

ОСОБЕННОСТИ АНАЛИЗА ВАРИАБЕЛЬНОСТИ РИТМА СЕРДЦА ПО КОРОТКИМ ЗАПИСЯМ ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАММ ЧЕЛОВЕКА

М. В. Бочкарёв¹, Л. С. Коростовцева¹, А. Б. Татаридзе²,
М. Д. Алёхин², В. И. Непран¹, А. П. Семёнов¹,
Ю. В. Свиричев¹

¹ ФГБУ «Федеральный медицинский исследовательский центр им. В. А. Алмазова» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия

² Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана, Москва, Россия

Контактная информация:

Бочкарёв Михаил Викторович, ФГБУ «Федеральный медицинский исследовательский центр имени В. А. Алмазова» Минздрава России, научно-исследовательский отдел артериальной гипертензии, ул. Аккуратова, д. 2, Санкт-Петербург, Россия. 197341.
Тел.: +7 (812)702–68–10.
E-mail: somnology@almazovcentre.ru

Статья поступила в редакцию
16.11.14 и принята к печати 02.12.14.

Резюме

Цель исследования. В рамках реализации проекта по разработке математически и физиологически корректного комплекса алгоритмов расчета оценок спектральных показателей variability сердечного ритма (VSR) человека с целью подготовки базы коротких записей ЭКГ для дальнейшей математической обработки была проведена оценка показателей VSR в эпидемиологической выборке условно здоровых лиц и были определены пределы их нормальных колебаний. **Материалы и методы.** В исследование включен 101 обследуемый различного возраста. На базе сомнологической лаборатории ФГБУ «ФМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России участникам выполнена регистрация коротких записей ЭКГ с использованием портативного 12-канального монитора «Кардиотехника-04–3 Р (М)» (ЗАО «Инкарт», Россия) и портативной кардиореспираторной полисомнографической системы «Эмблетта Голд» (Embla, Natus, США). Выполнялась модифицированная активная ортостатическая проба, в ходе которой ЭКГ регистрировалась в течение 7 минут в положении сидя (фаза 1), в течение 7 минут в положении стоя (фаза 2) и в течение 10 минут после возвращения в исходное положение (фаза 3). **Результаты.** По результатам корреляционного анализа за весь период записи статистически значимая обратная связь слабой силы выявлена между показателями возраста и частотными характеристиками VSR: HF ($r_s = -0,239$, $p = 0,034$), LF ($r_s = -0,385$, $p < 0,001$) и VLF ($r_s = -0,242$, $p = 0,033$). При оценке взаимосвязей внутри подгруппы студентов выявлена положительная взаимосвязь между средней продолжительностью сна и показателями VSR — LF по всей записи ($r_s = 0,46$; $p = 0,037$), в первую ($r_s = 0,52$; $p = 0,015$) и во вторую ($r_s = 0,50$; $p = 0,021$) фазы эксперимента; VLF в первую ($r_s = 0,46$; $p = 0,039$) и во вторую ($r_s = 0,55$; $p = 0,012$) фазы эксперимента и HF во вторую фазу эксперимента ($r_s = 0,48$; $p = 0,027$). **Выводы.** При проведении анализа VSR необходимо учитывать не только стандартные клинично-демографические показатели, но также среднюю продолжительность сна и его качество накануне обследования. Особенности вегетативной регуляции и показателей VSR в группах условно здоровых лиц различного возраста при применении модифицированной активной ортостатической пробы заключаются в относительном повышении активности симпатического отдела нервной системы,

что отражается в снижении показателей высокочастотного спектра и повышении величины отношения LF/HF. С возрастом происходит снижение показателей высокочастотного спектра ВСР.

Ключевые слова: вариабельность ритма сердца, высокочастотный спектр, продолжительность сна, короткие записи электрокардиограммы.

Для цитирования: ИМ. В. Бочкарёв, Л. С. Коростовцева, А. Б. Татаридзе, М. Д. Алёхин, В. И. Непран, А. П. Семёнов, Ю. В. Сви-
ряев. Особенности анализа вариабельности ритма сердца по коротким записям электрокардиограмм человека. Трансляционная
медицина 2015;2–3(31–32):8–17.

THE PECULIARITIES OF SHORT-TERM ELECTROCARDIOGRAM HEART RATE VARIABILITY ANALYSIS

M. V. Bochkarev¹, L. S. Korostovtseva¹, A. B. Tataraidze²,
M. D. Alekhin², V. I. Nepran¹, A. P. Semenov¹, Y. V. Sviryaev¹

¹ Federal Almazov Medical Research Centre, St Petersburg

² Moscow State Technical University n. a. N. E. Bauman, Moscow

Corresponding author

Mikhail V. Bochkarev,
Federal Almazov Medical Research Centre,
2 Akkuratov st., St Petersburg, Russia,
197341.

Phone: +7 (812)702–68–10.

E-mail: somnology@almazovcentre.ru

Received 16 November 2014;
accepted 02 December 2014.

