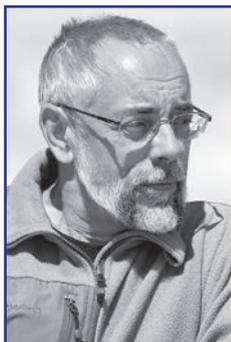


СРОЧНАЯ АДАПТАЦИЯ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ К ИНТЕНСИВНОЙ МЫШЕЧНОЙ РАБОТЕ НА РАВНИНЕ И В ВЫСОКОГОРЬЕ



ВОЙНОВ

Виктор Борисович

ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет», НИТЦ нейротехнологий (Ростов-на-Дону)
 Главный научный сотрудник,
 доктор биологических наук, e-mail:
 voinov05@mail.ru

VOYNOV Viktor

Southern Federal University
 Scientific and Technical Center of
 Neurotechnologies (Rostov-on-Don)

Chief Researcher, Doctor of Biological Sciences

ЛИТВИНЕНКО

Светлана Николаевна

Российский государственный университет физической культуры, спорта, молодежи и туризма (ГЦОЛИФК), Москва
 Доцент кафедры биохимии и биоэнергетики спорта им. Н.И. Волкова, доктор педагогических наук

LITVINENKO Svetlana

Russian State University of Physical Education, Sport, Youth and Tourism (SCOLIPE), Moscow
 Associate Professor, Department of Biochemistry and Bioenergetics of Sports, PhD

МИТРОФАНОВ Андрей Анатольевич

Российский государственный университет физической культуры, спорта, молодежи и туризма (ГЦОЛИФК), Москва
 Магистрант

MITROFANOV Andrey

Russian State University of Physical Education, Sport, Youth and Tourism (SCOLIPE), Moscow
 Post-graduate student

Ключевые слова: *вариабельность ритма сердца, спектры мощности ЭКГ, мышечная нагрузка, высокогорье, кардиокомплекс.*

Аннотация. Проводилось сравнение показателей ЭКГ в процессе напряженной мышечной работы на равнине и в высокогорье при ЧСС 147-165 уд/мин у 6 испытуемых. Спектральный анализ кардиоинтервалограммы показывает тенденции к преобладанию парасимпатических влияний в центральном контуре управления сердечным ритмом, что оказывает положительное влияние на экономичность поддержания гомеостаза в данных условиях. Отмечена деформация сегмента S-T и зубца Т кардиокомплексов как во время спортивной тренировки на равнине, так и в высокогорье, но в условиях высокогорного восхождения такая деформация развивается не сразу, а в процессе многочасовой нагрузки. Это говорит о том, что режим спортивной тренировки может предъявлять более высокие требования к работоспособности сердечной мышцы, чем высокогорное восхождение.

SHORT-TERM ADAPTATION OF THE CARDIOVASCULAR SYSTEM TO INTENSE MUSCULAR WORK ON THE PLAINS AND IN THE HIGHLANDS

Keywords: *heart rate variability, ECG power spectra, muscle load, highlands, cardiocomplex.*

Abstract. There was studied the comparison of ECG parameters in the process of intense muscular work on the plain and in the highlands at heart rate of 147-165 per minute in 6 subjects. Spectral analysis of the cardiointervalogram shows a tendency to the predominance of parasympathetic effects in the central circuit of heart rate control, which has a positive effect on the efficiency of maintaining homeostasis in these conditions. It is shown the deformation of the S-T segment and the T-wave of cardiocomplexes both during sports training on the plain and in the highlands, but in the conditions of high-altitude climbing such deformation develops not immediately, but in the process of many hours hiking. This suggests that the athletic training can impose higher requirements for the performance of the heart muscle than even Alpine climbing.

Актуальность. В процессе напряженной мышечной деятельности важную роль играет перестройка регуляции сердечного ритма, которая позволяет тонко подстраивать частоту и силу сердечных сокращений под потребности организма в кислороде [6, 7].

