RECORDS

N.A. Tishutin, PhD, ass. prof. I.N. Rubchenya

Belarusian State University of Physical Education
Department of Physiology and Biochemistry
nickoknick@mail.ru

Annotation. The article analyzes the possibilities and limitations of the use of ultrashort recordings of heart rate variability. It has been established that ultrashort recordings are necessary in the case of synchronous registration of the parameters of autonomic regulation of the heart rate and the efficiency of the performed activity, and also in the case if

performed sample or test is limited in time. The factors limiting the reliability and objectivity of the data obtained in this way are revealed.

Recommendations are formulated to prevent the influence of stationarity and duration of recording of cardio intervals on the objectivity of the data obtained with their help. The



influence of the Eskov-Zinchenko effect on the results of registration of various physiological parameters is considered.

Keywords: *heart rate variability, ultra-short recordings, stationarity of recording, recording duration, Eskov-Zinchenko effect.*