Abstract

Objective: Within the project of the development of the algorithm for human heart rate variability (HRV) analysis we assessed the HRV parameters in an epidemiologic sample of healthy subjects in order to compose the database of short-term electrocardiograms (ECG) for further mathematical analysis. **Design and methods:** Altogether 101 subjects underwent short-term ECG registration by a portable 12-channel monitor “Kardiotekhnika-04–3R (M)” (“Inkart”, Russia) and portable cardiorespiratory polysomnographic system “Embletta Gold” (Embla, Natus, USA). A modified active orthostatic test was used and ECG was registered for 7 minutes in the sitting position (phase 1), 7 minutes — upright (phase 2) and 10 minutes — again in the sitting position (phase 3). **Results.** Correlation analysis showed a negative relation between age and frequency HRV indices: HF ($r_s = -0,239$, $p = 0,034$), LF ($r_s = -0,385$, $p < 0,001$) and VLF ($r_s = -0,242$, $p = 0,033$). Subgroup analysis (in the group of students) demonstrated a positive correlation between mean sleep duration and HRV parameters: LF from the full ECG recording ($r_s = 0,46$; $p = 0,037$), during phase 1 ($r_s = 0,52$; $p = 0,015$) and phase 2 ($r_s = 0,50$; $p = 0,021$); VLF during phase 1 ($r_s = 0,46$; $p = 0,039$) and phase 2 ($r_s = 0,55$; $p = 0,012$) and HF during phase 2 ($r_s = 0,48$; $p = 0,027$). **Conclusions.** While analyzing HRV additional parameters, such as sleep duration and quality before the study, should be considered along with the standard clinical and demographical indices. A modified active orthostatic test is characterized by the decrease of high-frequency spectrum and increased LF/HF ratio reflecting the elevated sympathetic activity. Increasing age is associated with the decrease of high frequency HTV indices.

Key words: heart rate variability, high frequency spectrum, sleep duration, short-term electrocardiogram.

For citation: M. V. Bochkarev, L. S. Korostovtseva, A. B. Tataraidze, M. D. Alekhin, V. I. Nepran, A. P. Semenov, Y. V. Sviryaev. The peculiarities of short-term electrocardiogram heart rate variability analysis. *Translacionnaja medicina = Translational Medicine*. 2015;2–3(31–32):8–17.

Введение

Несмотря на многолетние исследования вариабельности сердечного ритма (ВСР), корректность ее оценки обеспечивается только при стационарных состояниях, так как при любом изменении состояния организма отмечаются колебания частоты сердечных сокращений (ЧСС) в соответствии с новыми условиями функционирования [1, 2].

Традиционно о ВСР судят по длительности RR-интервалов электрокардиограммы (ЭКГ), поскольку зубец R, особенно во втором стандартном отведении, наиболее легко выделить при компьютерной обработке. Исходные данные для анализа ВСР представляются в виде последовательности длительностей RR-интервалов за определенный временной промежуток, при этом известно, что изменение длительностей RR-интервалов происходит с определенной периодичностью, свидетельствующей о существовании волновой модуляции сердечного ритма. Интервал между циклами сердечных сокращений зависит от ритмической активности пейсмекерных клеток синусового узла, на которую в свою очередь оказывают влияние автономная и центральная нервная система, а также эндокринные и гуморальные факторы. Для ВСР характерны периодические (высокочастотные, низкочастотные и очень низкочастотные колебания) и непериодические (связанные со случайными событиями, ассоциированными с раздражениями со стороны внешней или внутренней среды) составляющие. Последние, являющиеся нестационарными процессами ВСР, с одной стороны, представляют существенные сложности для анализа сигнала, но, с другой стороны, при корректной интерпретации могут содержать важную информацию о функционировании различных систем организма и иметь прогностическое значение. Однако в существующих рекомендациях по оценке спектральных показателей ВСР не уделяется достаточного внимания нестационарным процессам ВСР, что обуславливает необходимость дальнейшего изучения и разработки специализированных алгоритмов [1–5].

В рамках реализации проекта по разработке математически и физиологически корректного комплекса алгоритмов расчета оценок спектральных показателей ВСР человека по коротким записям ЭКГ одним из этапов явилось обоснование выбора популяции условно здоровых лиц для анализа волновой структуры ВСР применительно к коротким записям и требований к массиву клинически верифицированных записей ритмокардиограмм.

Согласно общепринятым стандартам, при оценке показателей ВСР за норму принимаются величины, установленные при обследовании молодых

лиц (обычно студентов), что далеко не всегда соответствует реально существующей популяции [1, 6]. В связи с этим с целью подготовки базы коротких записей ЭКГ для дальнейшей математической обработки была проведена оценка показателей ВСР в эпидемиологической выборке условно здоровых лиц и были определены пределы их нормальных колебаний.

Материалы и методы

Исследование выполнено на базе сомнологической лаборатории ФГБУ «Федеральный медицинский исследовательский центр имени В. А. Алмазова» Минздрава России. Для регистрации ЭКГ использовался портативный 12-канальный монитор «Кардиотехника-04–3 Р (М)» (ЗАО «Инкарт», Россия). Данный аппаратно-программный комплекс обеспечивает формирование динамических рядов кардиоинтервалов с частотой дискретизации электрокардиографического сигнала до 1000 Гц и выше. Точность измерения RR-интервалов ± 1 мс. Анализ и экспорт данных проводились в программе «KT Result 3» (ЗАО «Инкарт», Россия). Запись и обработка сигнала осуществлялись в соответствии с требованиями к коммерческому оснащению и оборудованию для анализа вариабельности ритма сердца [7]. Последовательность RR-интервалов подвергалась автоматическому анализу на предмет наличия аритмий и артефактных участков, которые затем исключались из рассмотрения. Анализ ВСР производился по последовательности RR-интервалов синусового происхождения по всей записи длительностью 21 минуту с вычислением стандартных временных и спектральных характеристик. Из показателей анализа во временной области рассчитывались: $avNN$ (мс) — среднее значение всех RR интервалов, которое дает представление об основном уровне функционирования синусового узла; $SDNN$ (мс) — среднеквадратичное отклонение интервалов RR, предназначенное для оценки общей ВСР; $RMSSD$ (мс) — среднеквадратичное отклонение межинтервальных различий, оценивающее высокочастотный компонент вариабельности; $pNN50$ — доля смежных RR интервалов, межинтервальные различия между которыми превосходят 50 мс; VAR — вариационный размах RR; pHF — мощность высокочастотного компонента спектра в нормализованных единицах. Спектральный анализ осуществлялся при помощи быстрого преобразования Фурье с расчетом спектральной плотности мощности (ms^2) по следующим частотным диапазонам: очень низких частот (VLF) — 0,0033–0,04 Гц, низких частот (LF) — 0,04–0,15 Гц, высоких частот (HF) — 0,15–0,4 Гц. Также оцени-