Разработка методов статистического и спектрального анализа распределения кардиоинтервалов дает возможность ассоциировать разнообразные феномены в работе сердца с деятельностью определенных контуров управления сердечным ритмом, как вегетативных (автономных), так и центральных, а также как симпатических, так и парасимпатических [2, 9].

При напряженной мышечной работе могут возникать ситуации, когда одинаковые или близкие по значению показатели ЧСС (частоты сердечных сокращений), особенно при нагрузках на пороге переносимости, обеспечиваются различными звеньями регуляции сердечного ритма, что проявляется в существенно различающихся значениях показателей вариационной пульсометрии (или variability ритма сердца, ВРС) [3, 7].

Значительный интерес представляют перестройки работы сердца в условиях высокогорья, когда физические нагрузки при подъеме вверх по склону сочетаются с выраженной гипоксией. Известно, что тренировки в низкогорье (или с искусственными гипоксикаторами) стали излюбленным методическим приемом повышения функциональной подготовленности спортсменов циклических видов спорта. Возможно, что фундаментальные исследования срочной адаптации к мышечным нагрузкам в высокогорье позволят разработать и соответствующие методики функциональной подготовки.

Современные технологии позволяют регистрировать кардиоинтервалограмму непосредственно в процессе спортивной деятельности, в том числе в условиях высокогорного восхождения. Однако, таких исследований крайне недостаточно, можно

сослаться лишь на исследование С.М. Рябцева, проведенное более 10 лет назад [8]. Преимущество длительной регистрации ЭКГ по методу Холтера еще и в том, что, помимо показателей ВРС, можно проводить визуальный и количественный анализ различных сегментов кардиокомплексов.

Таким образом, **целью проведенного исследования** было изучение показателей ЭКГ при интенсивной мышечной работе на равнине и в высокогорье.

Методика исследования. Регистрация ЭКГ по методу Холтера проводилась с помощью программно-аппаратного комплекса «Валента-МН-02-8.1» (ООО «Компания Нео», Санкт-Петербург). В исследовании принимали участие 6 испытуемых-добровольцев (5 мужчин и 1 женщина): 3 испытуемых были спортсмены высокой квалификации, которые выполняли тренировочную нагрузку на равнине (испытуемые 1, 2, 3); 3 испытуемых передвигались вверх по склону в горных условиях (испытуемые 4, 5, 6).

Для анализа ВРС выбирались участки записи ЭКГ с максимальной (пиковой) ЧСС и без артефактов в течение 30-60 минут мышечной работы от начала нагрузки. Визуальный анализ формы кардиокомплексов проводился на всей записи ЭКГ.

Результаты и обсуждение. Статистические показатели распределения кардиоинтервалов у разных испытуемых, проранжированных по максимальной ЧСС, представлены в таблице 1.

Анализируя данные таблицы 1, можно отметить высокий уровень индивидуализации реакции организма различных испытуемых на нагрузку, отмеченный ранее Н.И. Шлык [9]. В то же время, сопоставление испытуемых 3 и 4, имеющих одинаковые показатели максимальной ЧСС = 156 уд/мин, показывает, что достижение максимального значения частоты пульса может сопровождаться значительными различиями в показателях variability.

Так, значения СКО и CV у исп. 3 примерно на порядок превышали соответствующие значения у

Таблица 1 – Статистические показатели распределения R-R интервалов
(жирным шрифтом выделены максимальные значения показателя)

| Испытуемые | ЧСС (уд/мин) | Мода (Мо, мс) | Амплитуда моды (АМо, %) | Средняя длительность (мс) | СКО (мс) | Коэфф. вариации (CV) |
|------------|--------------|---------------|-------------------------|---------------------------|-------------|----------------------|
| 1 | 165 | 351 | 12,6 | 362 | 25,9 | 7,1 |
| 2 | 162 | 359 | 57,6 | 366 | 5,6 | 1,5 |
| 3 | 156 | 367 | 42 | 385 | 71,8 | 18,6 |
| 4 | 156 | 375 | 41,9 | 382 | 7,1 | 1,9 |
| 5 | 152 | 382 | 38,6 | 390 | 38,5 | 9,9 |
| 6 | 147 | 398 | 65,8 | 405 | 6,1 | 1,5 |

