

УДК 612.796.071:577

Динамика восстановления функционального состояния организма после истощающей физической нагрузки

Э.С. Питкевич, Г.Б. Шацкий, В.Г. Шпак, Н.А. Макарова
Учреждение образования «Витебский государственный университет
имени П.М. Машерова»

В работе анализируются влияние динамической нагрузки на показатели variability сердечного ритма (ВСР) и функциональное состояние организма.

Цель – обоснование способа объективного определения скорости восстановления после тренировочного сеанса.

Материал и методы. Исследование проводилось на базе Витебского государственного медицинского университета в марте–апреле 2012 года. С использованием программно-аппаратного комплекса (ПАК) «Омега-М» обследованы 13 студентов II курса, не занимающихся систематически физическими упражнениями.

Результаты и их обсуждение. Оценка изменений функционального состояния организма по показателям ВСР выявила, что относительно кратковременная физическая нагрузка изменяет состояние вегетативной нервной системы на достаточно продолжительное время. Снижение тонуса парасимпатического отдела и преобладание тонуса симпатического отдела подтверждаются изменениями всех показателей ВСР. Соотношение волн высокой и низкой частот свидетельствует о снижении влияния на кровообращение как парасимпатического, так и симпатического компонентов сосудодвигательного центра. Индекс напряжения и интегральный показатель состояния организма количественно характеризуют степень напряжения регуляторных систем и падение функциональных резервов организма. Падение уровня интегрального состояния организма составляет 43,8%, индекс напряжения возрастает многократно. На таком уровне данные показатели сохраняются до 12 минут после прекращения физической нагрузки. Субъективное представление участников эксперимента о наступившем восстановлении и возможности повторного тестирования формируется тогда, когда эти показатели еще не достигли исходного уровня.

Заключение. Применение ПАК «Омега» позволило объективно оценить степень индивидуального снижения потенциала организма при выполнении работы «до отказа». Динамика восстановления работоспособности нелинейная и занимает более продолжительное время, при этом возникает субъективное ощущение готовности повторить физическую работу в прежнем темпе и мощности.

Ключевые слова: variability сердечного ритма, функциональное состояние, программно-аппаратный комплекс «Омега-М».

Dynamics of Recovery of the Functional Condition after Exhausting Exercise Stress

E.S. Pitkevich, G.B. Shatsky, V.G. Shpak, N.A. Makarova
Educational Establishment «Vitebsk State P.M. Masherov University»

Influence of an inertial reaction on indicators of the variability of cardiac rhythm (VCR) and the functional conditions is analyzed in the work.

The purpose is justification of the way of objective identification of the recovery rate after a training session.

Material and methods. The research was conducted on the base of Vitebsk State Medical University in March-April, 2012. Using the hardware and software system (HSS) of «Omega-M» we examined 13 second year students which are not engaged in systematic physical exercises.

Findings and their discussion. The assessment of changes of the functional condition according to indexes of VCR showed that rather short-term exercise stress changes the condition of vegetative nervous system to rather long time. Decrease in the tone of parasympathetic department and dominance of the tone of sympathetic department is confirmed by changes of all indexes of VCR. The ratio of waves of high and low frequencies, demonstrates decrease in influence on blood circulation of both parasympathetic, and sympathetic components of the vasomotor center. The index of tension and the integral index of the condition of the organism quantitatively characterize the rate of strain of regulatory systems and falling of the functional reserves of the organism. Decrease of the level of the integral condition of the organism was 43,8%, the index of tension increases multiply. At such level these indexes remain up to 12 minutes after the termination of the exercise stress. Subjective idea of the experiment participants of the come recover and possibility of repeated testing is formed when these indexes do not reach the datum level yet.

Conclusion. Application of HSS «Omega-M» made it possible to estimate the objective extent of individual decrease in the potential of when performing work «to the full». Dynamics of the recovery is non-linear and takes longer time, than there is a subjective feeling of readiness to repeat physical activity at the former speed and power.

Key words: variability of cardiac rhythm, functional state, hardware-software Omega-M complex.