валось соотношение низко- и высокочастотного спектров LF/HF — симпатовагальный баланс.

Синхронно проводилась регистрация каналов ЭКГ, реопневмограммы, миограммы и окулограммы с использованием портативной кардиореспираторной полисомнографической системы «Эмблетта Голд» (Embla, Natus, США) с целью более точного выявления и исключения артефактов и участков нестационарности ритмокардиограммы. Обработка результатов проводилась в программе «RemLogic» (Natus, США).

Регистрация ЭКГ проводилась не ранее чем через 1,5–2 часа после приема пищи, в тихой комнате со стабильной температурой 20–22°С, в спокойном состоянии, в комнате исключалось присутствие посторонних лиц и разговоров. Выполнялась функциональная проба (модифицированная активная ортостатическая проба) по следующей схеме:

1) После инструктажа, измерения артериального давления (АД) в стандартных условиях [8] и установки электродов начиналась непрерывная регистрация ЭКГ с одновременной регистрацией миограммы и окулограммы (для учета движений, дыхательных усилий, мышечного тонуса испытуемого).

2) Фаза 1: регистрация ЭКГ в течение 7 минут в положении сидя.

3) Фаза 2: переход в положение стоя, регистрация ЭКГ в течение 7 минут в положении стоя.

4) Фаза 3: переход в положение сидя, регистрация ЭКГ в течение 10 минут в положении сидя.

5) Окончание эксперимента. С точностью не менее 1 секунды регистрировались начало фазы 1, начало фазы 2, начало фазы 3, конец фазы 3. Указанный вариант ортостатической пробы был выбран как наиболее удобный для применения в рутинной клинической практике.

С учетом особенностей экспорта результатов коротких записей ВСР в анализ не включались показатели HF и LF за последние 3 минуты, поэтому при обработке данных учитывались лишь показатели за 21 минуту. Также отдельно анализировались участки записи в окнах длительностью 5 минут по каждой фазе эксперимента с оценкой описанных ранее показателей ВСР.

Критериями включения в исследование были: возраст 20–65 лет, отсутствие патологических отклонений по данным физикального обследования и по стандартной 12-канальной ЭКГ в покое, АД менее 140/90 мм рт. ст. Критерии исключения: наличие сердечно-сосудистой и другой соматической патологии, оказывающей влияние на вариабельность ритма сердца (заболевания щитовидной железы, сахарный диабет, хронический болевой

синдром и другие), прием препаратов, влияющих на функцию сердечно-сосудистой системы и состояние вегетативной нервной системы.

Проведены короткие записи ЭКГ у 101 обследуемого, которые были разделены на подгруппы: 38 человек (18 мужчин и 20 женщин) были случайным образом отобраны из списка (1600 респондентов) участников исследования «Эпидемиология сердечно-сосудистых заболеваний в регионах Российской Федерации» (ЭССЕ-РФ) в Санкт-Петербурге (группа 1) [9], группу 2 составили 42 студента (20 мужчин и 20 женщин) 1–6 курсов ВУЗов Санкт-Петербурга; также была сформирована третья группа, в которую были включены 21 взрослый испытуемый из числа лиц, обращавшихся за медицинской помощью в сомнологическую лабораторию ФГБУ «Федеральный медицинский исследовательский центр имени В. А. Алмазова» Минздрава России (группа 3, 12 мужчин и 9 женщин), удовлетворяющие критериям включения/исключения. Все участники дали согласие на участие в исследовании. Исследование было одобрено локальным этическим комитетом ФГБУ «ФМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России.

Статистическая обработка данных

При анализе данных использовались следующие математико-статистические методы: стандартные описательные статистики (при нормальном распределении данных использовались среднее и стандартная ошибка среднего; в случае ненормального распределения данные представлены в виде медианы и 25-го и 75-го перцентилей; номинальные и категориальные переменные представлены в виде долей), непараметрический тест Манна-Уитни для сравнения количественных показателей в двух подгруппах, критерий Крускала-Уоллиса для сравнения трех групп и более, критерии χ^2 -квадрат и точный критерий Фишера для оценки сопряженности качественных признаков. При проведении множественных сравнений использовался однофакторный дисперсионный анализ с поправкой Шеффе. При анализе взаимосвязей применялись коэффициент ранговой корреляции Спирмена и парциальные корреляции (для контроля влияния потенциально значимых факторов на анализируемые взаимосвязи). Математико-статистический анализ данных проводился с использованием программы IBM SPSS Statistics 19.0 (Чикаго, США).