Таблица 2 – Спектральные характеристики кардиоинтервалограммы (серым цветом обозначены значения ниже нормативных, темно-серым – выше нормативных)

| Испытуемые | VLF (%) (норм. 18-40) | LF (%) (норм. 25-43) | HF (%) (норм. 21-51) | LF/HF (норм. 0,7-1,1) | IC=(LF+VLF)/HF (норм. <3,0) |
|------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------------|
| 1 | 31,2 | 10,9 | 54,6 | 0,20 | 0,77 |
| 2 | 9,1 | 18,2 | 72,7 | 0,25 | 0,38 |
| 3 | 1,1 | 9,0 | 89,7 | 0,10 | 0,11 |
| 4 | 47,8 | 8,7 | 30,4 | 0,29 | 1,86 |
| 5 | 19,8 | 27,5 | 51,9 | 0,53 | 0,91 |
| 6 | 44,4 | 11,1 | 33,3 | 0,33 | 1,67 |

исп. 4 (71,8 и 18,6 против 7,1 и 1,9 соответственно). Это может свидетельствовать о характере нагрузки (циклическом и ациклическом), о степени функциональной подготовки, а также о ее длительности. Хотя анализировались участки ЭКГ в первый час напряженной мышечной работы, однако управление сердечным ритмом различалось в зависимости от ее будущей продолжительности. Настрой на длительную многочасовую работу характеризовался генерацией «жесткого ритма» с высокой централизацией управления, в то время, как интенсивная мышечная нагрузка в течение 1,5 ч допускала менее выраженную центральную регуляцию частоты пульса.

Проведенные нами ранее исследования [4] показали, что характер перестройки управления ритмом сердца в высокогорье зависел от контекста деятельности. Если организм настраивался на длительную многочасовую мышечную работу, то показатели ВСР отличались от состояния, когда «скоро наступит отдых».

Результаты спектрального анализа последовательности R-R интервалов представлены в таблице 2.

Волны очень медленной частоты (VLF) с периодом более 25 с отражают влияния эрготропных гуморально-метаболических механизмов и в норме должны составлять 18-40% [2]. Из представленных данных видно, что у 2-х испытуемых эти показатели ниже нормы, у 2-х испытуемых они находятся в пределах нормативных значений, а у 2-х испытуемых превышают нормативные значения.

Волны медленной частоты (LF) с периодом от 7 до 25 с отражают активность симпатических центров продолговатого мозга. Их мощность в норме должна составлять 25-43% в спектре мощности всех гармоник. Как видно из данных таблицы 3, у всех испытуемых, кроме испытуемого 5, мощность спектра медленных волн была снижена.

Волны быстрой частоты (HF) с периодом 2,5–7 с возникают в связи с выраженностью в ЭКГ дыхательной аритмии. В нашем исследовании у всех испытуемых наблюдались средние или высокие

показатели мощности компонента HF, что, вероятно, было связано с интенсивными дыхательными движениями во время нагрузки. Анализируемый вид деятельности в высокогорье, особенно на начальном этапе подъема, характеризуется аэробной составляющей. Последняя, в зависимости от индивидуальной тренированности (долговременной адаптации к высокогорной гипоксии), выражается в разной степени частоты и (или) глубины дыхания.

Несмотря на высокие индивидуальные различия значений спектральных показателей мы отметили сходство в интегральных индексах, показывающих взаимосвязь отдельных контуров управления сердечным ритмом.

Так, при вычислении индекса LF/HF было видно (Таблица 3), что у всех испытуемых баланс симпатических и парасимпатических влияний смещен в сторону парасимпатических. Показатели индекса IC=(LF+VLF)/HF находились в пределах нормы у всех испытуемых. То есть, несмотря на индивидуальные вариации уровня симпатических и парасимпатических влияний, их соотношение представлено сходными значениями, что еще раз может свидетельствовать о типизации реакции обследуемых на нагрузку.

