

ВЛИЯНИЕ ВОЗРАСТАЮЩИХ ДОЗИРОВАННЫХ ФИЗИЧЕСКИХ НАГРУЗОК НА ПАРАМЕТРЫ РИТМА СЕРДЕЧНЫХ СОКРАЩЕНИЙ

Д.Л. Оглоблин, Е.С. Ашуркова

Выявлены типичные закономерности и некоторые индивидуальные особенности изменений параметров РС под влиянием физической нагрузки (имитация велопередвижений со скоростью 20 и 25 км/ч). При увеличении физической нагрузки чётко прослеживается переход от автономного контура регуляции к центральному, судя по ригидности РС и выраженным волнам 4-го порядка, охватывающим 30-40 сердечных циклов.

Исследования ритмической активности физиологических систем организма – вопрос актуальный и современный, поскольку данная проблема является малоисследованной, если не считать изученности ритма сердечных сокращений. Научным заделом данной проблемы следует считать учение Н.Е. Введенского (1889) о ритмической активности нервно-мышечной системы, нашедшей свое выражение в телефонных эффектах. Не менее важной вехой разрабатываемого направления являются и теоретические положения А.А. Ухтомского [6] о принципиальной ритмичности всех активных процессов и усвоения ритма, а также положения М.Р. Могендовича [4] о возможности усвоения ритма в гетерохронных структурах нервной системы. Наконец, небезызвестная гипотеза Н.И. Аринчина [1] о так называемом «внутримышечном периферическом сердце», явившаяся своеобразным обобщением предыдущих положений и направленная на освещение роли ритмической активности скелетной мускулатуры в ее рабочей гиперемии. Положения о ритмической активности вегетативных функций находят свое выражение в теории биологических фракталов [5;7], показывающей эволюционную разнонаправленность ритмических изменений соматической и висцеральной систем.

Цель работы – дать физиологическую оценку изменениям ритмической активности сердца в зависимости от двух уровней физической нагрузки при работе испытуемых на велотренажёре.

Методика. Регистрация ритма сердечных сокращений проводилась посредством специальной компьютерной программы «Pulse», осуществляющей длительную запись сердечных циклов с использованием пульсотохметра 0-84 и преобразующего устройства. В основу математической обработки результатов был положен анализ длительности стационарных процессов, отнесенных нами к ритму сердечных сокращений. При этом автоматически по компьютерной программе «Excel» рассчитывались параметры ритма сердца (РС) в виде интервалограммы с вычислением математического ожидания (X), среднестатистической ошибки (m), стандартного отклонения (δ) и дисперсии (D) с построением графиков интервалограмм и полигонов распределения [2]. Для установления внутренней связи изучаемых процессов проводилось вычисление количественной характеристики автокорреляционной функции (корреляции внешних интервалов по первому сдвигу – r_1) и построение соответствующих графиков. В качестве фрактальной характеристики РС как колебательного процесса использовался вычисляемый автоматически по специально разработанной компьютерной программе коэффициент Харста [3].

Эксперименты проведены с участием в качестве испытуемых 8 мужчин (в возрасте 18-27 лет), у которых после 8-10 мин привыкания в положении сидя на

велотренажере «Proteus» регистрировались 120 циклов сердечных сокращений с визуальным их воспроизведением и построением кривой распределения на мониторе. Затем в течение 5 мин испытуемые выполняли физическую работу в виде имитации езды со скоростью 20 км/ч (1-я серия экспериментов) и 25 км/ч (2-я серия), поддерживая скорость посредством визуальной ориентации на данные длительности сердечных циклов (ДСЦ), непрерывно регистрируемых компьютером. Помимо показателей «пройденного пути» и скорости движения регистрировались соответствующие энергозатраты в калориях и работа в ваттах. В 1-й серии исследований проведено 11 опытов и 10 – во 2-й, воспроизведено и проанализировано 84 массива ритмокардиограммы с последующей компьютерной обработкой.