Результаты

Средний возраст обследуемых составил $34,1 \pm 14,6$ года, продолжительность сна в ночь перед исследованием — $6,6 \pm 1,7$ часа, что соот-

Таблица 1

ПАРАМЕТРЫ ВАРИАбельНОСТИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА ПО РИТМОКАРДИОГРАММЕ
ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬЮ 21 МИНУТУ

Показа-тель	Группа 1 (эпидемиологи- ческая выборка)	Группа 2 (студенты)	Группа 3 (лица, проходившие полисомнографическое обследования)	χ^2 -квадрат, уровень значимости
avNN (мс)	800,66 (688,13; 936,46)	698,16 (641,14; 769,28)	762,76 (670,47; 860,42)	$\chi^2 = 9,792$, $p = 0,007$
VAR (мс)	370,19 (274,07; 588,78)	396,73 (311,66; 541,21)	290,28 (233,57; 508,8)	$\chi^2 = 3,206$, $p = 0,201$
SDNN (мс)	59,61 (45,72; 72,52)	63,14 (48,92; 80,54)	47,9 (42,38; 63,14)	$\chi^2 = 6,212$, $p = 0,045$
rMMSD (мс)	31,0 (22,33; 56,08)	34,09 (24,02; 48,13)	23,0 (15,61; 37,85)	$\chi^2 = 3,573$, $p = 0,168$
pNN50 (%)	6,14 (1,47; 11,23)	7,76 (3,63; 17,58)	2,09 (0,61; 4,80)	$\chi^2 = 9,792$, $p = 0,007$
nHF (%)	21,42 (13,45; 33,09)	24,73 (17,23; 33,09)	21,42 (13,45; 40,23)	$\chi^2 = 9,792$, $p = 0,007$
HF, мс ²	437,28 (153,91; 1011,35)	510,90 (301,67; 986,41)	208,00 (122,00; 849,19)	$\chi^2 = 7,267$, $p = 0,026$
LF, мс ²	1563,54 (619,42; 2329,03)	1714,90 (896,23; 3379,10)	853,90 (556,04; 1219,42)	$\chi^2 = 11,813$, $p = 0,003$
VLF, мс ²	1946,40 (1080,63; 706,80)	2114,52 (1234,57; 2836,09)	1192,85 (894,76; 1499,14)	$\chi^2 = 8,653$, $p = 0,013$
LF/HF	3,58 (1,31; 7,44)	2,91 (1,97; 5,06)	3,31 (1,91; 6,94)	$\chi^2 = 0,440$, $p = 0,803$

Примечание: В таблице представлены результаты проверки гипотезы о равенстве значений во всех трех выборках.

ветствует пределам нормальных значений продолжительности сна [10]. Средний уровень АД перед проведением пробы соответствовал нормальным значениям: систолическое АД $121,7 \pm 7,3$ мм рт. ст., диастолическое АД — $78,4 \pm 10,3$ мм рт. ст. В ходе выполнения пробы ни у одного из участников не регистрировалось нежелательных явлений, обморочных и предобморочных состояний.

Обследуемые первой группы (из эпидемиологической выборки ЭССЕ-РФ) по поло-возрастному распределению были сопоставимы с участниками третьей группы (возраст $45,4 \pm 14,0$ и $40,7 \pm 11,0$ года соответственно, $p > 0,05$), в отличие от группы студентов ($22,7 \pm 3,7$ года, $p < 0,001$)

Результаты анализа ВСР по ритмокардиограмме продолжительностью 21 минуту представлены в таблице 1. При попарном сравнении групп оказалось, что группы 1 и 3 были сопоставимы по основным параметрам ВСР, за исключением pNN50 ($p = 0,045$) и VLF ($p = 0,026$). Параметр avNN был максимальным у лиц из группы 1, существенно превышая лишь величину в группе студентов ($p = 0,008$). Закономерно у студентов частотные характеристики ВСР по суммарной 21-минутной записи были выше,

однако статистически значимые различия выявлены лишь при сравнении с обследуемыми 3-й группы (для LF $p = 0,004$; для VLF $p = 0,037$).

При сравнении показателей ВСР внутри групп в разные фазы эксперимента различия выявлены не были ($p > 0,05$).

Результаты анализа ВСР в разные фазы эксперимента и сравнения трех групп представлены в таблицах 2, 3 и 4. При сравнении параметров ВСР в положении сидя в фазы эксперимента 1 и 3 различий выявлено не было ни в общей выборке, ни при рассмотрении подгрупп отдельно ($p > 0,05$).

При попарной оценке показателей ВСР отдельно по фазам эксперимента наибольшие различия выявлены между студентами и третьей группой обследуемых (лица, обратившиеся на прием к сомнологу): в первой фазе эксперимента — по pNN50 ($p = 0,006$), HF ($p = 0,026$) и LF ($p = 0,006$), во второй — по pNN50 ($p = 0,026$) и LF ($p = 0,006$), а в третьей — по pNN50 ($p = 0,009$), HF ($p = 0,006$) и LF ($p = 0,026$). При сравнении студентов и представителей эпидемиологической выборки существенные различия касались лишь параметра avNN во всех трех фазах ($p = 0,024$; $p = 0,006$ и $p = 0,006$ соответ-

Таблица 2

ПАРАМЕТРЫ ВАРИАбельНОСТИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА В ПЕРВЫЕ 5 МИНУТ ПЕРВОЙ ФАЗЫ
ЭКСПЕРИМЕНТА (В ПОЛОЖЕНИИ СИДЯ)