Вопросы функционального состояния организма спортсмена, определения его спортивной готовности, возможности достижения прогнозируемого результата были и остаются приоритетными в спорте высших достижений. С 1960-х годов [1] были разработаны методы оценки регуляции физиологических функций, основанные на распознавании и измерении временных отрезков между RR-интервалами электрокардиограммы с построением динамических рядов кардиоинтервалов, получивших название «Вариабельность сердечного ритма (ВСР)» [2]. Благодаря тесной связи симпатического и парасимпатического отделов вегетативной нервной системы и гуморальных влияний, обеспечивающих достижение оптимальных результатов адаптации организма к изменяющимся условиям внешней и внутренней среды [2–4], метод ВСР нашел широкое применение во многих областях медицины, в том числе и спортивной. Оценка показателей вариабельности сердечного ритма позволяет прогнозировать физические возможности спортсменов, решать вопросы отбора для занятий спортом, более рационально строить режим тренировок и осуществлять контроль за функциональным состоянием спортсменов [3]. Программно-аппаратный комплекс «Омега-М», получивший в настоящее время широкое применение в спортивной медицине, предназначен для контроля следующих показателей функционального состояния организма: уровни готовности, анаболизма, катаболизма, энергетического обеспечения, тонус вегетативной нервной системы, вегетативная реактивность. Положительными качествами комплекса являются:

- чувствительность, специфичность, надежность;
- соответствие показателей международным стандартам оценки функционального состояния организма и физиологической интерпретации;
- объективность информации (идентичность регистрации при обследовании различных пациентов обеспечивается стандартными программами ПАК «Омега»);
- визуализация получаемой информации и результатов анализа в процессе и при завершении исследования;
- сравнимость показателей различных лиц, возможность динамических наблюдений.

Особая ценность метода связана с выдачей интегральных характеристик состояния организма в текущий момент времени в процентном соотношении с абсолютным соответствием идеальному. Помимо традиционных показателей

ВСР, система «Омега-М» характеризует состояние организма по следующим тестам: А – уровень адаптации организма, %; В – показатель вегетативной регуляции, %; С – показатель центральной регуляции, %; D – психоэмоциональное состояние, %; H – интегральный показатель функционального состояния, %. Исследования автономной регуляции сердечного ритма подтверждают, что колебания статистических характеристик вариабельности сердечного ритма раньше, чем другие функциональные показатели, сигнализируют о чрезмерности нагрузки, так как нервная и гуморальная регуляция кровообращения изменяются раньше, чем выявляются энергетические, метаболические и гемодинамические нарушения [5]. Программа «Омега-М» производит автоматическую обработку данных 50 параметров ВСР, формирует их графическое представление и выводит интегральный показатель Health состояния организма.

Цель – обоснование способа объективного определения скорости восстановления после тренировочного сеанса.

Материал и методы. Исследование проводилось в Витебском государственном медицинском университете в марте–апреле 2012 года. Выполнено 143 обследования 13 студентов II курса лечебного факультета, не занимающихся спортом, с физической нагрузкой исключительно на занятиях физкультурой. Группа была однородной по возрастному признаку. Обследование проводили в одни и те же дни недели и время суток. Для сравнительного анализа показателей применялся режим динамического наблюдения с экспортом полученных данных в таблицы «Excel». Статистическая обработка данных осуществлялась с использованием компьютерной программы «Excel». Результаты выражены медианой и средней статистической ошибкой.

На первом этапе обследования в положении сидя в условиях относительного покоя в области запястий накладывались электроды (I стандартное отведение ЭКГ – левая рука, правая рука) и снимались показатели функционального состояния на данный момент. После выполнения работы в виде приседаний до отказа следовали повторные обследования. Для оценки функционального состояния организма использованы следующие показатели аппаратно-компьютерного комплекса «ОМЕГА»: частота сердечных сокращений (ЧСС), уд/мин; интегральный показатель функционального состояния (Health) %; мода, мс; вариационный размах (dX), мс; высокочастотный компонент спектра (HF), мс²; низкочастотный компонент спектра

(LF), мс^2 ; соотношение частот спектра (LF/HF); полный спектр частот (Total); индекс напряженности (ИН), у.е.; стандартное отклонение разностей соседних RR-интервалов (SDSD), мс.

Мода отражает доминирующий уровень функционирования синусового узла, при синпатотонии мода минимальна, при ваготонии – максимальна.

Вариационный размах вычисляется как разница между максимальным и минимальным значениями RR-интервалов, чем он выше, тем сильнее выражено влияние вагуса на ритм сердца.