Анализируя спектральные показатели кардиоинтервалограммы, можно сделать вывод: в условиях напряженной мышечной работы как на равнине, так и в высокогорье, преобладают парасимпатические механизмы регуляции ритма сердца, которые, по-видимому, обеспечивают более экономичные режимы поддержания гомеостаза.

Нами были выявлены изменения формы сегмента S-T отдельных кардиокомплексов как коррелята гипоксического состояния миокарда. Обнаружено, что зубец T в условиях напряженной мышечной работы на равнине может приобретать остроконечную форму, становиться двухфазным или многофазным, что свидетельствует о процессах нарушения реполяризации миокарда при высоких значениях ЧСС (Рисунки 1, 2, 3).

Интересно, что в условиях высокогорного восхождения (гипоксии, низких температур и т.д.) появление двухфазного зубца Т наблюдалось не сразу, а после 5 часов работы (Рисунок 4).

Нами был выявлен эффект инверсии Т в постнагрузочном восстановлении после спортивной

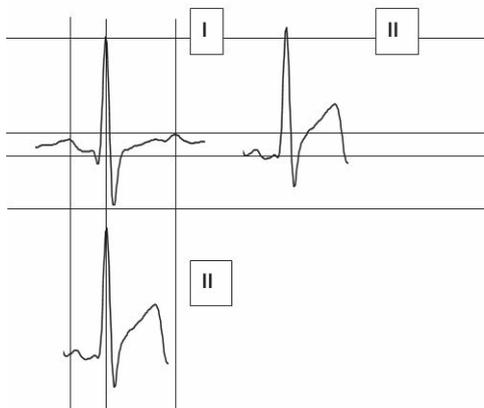


Рисунок 1 – Остроконечный зубец Т (исп. 1)
 I – Время регистрации ЭКГ 8:30, ЧСС=95 уд/мин, покой. II – Время регистрации ЭКГ 8:54, ЧСС=145 уд/мин, интервальная работа (частота шагов 162,2 шаг/мин)

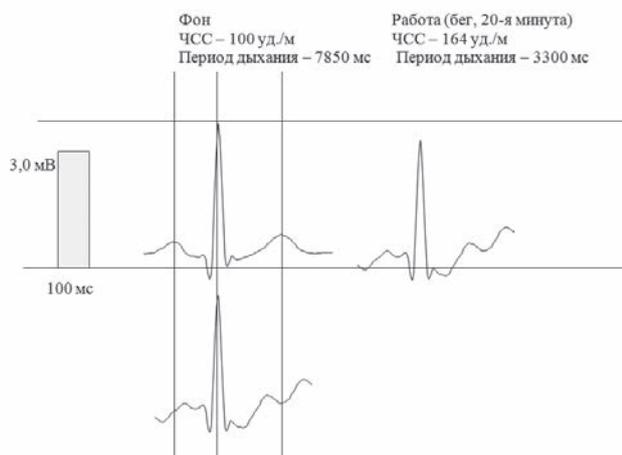


Рисунок 2 – Двухфазный зубец Т (исп. 2, пояснения на рисунке)

тренировки на равнине (Рисунок 5), что свидетельствовало об отставленном эффекте мышечной нагрузки [1, 5].

Выводы. Проведенное исследование показывает, что срочная адаптация к напряженной мышечной работе на равнине и в высокогорье

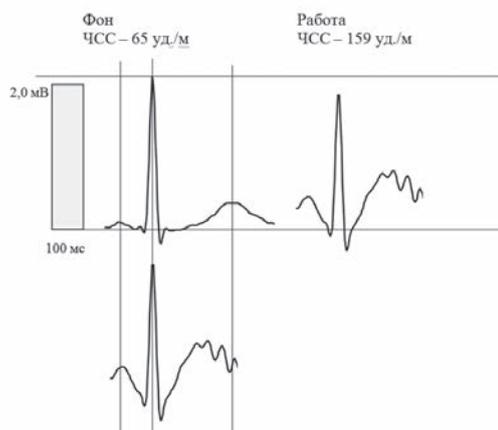


Рисунок 3 – Многофазный зубец Т (исп. 3, пояснения на рисунке)