Показатель	Группа 1 (эпидемиологическая выборка)	Группа 2 (студенты)	Группа 3 (лица, проходившие полисомнографическое обследование)	χ^2 -квадрат, уровень значимости
avNN (мс)	841,5 (703,15; 961,25)	719,8 (665,4; 808,5)	740,6 (678,8; 858,4)	$\chi^2 = 8,231$, $p = 0,016$
VAR (мс)	355,80 (247,2; 484,45)	353,20 (280,8; 567,7)	284,80 (232,8; 468,6)	$\chi^2 = 3,412$, $p = 0,182$
SDNN (мс)	55,40 (41,45; 68,85)	56,80 (46,7; 93,80)	44,60 (40,0; 59,2)	$\chi^2 = 5,208$ $p = 0,074$
rMMSD (мс)	32,20 (23,8; 48,75)	35,00 (23,7; 55,6)	22,00 (16,0; 48,4)	$\chi^2 = 4,030$, $p = 0,133$
pNN50 (%)	5,80 (1,3; 13,35)	10,20 (3,5; 19,8)	2,00 (0,4; 4,4)	$\chi^2 = 8,368$, $p = 0,015$
nHF (%)	28,10 (17,35; 41,85)	28,400 (17,5; 41,1)	21,20 (12,6; 36,2)	$\chi^2 = 1,540$, $p = 0,463$
HF, мс ²	359,50 (128,40; 934,80)	597,00 (297,60; 903,00)	245,40 (123,20; 425,20)	$\chi^2 = 8,434$ $p = 0,015$
LF, мс ²	1039,8 (490,25; 1865,4)	1496,2 (830,4; 2473,0)	762,2 (580,6; 1161,6)	$\chi^2 = 9,561$ $p = 0,008$
VLF, мс ²	1497,2 (620,25; 2569,4)	1366,4 (966,6; 2167,8)	957,4 (546,0; 1373,6)	$\chi^2 = 4,551$ $p = 0,103$
LF/HF	2,71 (1,17; 4,49)	2,62 (1,34; 4,88)	2,73 (1,97; 7,58)	$\chi^2 = 1,137$ $p = 0,566$

ственно в первой, второй и третьей фазах), а параметры ВСР у лиц первой и третьей групп отличались лишь по показателю pNN50 в первую ($p = 0,045$) и вторую ($p = 0,026$) фазы эксперимента. При этом симпатовагальный индекс оставался сопоставимым во всех трех группах обследуемых на всех этапах эксперимента.

Различия отсутствовали по всем показателям ВСР у лиц с различной продолжительностью сна (менее и более 7 часов, $p > 0,05$).

По результатам корреляционного анализа за весь период записи (за 21 минуту) статистически значимая обратная связь слабой силы выявлена между показателями возраста и частотными характеристиками ВСР: HF ($rs = -0,239$, $p = 0,034$), LF ($rs = -0,385$, $p < 0,001$) и VLF ($rs = -0,242$, $p = 0,033$). Таким образом, в обследованной выборке с увеличением возраста происходит уменьшение всех частотных характеристик ВСР, что соответствует данным, описанным в литературе [11]. При этом закономерно положительная взаимосвязь была между возрастом и уровнем систолического АД ($rs = 0,330$, $p = 0,02$) и диастолического АД ($rs = 0,387$, $p = 0,006$),

В общей выборке не выявлено взаимосвязи между продолжительностью сна и показателями вариабельности ритма. В то же время продолжительность сна положительно коррелировала с уровнем систолического АД ($rs = 0,330$, $p = 0,02$), а показатели систолического и диастолического АД были отрицательно взаимосвязаны с частотными характеристиками ВСР: LF ($rs = -0,305$, $p = 0,033$) и VLF ($rs = -0,287$, $p = 0,045$) для систолического АД и LF ($rs = -0,334$, $p = 0,019$) и VLF ($rs = -0,361$, $p = 0,011$) для диастолического АД.

При анализе отдельно группы обследуемых из эпидемиологической выборки отмечена сильная отрицательная взаимосвязь продолжительности сна в ночь накануне исследования с высокочастотной составляющей спектра ВСР при оценке 21-минутной записи ($rs = -0,85$; $p = 0,015$), в первой и третьей фазах эксперимента, при регистрации ЭКГ в положении сидя ($rs = -0,82$; $p = 0,025$ и $rs = -0,93$; $p = 0,003$). Однако данная взаимосвязь не нашла подтверждения по результатам регрессионного анализа.

При оценке взаимосвязей внутри группы студентов, напротив, была выявлена положительная

Таблица 3

ПАРАМЕТРЫ ВАРИАбельНОСТИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА В ПЕРВЫЕ 5 МИНУТ
ВТОРОЙ ФАЗЫ ЭКСПЕРИМЕНТА (СТОЯ)