Высокие частоты отражают влияние парасимпатического отдела ВНС на модуляцию сердечного ритма, а **низкие частоты** – преимущественно влияние симпатико-адреналовой системы. Соотношение симпатических и парасимпатических влияний характеризуется с помощью отношения мощностей **LF/HF**. При повышении тонуса симпатического отдела данный показатель значительно возрастает, при ваготонии – снижается.

Индекс напряжения регуляторных систем (нормальные значения ИН – 10–100) характеризует, в основном, активность симпатического отдела вегетативной нервной системы и снижение вагусных влияний на ритм сердца. При эмоциональном стрессе и физической работе значения ИН увеличиваются до 300–500 единиц.

SDNN (standard deviation of the NN interval) зависит от влияния на синусовый узел симпатического и парасимпатического отделов ВНС. Увеличение или уменьшение этого показателя свидетельствует о смещении вегетативного баланса в сторону преобладания одного из отделов вегетативной нервной системы.

Результаты и их обсуждение. Объем и мощность выполненной нагрузки составили: работа – $283,4 \pm 72,1$ Дж; мощность – $179,1 \pm 54,8$ Вт; количество приседаний – $54,0 (38–77) \pm 11,0$. Изменения показателей функционального состояния организма представлены в табл.

Общая продолжительность обследования после нагрузки составила 1714,8 сек (28,6 мин). В течение всего этого времени сохранялась тахикардия, обусловленная снижением тонуса парасимпатического отдела вегетативной нервной системы (показатель SDSD) и повышением тонуса симпатического отдела (ИН, мода, Δx). В момент завершения физической нагрузки отмечалось достоверное снижение активности как автономного (ядра блуждающего нерва и сердечно-сосудистого центра продолговатого мозга), так и центрального контуров регуляции гемодинамики (включает кору и подкорковые структуры головного мозга).

Таблица

Динамика восстановления показателей функционального состояния организма после физической нагрузки

Исходное состояние	ЧСС	Health	Мода	Δx	HF	LF	LF/HF	ИН	SDSD
	79,0 \pm 7,8	66,7 \pm 21,2	720 \pm 77,3	292 \pm 84,2	696,8 \pm 856,7	843,4 \pm 676,6	1,8 \pm 2,5	65,8 \pm 143,5	0,036 \pm 0,018
После завершения физической нагрузки									
	115,6\pm12,3	29,8\pm19,5	510,8\pm69,6	192\pm66,9	235,6 \pm 398,1	221,1\pm198,4	2,2 \pm 2,1	251,2\pm170,9	0,013\pm0,01
Продолжительность периода восстановления после завершения нагрузки, с									
175.1 (сек)	102,8\pm12,3	22,9\pm14,2	569,2\pm71,5	133,6\pm49,7	128,4\pm181,3	215,4\pm163,7	2,42 \pm 1,64	460,9\pm270,8	0,012\pm0,006
352.4 (сек)	101,5\pm12,0	29,2\pm17,5	578,5\pm75,9	138,8\pm45,9	118,9\pm214,1	256,4\pm142,1	4,6 \pm 3,9	371,8\pm209,7	0,012\pm0,008
537.0 (сек)	97,5\pm9,8	27,9\pm13,3	593,8\pm62,9	142,5\pm35,9	102,2\pm128,9	286,5\pm198,4	4,7 \pm 4,09	381,7\pm197,1	0,012\pm0,005
728.9 (сек)	93,8\pm8,5	43,2\pm16,3	615,4\pm64,4	179,2\pm53,2	147,4\pm140,2	552,1 \pm 284,1	7,06 \pm 8,74	263,1\pm226,2	0,015\pm0,006
921.8 (сек)	93,3\pm8,1	51,4 \pm 14,3	624,6\pm60,1	211,4\pm57,1	151,2 \pm 175,2	764,9 \pm 362,7	7,7\pm5,4	184,8 \pm 123,2	0,016\pm0,006
1117.0 (сек)	92,2\pm7,6	52,9 \pm 17,3	633,8\pm65,0	211,4\pm54,8	195,5 \pm 160,5	776,7 \pm 606,8	5,4\pm4,3	172,8 \pm 110,7	0,018\pm0,006
1314.6 (сек)	91,1\pm7,8	54,6 \pm 16,7	633,8\pm60,8	208,8\pm60,8	175,4 \pm 134,8	926,3 \pm 731,6	8,4\pm8,2	173,9 \pm 111,4	0,018\pm0,006
1514.8	89,9\pm7,5	53,5 \pm 10,2	643,1\pm57,6	207,9\pm43,5	199,9 \pm 123,4	817,1 \pm 517,0	5,4\pm3,1	151,9 \pm 41,5	0,019\pm0,005
1714.8 (сек)	89\pm8,1	58,4 \pm 13,2	643,1\pm66,3	219,5\pm47,3	223,6 \pm 174,9	938,5 \pm 609,9	5,9\pm3,7	140,4 \pm 57,2	0,02\pm0,006