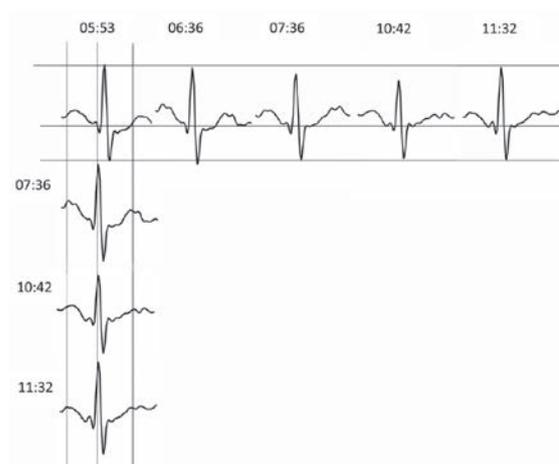


Рисунок 4 – Появление двухфазного зубца Т в процессе длительной работы (исп. 6, время записи 11:32 соответствует высоте 5600 м, перед выходом на вершину Эльбруса 5642 м)

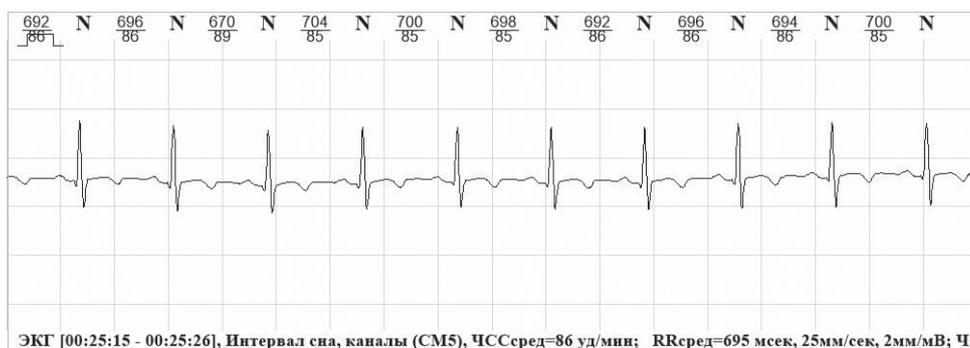


Рисунок 5 – Усиливающаяся инверсия Т-зубцов на фоне сна после тренировки (исп. 1, участок записи с 00:25:15 до 00:25:26)

характеризуется различными приспособительными перестройками в работе сердца.

Спектральный анализ кардиоинтервалограммы показывает тенденции к преобладанию парасимпатических влияний в центральном контуре управления сердечным ритмом, что, вероятно, связано со значительным влиянием дыхательного ритма и вовлечением вагусного нерва в его регуляцию. В целом, это оказывает положительное влияние на экономичность поддержания гомеостаза в условиях напряженной мышечной работы.

Отмечена деформация S-T-сегмента и последующего T-зубца ЭКГ как во время спортивной тренировки на равнине, так и в высокогорье. Но в условиях высокогорного восхождения такая деформация развивается значительно позже, после многочасовой нагрузки. В пострезультативном восстановлении на равнине во время ночного сна отмечена инверсия зубца T, свидетельствующая о кислородном голодании миокарда, хотя в условиях высокогорья таких феноменов не было. Это говорит о том, что режим спортивной тренировки предъявляет более высокие требования к механизмам срочной адаптации, к формированию специфических механизмов кислородного обеспечения работы организма в целом и сердечной мышцы в частности по сравнению с многочасовой работой в условиях высокогорной гипоксии, в том числе на начальном ее этапе.