Показатель	Группа 1 (эпидемиологическая выборка)	Группа 2 (студенты)	Группа 3 (лица, проходившие полисомнографическое обследование)	χ^2 -квадрат, уровень значимости
avNN (мс)	657,0 (597,9; 722,6)	752,3 (664,3; 849,4)	752,8 (648,2; 835,6)	$\chi^2 = 10,726$, p = 0,005
VAR (мс)	361,4 (259,2; 518,5)	325,2 (202,05; 577,4)	244,0 (210,8; 529,6)	$\chi^2 = 1,333$, p = 0,420
SDNN (мс)	54,4 (40,7; 65,9)	56,1 (34,4; 65,72)	42,6 (34,2; 56,4)	$\chi^2 = 3,790$, p = 0,150
rMMSD (мс)	25,8 (17,5; 37,1)	24,2 (14,8; 46,3)	14,8 (11,8; 35,8)	$\chi^2 = 1,672$, p = 0,433
pNN50 (%)	4,0 (0,8; 7,1)	3,4 (0,15; 9,9)	0,8 (0,0; 3,2)	$\chi^2 = 6,885$, p = 0,032
nHF (%)	15,0 (9,9; 27,5)	16,3 (9,85; 33,65)	17,8 (11,8; 30,4)	$\chi^2 = 0,199$, p = 0,905
HF, мс ²	224,9 (54,85; 500,8)	249,0 (143,4; 579,0)	123,0 (47,4; 309,4)	$\chi^2 = 3,809$, p = 0,149
LF, мс ²	915,5 (430,1; 2345,8)	1350,6 (749,2; 2224,4)	547,4 (371,0; 1058,2)	$\chi^2 = 10,069$, p = 0,007
VLF, мс ²	1063,4 (527,4; 2144,65)	1083,0 (665,2; 1833,4)	842,8 (542,2; 1339,8)	$\chi^2 = 2,242$, p = 0,326
LF/HF	5,37 (1,92; 9,45)	5,1 (2,72; 9,27)	4,95 (1,76; 7,82)	$\chi^2 = 0,066$, p = 0,968

Таблица 4

ПАРАМЕТРЫ ВАРИАбельНОСТИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА В ПЕРВЫЕ 5 МИНУТ
ТРЕТЬЕЙ ФАЗЫ ЭКСПЕРИМЕНТА (СИДЯ)

Показатель	Группа 1 (эпидемиологическая выборка)	Группа 2 (студенты)	Группа 3 (лица, проходившие полисомнографическое обследование)	χ^2 -квадрат, уровень значимости
avNN (мс)	709,2 (662,7; 802,3)	822,0 (710,25; 973,35)	766,0 (686,2; 892,0)	$\chi^2 = 7,692$, p = 0,021
VAR (мс)	386,4 (300,0; 620,1)	326,7 (228,95; 442,45)	286,4 (237,4; 612,2)	$\chi^2 = 4,423$, p = 0,110
SDNN (мс)	62,80 (50,00; 84,80)	55,50 (38,60; 71,85)	46,00 (37,60; 53,60)	$\chi^2 = 9,559$, p = 0,008
rMMSD (мс)	42,00 (24,00; 53,10)	32,20 (18,20; 48,80)	24,80 (16,60; 46,4)	$\chi^2 = 4,390$, p = 0,111
pNN50 (%)	8,60 (3,80; 22,50)	7,00 (0,75; 14,2)	1,60 (0,60; 5,40)	$\chi^2 = 9,939$, p = 0,007
nHF (%)	28,00 (17,80; 38,30)	20,60 (14,45; 42,35)	26,40 (12,20; 35,80)	$\chi^2 = 1,404$, p = 0,496
HF, мс ²	373,4 (118,6; 676,75)	596,0 (326,2; 1004,0)	212,6 (97,6; 429,2)	$\chi^2 = 12,486$, p = 0,002
LF, мс ²	1144,1 (444,0; 1921,25)	1578,6 (924,6; 3511,0)	607,2 (452,2; 1374,8)	$\chi^2 = 12,823$, p = 0,002
VLF, мс ²	1244,1 (547,5; 2670,25)	1790,4 (1166,0; 3233,4)	984,6 (656,4; 1251,2)	$\chi^2 = 10,056$, p = 0,007
LF/HF	3,91 (1,36; 5,67)	2,67 (1,69; 4,55)	3,03 (1,95; 7,54)	$\chi^2 = 1,609$, p = 0,477

взаимосвязь между средней продолжительностью сна и показателями ВСР — LF по 21-минутной записи ($r_s = 0,46$; $p = 0,037$), в первую ($r_s = 0,52$; $p = 0,015$) и во вторую ($r_s = 0,50$; $p = 0,021$) фазы эксперимента; VLF в первую ($r_s = 0,46$; $p = 0,039$) и во вторую ($r_s = 0,55$; $p = 0,012$) фазы эксперимента и HF во вторую фазу эксперимента ($r_s = 0,48$; $p = 0,027$). При введении поправки на возраст и уровень АД наличие данной взаимосвязи не подтвердилось.

Обсуждение

В настоящем исследовании для оценки показателей ВСР был выбран метод коротких записей ЭКГ с применением модифицированной активной ортостатической пробы, что обусловлено, во-первых, простотой и удобством использования, доступностью и безопасностью данного теста в рутинной, повседневной врачебной практике, а во-вторых, имеющимися данными о высокой прогностической ценности результатов, полученных по коротким записям ЭКГ [1, 5, 6, 12, 13]. В представленной работе были включены разные группы обследуемых, в том числе группа студентов, соответствующих по характеристикам лицам, наиболее часто принимающим участие в исследованиях по анализу ВСР. В то же время диапазон нормальных значений ВСР для различных групп здоровых лиц не установлен и может варьировать в зависимости от индивидуальных характеристик обследуемых и выбранного протокола обследования.

В соответствии с полученными нами данными, у обследованных условно здоровых жителей Санкт-Петербурга, отмечается разброс показателей ВСР в широком диапазоне величин, что согласуется с мнением других авторов о том, что индивидуальные показатели могут отличаться от установленной среднестатистической нормы [1, 2, 6].