Примечание: выделены статистически достоверные различия по отношению к исходным данным. $t > 2,1$; $p < 0,05$.

Активность автономного контура регуляции остается пониженной в течение всего эксперимента и совпадает во времени с преобладанием тонуса симпатической нервной системы. Активация центральных структур регуляции проявилась через 726,9 сек. По оценке состояния организма испытуемые считали возможным с этого момента выполнить повторную физическую нагрузку в связи с субъективным представлением о достижении исходного уровня готовности, который объективно достигает в этот момент только 64,7% исходного. Анализ динамики интегрального показателя (Health) свидетельствует о снижении функциональных возможностей организма на 38,8% в течение 5–6 минут после предельной физической нагрузки, через 175,1 сек достигается максимальное падение (на 43,8%). Анализ индивидуальных реакций на нагрузку показывает, что минимальное падение функционального состояния организма составило 4,6% от индивидуального исходного уровня, максимальное снижение – до 76%. Во всех наблюдениях отмечено снижение функциональных возможностей организма после нагрузки. Фаза интенсивного (быстрого) восстановления начинается непосредственно после максимального снижения и продолжается 12–15 минут.

По данным литературы (Е.А. Гаврилова, 2014) высокое функциональное состояние организма спортсмена обеспечивается автономной регуляцией, вариабельностью функционирования, снижением симпатической регуляции и централизации управления [4]. Рост вариабельности и активности автономного контура регуляции на РКГ манифестируется показателями Mo, dx, HF, TP, NNSO, SDNN. По данным Н.И. Шлык (1992) умеренное преобладание автономной регуляции позволяет приступить к спортивной подготовке [6]. Мобилизация организма при проведении пробы с нагрузкой более выражена при исходном преобладающем парасимпатическом тоне.

Я.В. Велибековым и А.Д. Викуловым (2008) выполнено исследование по изучению динамики процесса восстановления организма после велоэргометрической пробы с дискретным обследованием через 30 минут [7]. Частота сердечных сокращений возрастала от 61.0 уд/мин до 93.27 уд/мин в момент окончания пробы и приблизилась к исходному через 60–90 мин. Сразу после окончания нагрузки отмечены снижение мощности спектра более чем в 3 раза и четырехкратное увеличение отношения LF/HF. Приближение показателей волновой структуры

спектра к исходному произошло к 60 мин. Таким образом, активность вагуса проявилась уже на первом часу периода восстановления. А.И. Босенко (2011) отмечено, что динамика ЧСС и ИН в процессе тренировки с различной нагрузкой не совпадают. Важным выводом из результатов исследования является положение о том, что нагрузки разной интенсивности могут сопровождаться одинаковыми изменениями ЧСС, но вызывают различные изменения в состоянии регуляции и ЧСС не является показателем, который полностью характеризует влияние физических нагрузок на функциональные состояния организма [8].