Литература

1. Войнов, В.Б. Исследование сомнологических аспектов острой адаптации человека к высокогорью / В.Б. Войнов, Е.В. Вербицкий // Физиология человека. – 2014. – Т. 40, № 6. – С. 46–57.
2. Ковалева, А.В. Анализ variability ритма сердца и возможности его применения в психологии и психофизиологии / А.В. Ковалева, Е.Н. Панова, А.К. Горбачева // Современная зарубежная психология. – 2013. – № 1. – С. 35–50.
3. Лапкин, М.М. Значение изменчивости кардиоинтервалов при нагрузочном тестировании / М.М. Лапкин, А.Л. Похачевский // Физиология человека. – 2017. – № 1 (43). – С. 81–88.
4. Литвиненко, С.Н. Регуляция сердечного ритма в процессе акклиматизации к высокогорному восхождению / С.Н. Литвиненко, Ю.В. Байковский // Экстремальная деятельность человека, 2018. – № 3 (49). – С. 46–49.
5. Литвиненко, С.Н. Особенности кислородообеспечения мышечной деятельности лиц среднего возраста в условиях высокогорного восхождения / С.Н. Литвиненко, В.Б.

Войнов, Е.В. Вербицкий, З.Х. Шерхов // Теория и практика физической культуры. – 2017. – №7. – С. 38–40.

6. Михайлов, В.М. Variability ритма сердца: опыт практического применения метода / В.М. Михайлов. – Иваново: Иван. гос. мед. акад., 2002. – 288 с.

7. Похачевский, А.Л. Временной анализ распределения кардиоинтервалов при нагрузочном тестировании / А.Л. Похачевский // Патологическая физиология и экспериментальная терапия. – 2011. – № 2. – С. 34–40.

8. Рябцев, С.М. Холтеровское мониторирование ЭКГ у альпинистов при высокогорных восхождениях / С.М. Рябцев // Современные проблемы науки и образования. – 2007. – № 1. – С. 130–131.

9. Шлык, Н.И. К вопросу о методических подходах к анализу variability сердечного ритма / Н.И. Шлык, Е.Н. Сапожникова // Педагогико-психологические и медико-биологические проблемы физической культуры и спорта. – № 6 (1/2008).

Literature

1. Voynov, V.B. Study of the somnological aspects of a person's acute adaptation to high mountains / V.B. Voynov, E.V. Verbitsky // Human Physiology. – 2014. – V. 40, № 6. – P. 46–57.
2. Kovaleva, A.V. Analysis of heart rate variability and the possibility of its use in psychology and psychophysiology / A.V. Kovaleva, E.N. Panova, A.K. Gorbachev // Modern foreign psychology. – 2013. – № 1. – P. 35–50.
3. Lapkin, M.M. The value of the variability of cardiointervals under load testing / M.M. Lapkin, A.L. Pokhachevsky // human physiology. – 2017. – № 1 (43). – P. 81–88.
4. Litvinenko, S.N. Heart rate regulation in the process of acclimatization to high-mountain ascent / S.N. Litvinenko, Yu.V. Baikovskiy // Extreme human activity, 2018. – № 3 (49). – P. 46–49.
5. Litvinenko, S.N. Peculiarities of oxygen supply for muscular activity of middle-aged persons in conditions of high-mountain ascent / S.N. Litvinenko, V.B. Voynov, E.V. Verbitsky, Z. Kh. Sherkhov // Theory and practice of physical culture. – 2017. – №7. – P. 38–40.
6. Mikhailov, V.M. Heart rate variability: the experience of practical application of the method / V.M. Mikhailov. – Ivanovo: Ivan. state honey. Acad., 2002. – 288 p.
7. Pokhachevsky, A.L. Time analysis of the distribution of cardiointervals under load testing / A.L. Pokhachevsky // Pathological physiology and experimental therapy. – 2011. – № 2. – P. 34–40.
8. Ryabtsev, S.M. Holter ECG monitoring in climbers during high mountain ascents / S.M. Ryabtsev // Modern problems of science and education. – 2007. – № 1. – P. 130–131.
9. Shlyk, N.I. On the issue of methodological approaches to the analysis of heart rate variability / N.I. Shlyk, E.N. Sapozhnikova // Pedagogical, psychological and medicobiological problems of physical culture and sport. – № 6 (1/2008).