Обращает на себя внимание, что во всех группах обследуемых отмечается снижение показателей высокочастотной составляющей спектра ВСР. Известно, что высокочастотные колебания сопряжены с дыханием и отражают преимущественно влияния парасимпатической системы на сердечную мышцу. Снижение высокочастотного компонента указывает на смещение баланса в сторону преобладания активности симпатического отдела вегетативной нервной системы [1, 5, 6]. Об этом говорит и величина отношения LF/HF, превышающая 2,0 во всех группах в ходе выполнения всех фаз эксперимента. Однонаправленное изменение показателей HF спектра и LF/HF во всех группах может свидетельствовать о влиянии особенностей проведения пробы, регистрации ЭКГ в положении сидя, в то время как существующие общепринятые нормы получены

при записи ЭКГ в покое в положении лежа. Аналогичные изменения частотных показателей ВСР зарегистрированы на всех этапах эксперимента.

При оценке низкочастотной составляющей спектра при проведении активной ортостатической пробы из исходного положения «сидя» в положение «стоя» не отмечено значимого прироста показателей LF ни в одной из групп. Возможно, это связано с невыраженной активностью вазомоторного центра при выполнении выбранного нами варианта функциональной пробы. При сравнении групп между собой в разные фазы эксперимента показатели LF были наиболее высокими в группе студентов как в первую, так и в третью фазы эксперимента. Аналогичные изменения наблюдались по показателю VLF только в третью фазу.

Получены данные о том, что нарушения сна, изменения его качества и продолжительности сопровождаются изменением показателей ВСР, преимущественно характеризующим повышение активности симпатического отдела нервной системы [14–16]. В подгруппе студентов обнаружена взаимосвязь продолжительности сна с частотными составляющими спектра ВСР, при этом у лиц с большей продолжительностью сна регистрируются более высокие значения LF-компонента спектра. С учетом того, что регрессионный анализ не подтвердил наличия данной связи, можно предположить, что связь продолжительности сна с вегетативной регуляцией в большей степени опосредована другими факторами, в частности, уровнем АД и влиянием возраста.

У лиц, обратившихся в сомнологическую лабораторию, отмечается снижение как показателей ВСР, характеризующих активность парасимпатической нервной системы, так и параметров, отражающих уровень активности симпатической нервной системы, при этом симпатовагальный индекс сопоставим с результатами, полученными в группе студентов и в эпидемиологической выборке, сравнимой с ними по возрасту. Это может отражать наличие дисбаланса вегетативной регуляции у лиц с сомнологическими жалобами даже в отсутствие явной соматической патологии, отчасти подтверждаемого и данными других исследователей [14–16].

Выводы

Проведение модифицированной активной ортостатической пробы с применением перехода из положения сидя в вертикальное положение и обратно является безопасным вариантом функционального тестирования и не сопровождается клинически значимым изменением показателей ВСР.

Особенности вегетативной регуляции и показателей ВСР в группах условно здоровых лиц различного возраста при применении модифицированной активной ортостатической пробы заключаются в относительном повышении активности симпатического отдела нервной системы, что отражается в снижении показателей высокочастотного спектра и повышении величины отношения LF/HF. С возрастом происходит снижение показателей высокочастотного спектра ВСР.

Характеристика обследуемых даже при отборе условно здоровых лиц имеет большое значение для анализа ВСР, при проведении которого спектр стандартных клинко-демографических показателей (возраст, пол и другие) требует расширения: в частности, в ряде случаев (в нашем исследовании — в подгруппе студентов) целесообразно учитывать среднюю продолжительность сна, его качество накануне обследования.

Благодарности

Авторы выражают благодарностью коллективу сотрудников ФГБУ «ФМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России, участвовавших в сборе данных в рамках исследования ЭССЕ: О. П. Ротарь, Е. В. Могучей, М. А. Бояриновой, Е. П. Колесовой, А. С. Алиевой, Н. А. Паскарь, Солдатенковой Н. А., Конради Ю. В., Левои Н. В., Парижской Е. Н., Темирову А. А., Карузину С. В.
Работа выполнена при поддержке гранта Российского фонда фундаментальных исследований № 14-07-00019.

Конфликт интересов / Conflict of interest

Авторы заявили об отсутствии потенциального конфликта интересов. / The authors declare no conflict of interest.