Заключение. Применение ПАК «Омега» позволило объективно, с количественным определением потенциала организма, от максимального в 100%, характеризующего отличное состояние, оценить степень индивидуального снижения при выполнении нагрузки, которая регламентируется самооценкой невозможности продолжить работу в заданном темпе. Динамика восстановления исходной работоспособности не имеет линейной характеристики и занимает более продолжительное время, при этом возникает субъективное восприятие достижения возможности продолжить физическую работу в прежнем темпе и мощности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ларин, В.В. Космическая кардиология / В.В. Ларин, Р.М. Баевский, Ю.Н. Волков, О.Г. Газенко. – Л.: Медицина, 1967. – 206 с.
2. Баевский, Р.М. Вариабельность сердечного ритма: теоретические аспекты и возможности клинического применения / Р.М. Баевский, Г.Г. Иванов // Новые методы электрокардиографии / под ред. С.В. Грачева, Г.Г. Иванова, А.Л. Сыркам. – М.: Техносфера, 2007. – С. 473–498.
3. Михайлов, В.М. Вариабельность ритма сердца. Опыт практического применения метода / В.М. Михайлов. – Иваново, 2000. – 200 с.
4. Гаврилова, Е.А. Ритмокардиография в спорте: монография / Е.А. Гаврилова. – СПб.: Изд-во СЗГМУ, 2014. – 164 с.
5. Баевский, Р.М. Математический анализ изменений сердечного ритма при стрессе / Р.М. Баевский, О.И. Кириллов, С.З. Клецкин. – М.: Наука, 1984. – 250 с.
6. Шлык, Н.И. Сердечный ритм и центральная гемодинамика при физической активности у детей: автореф. дис. ... д-ра биол. наук: 03.00.13 / Казан. гос. мед. ин-т. – Казань, 1992. – 58 с.
7. Велибеков, Я.В. Регуляция сердечной деятельности и интенсивность процесса восстановления у спортсменов высокой квалификации / Я.В. Велибеков, А.Д. Викулов // Вариабельность сердечного ритма: теор. аспекты и практ. применение: тез. докл. Всерос. симпозиума с междунар. участием, 19–21 нояб. 2008 г. – Ижевск, 2008. – С. 63–65.
8. Босенко, А.И. Особенности регуляции сердечного ритма гимнастов при выполнении специфических нагрузок / А.И. Босенко // Вариабельность сердечного ритма: теор. аспекты и практ. применение: материалы V Всерос. симпозиума с междунар. участием, Ижевск, 26–28 окт. 2011 г. – Ижевск, 2011. – С. 219–218.

REFERENCES

1. Larin V.V., Bayevsky R.M., Volkov Yu.N., Gzenko O.G. *Kosmicheskaya kardiologiya* [Space Cardiology], L., Meditsina, 1967, 206 p.
2. Bayevsky, R.M., Ivanov G.G. *Noviye metody elektrokardiografii* [New Methods of Electrocardiography], M., Tekhnosfera, 2007, pp. 473–498.
3. Mikhaylov V.M. *Variabelnost serdechnogo ritma. Opyt prakticheskogo primeneniya metoda* [Variability of Heart Rate. Experience of Practical Application of the Method], Ivanovo, 2000, 200 p.
4. Gavrilova E.A. *Ritmokardiografiya v sporte: monografiya* [Rhythm Cardiology in Sports: Monograph], SPb., Izd-vo SZGMU, 2014, 164 p.
5. Bayevsky P.M., Kirillov O.I., Kletskin S.Z. *Matematicheskii analiz izmenenii serdechnogo ritma pri stresse* [Calculus of Changes of Cardiac Rate at a Stress], M., Nauka, 1984, 250 p.
6. Shlyk N.I. *Serdechnii ritm i tsentralnaya gemodinamika pri fizicheskoi aktivnosti u detei: avtoreferat dis. ... doktora biologicheskikh nauk. Kazanski gos. med. in-t* [Cardiac Rate and Central Hemodynamic of Children during Physical Activity: Summary of Dr.Sc. (Biology) Dissertation. Kazan State Medical Institute], Kazan, 1992, 58 p.
7. Velibekov YA.V., Vikulov A.D. *Tezisi dokladov Vserossiiskogo simpoziuma s mezhdunarodnym uchastiyem, 19–21 noyab. 2008 goda* [Summaries of Reports of All-Russian Symposium with International Participation, November 19–21, 2008], Izhevsk, 2008, pp. 63–65.
8. Bosenko A.I. *Materiali V Vserossiiskogo simpoziuma s mezhdunarodnym uchastiyem, 26–28 okt. 2011 g.* [Materials of the Vth All-Russian Symposium with International Participation, October 26–28, 2011], Izhevsk, 2011, pp. 219–218.

Поступила в редакцию 05.04.2016

Адрес для корреспонденции: e-mail: ktimkism@vsu.by – Питкевич Э.С.