Список литературы / References

1. Баевский Р. М., Иванов Г. Г., Чирейкин Л. В. и др. Анализ variability сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем (методические рекомендации). Вестник аритмологии. 2001;24:65–87. [Bayevsky RM, Ivanov GG, Chireykin LV et al. Analysis of heart rhythm variability in different electrocardiograph systems (guidelines). Vestnik aritmologii. 2001;24:65–87.] [In Russian].
2. Heart rate variability. Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology (Membership of the Task Force listed in the Appendix). European Heart Journal. 1996;17:354–381.
3. Kraus U, Schneider A, Breitner S et al. Individual daytime noise exposure during routine activities and heart rate variability in adults: a repeated measures study. Environ. Health Perspect. 2013;121:607–612.
4. Ардашев А. В., Лоскутов А. Ю. Практические аспекты современных методов анализа variability сердечного ритма. М.: ИД «МЕДПРАКТИКА-М», 2010. 125 с. [Ardashev A. V., Loskutov A. Y. Practical issues of modern methods of heart rate variability analysis. Moscow: ID “MEDPRAKTIKA-M”, 2010. 125 p.] [In Russian].
5. Melillo P., Bracale M., Pecchia L. Nonlinear heart rate variability features for real-life stress detection. Case study: students under stress due to university examination. Biomed. Eng. Online. 2011;10:96. doi:10.1186/1475-925X-10-96
6. Михайлов В. М. Variability ритма сердца. Опыт практического применения. Иваново, 2000. 200 с. [Mikhailov V. M. Heart rate variability. An experience of practical use. Ivanovo, 2000. 200 p.] [In Russian].
7. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology: Heart rate variability, standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. Circulation. 1996;93:1043–1065.
8. Mancia G., Fagard R., Narkiewicz K. et al. 2013 ESH/ESC Guidelines for the management of arterial hypertension: the Task Force for the management of arterial hypertension of the European Society of Hypertension (ESH) and of the European Society of Cardiology (ESC). J. Hypertens. 2013;31(7):281–357.
9. Дубинина Е. А., Коростовцева Л. С., Ротарь О. П. и др. Взаимосвязь субъективных нарушений сна и эмоциональных жалоб (результаты скрининга в репрезентативной выборке взрослых жителей Санкт-Петербурга). Артериальная гипертензия. 2014;20(4):269–279. [Dubinina EA, Korostovtseva LS, Rotar OP et al. The association between self-reported sleep disorders and emotional complaints: the results of the screening study in adult St Petersburg citizens Arterial'naya Gipertenziya = Arterial Hypertension. 2014;20(4):269–279.] [In Russian].
10. Kripke D. F., Garfinkel L, Wingard D. L. et al. Mortality associated with sleep duration and insomnia//Arch. Gen. Psychiatry. 2002;59(2):131–136.
11. Карпенко Ю. Д. Изучение зависимости variability сердечного ритма от факторов внутренней и внешней среды. Фундаментальные исследования. 2011;10:619–623. [Karpenko YD. Research of heartbeat variability and different environment characteristics dependence//Fundamental studies. 2011;10:619–623.] [In Russian].
12. Kautzner J, Štoviček P, Anger Z, Savlikova J, Malik M. Utility of short-term heart rate variability for prediction of sudden cardiac death after acute myocardial infarction//Acta Univ. Palacki. Olomuc., Fac. Med. 1998;141:69–73.
13. Dekker JM, Schouten EG, Klootwijk P, Pool J, Swenne CA, Kromhout D. Heart rate variability from short electrocardiographic recordings predicts mortality from all causes in middle-aged and elderly men//Am. J. Epidemiol. 1997;145 (10):899–908.
14. Звартай Н. Э. Метаболические и нейрогуморальные изменения у больных с ожирением, артериальной гипертензией и синдромом обструктивного апноэ/гипопноэ во сне. Автореф. ... канд. мед. н. СПб., 2005. 20 с. [Zvartau NE Metabolic and neurohumoral changes in hypertensive, obese patients with obstructive sleep apnea syndrome. PhD thesis. St Petersburg, 2005. 20 p.] [In Russian].
15. Glos M, Fietze I, Blau A, Baumann G, Penzel T. Cardiac autonomic modulation and sleepiness: physiological consequences of sleep deprivation due to 40 h of prolonged wakefulness//Physiol Behav. 2014;125:45–53. doi: 10.1016/j.physbeh.2013.11.011.
16. Chouchou F, Pichot V, Pépin JL et al.; PROOF Study Group. Sympathetic overactivity due to sleep fragmentation is associated with elevated diurnal systolic blood pressure in healthy elderly subjects: the PROOF-SYNAPSE study. Eur Heart J. 2013;34 (28):2122–2131, 2131a. doi: 10.1093/eurheartj/ehd208.

Информация об авторах:

Бочкарёв Михаил Викторович — к. м. н., младший научный сотрудник рабочей группы по сомнологии ФГБУ «Федеральный медицинский исследовательский центр им. В. А. Алмазова» (ФМИЦ им. В. А. Алмазова) Минздрава России; Коростовцева Людмила Сергеевна — к. м. н., научный сотрудник рабочей группы по сомнологии ФМИЦ им. В. А. Алмазова; Татарaidze Александр Бидзинович — аспирант Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана (МГТУ им. Н. Э. Баумана); Алёхин Максим Дмитриевич — кандидат технических наук, лаборант МГТУ им. Н. Э. Баумана; Непран Виктория Игоревна — врач-ординатор ФМИЦ им. В. А. Алмазова; Семёнов Андрей Петрович — кардиолог кардиологического отделения № 2 ФМИЦ им. В. А. Алмазова; Сви́ряев Ю́рий Влади́мирович — д. м. н., руководитель рабочей группы по сомнологии ФМИЦ им. В. А. Алмазова.

Author information:

Bochkarev Mikhail — PhD, Junior researcher of the working group for the sleep of the Federal Almazov North-West Research Centre, St-Petersburg, Russia; Korostovtseva Lyudmila — PhD in medical Sciences, researcher of the working group on sleep medicine Federal Almazov North-West Research Centre, St-Petersburg, Russia; Tataraidze Alexander post — graduate of Moscow state technical University. N.Uh. Bauman (MGU im. N. Uh. Bauman); Alyokhin, Maxim — candidate of technical Sciences, laboratory assistant at MSTU. N.Uh. Bauman; Wrong Viktoriya — doctor-Intern at Federal Almazov North-West Research Centre, St-Petersburg, Russia; Semenov, Andrey — cardiologist of the cardiology Department № 2 of Federal Almazov North-West Research Centre, St-Petersburg, Russia; Sviryayev Yury Vladimirovich — MD, head of the working group on sleep medicine of the Federal Almazov North-West Research Centre, St-Petersburg, Russia