Результаты и их обсуждение. В 1-й серии опытов установлено, что на 1-й мин работы ДСЦ закономерно ($p < 0,01$) уменьшается, показатель M_0 на 1-й мин работы уменьшается до 0,588 с ($p < 0,01$) по сравнению с исходными данными, составляющими 0,734 с. К концу работы показатели ДСЦ и M_0 продолжают снижаться и составляют соответственно 0,510 и 0,502 с. В период восстановления ДСЦ увеличивается до 0,689 с, но исходного значения не достигает. Показатель M_0 приближается к исходным данным при восстановлении и составляет 0,680 с. Показатель aM_0 к началу работы увеличивается до 57 %, тогда как в исходном состоянии он равен 51 %. Показатель ΔX в начале работы остается практически неизменным по сравнению с исходными данными (0,407 с). К концу работы наблюдается тенденция к уменьшению aM_0 до 50 % и ΔX до 0,240 с. В период восстановления показатель aM_0 по сравнению со значениями в исходном состоянии значительно ниже (44,5 %). Показатель ΔX увеличивается лишь на сотые доли по сравнению с окончанием работы (0,278 с). Дисперсия ДСЦ (D) в начале работы остается практически неизменной, а к концу работы наблюдается тенденция к ее уменьшению с 0,005 до 0,003 с. Количественный параметр автокорреляционной функции РС (r_1) в исходном состоянии равен 0,547 О.Е., в начале работы он увеличивается до 0,717 О.Е., к моменту ее окончания снижается до 0,105 О.Е., а при восстановлении значение r_1 практически совпадает со значением в исходном состоянии, несколько превышая его (0,576 О.Е.).

Определенный интерес представляло выяснение тесноты связей исследуемых параметров РС. Так, в 1-й серии экспериментов при движении со скоростью 20 км/ч в исходном состоянии прослеживается 6 статистически значимых корреляций, в начале работы – 7 корреляций, в конце работы – 8 корреляций, в период восстановления – 12 корреляций. Таким образом, выполнение работы в 1-й серии способствует повышению тесноты связей исследуемых параметров, что косвенно свидетельствует о росте напряжения системы регуляции ритма сердечных сокращений.

Во 2-й серии исследований при движении со скоростью 25 км/ч (2-я ступень нагрузки) ДСЦ в исходном состоянии составляет 0,722 с, показатель M_0 – 0,718 с. ДСЦ и M_0 на 1-й мин работы достоверно ($p < 0,01$) снижаются до 0,526 и 0,506 с и к моменту окончания работы уменьшаются до 0,402 и 0,398 с, а в период восстановления ДСЦ и M_0 увеличиваются до 0,550 и 0,549 с. Величина aM_0 в исходном состоянии – 44,6 %, значения ΔX в исходном состоянии равны 0,306 с, в начале работы они увеличиваются до 55,7 % и 0,442 с, а в конце работы достоверно уменьшаются до 46,1 % и 0,186 с. При восстановлении значения aM_0 практически совпадают с исходными данными, несколько превышая их (45,8 %), ΔX в период восстановления уменьшается до 0,186 с. Показатель D , равный в исходном состоянии 0,005 с, на 1-й мин работы увеличивается до 0,006 с, в конце работы D снижается до 0,002 с, в период восстановления увеличивается до 0,006 с. Показатель r_1 в начале работы увеличивается до 0,75 О.Е., по сравнению с исходными данными

Таблица 1

Физическая нагрузка при 20 км/ч

	Возраст	Сердце								Нагрузка		Пульс	Вт	МПК	Пок. Харста		CV%	
		Д.С.Ц.	М	Si	Mo	aMo	X	D	r1	EX	L				к	X		m
Исходное состояние																		
X	22,9	0,730	0,005	0,048	0,736	51,1	0,324	0,003	0,563	4,411	1,59	58,41	83,9	130	4,87	0,872	0,018	6,928
m	0,673	0,032	0,001	0,008	0,029	4,133	0,053	0,001	0,071	1,758	0,036	1,148	3,912	2,108	0,384	0,043	0,001	1,422
Si	2,234	0,107	0,002	0,026	0,098	13,707	0,174	0,003	0,235	5,831	0,120	3,806	12,974	6,992	1,272	0,144	0,004	4,717
D	4,989	0,011	4·10 ⁻⁶	0,001	0,01	187,9	0,03	1·10 ⁻⁵	0,055	33,997	0,014	14,485	168,3	48,889	1,618	0,021	2·10 ⁻⁵	22,253
Начало работы																		
X	22,9	0,574	0,007	0,074	0,539	56,7	0,396	0,006	0,736	2,843	1,59	58,41	104,7	130	4,87	0,947	0,014	12,824
m	0,673	0,010	0,001	0,008	0,072	5,608	0,063	0,001	0,083	1,118	0,038	1,204	1,726	2,211	0,402	0,057	0,002	1,411
Si	2,234	0,030	0,002	0,025	0,228	17,733	0,199	0,004	0,262	3,536	0,120	3,806	5,458	6,992	1,272	0,180	0,006	4,461
D	4,989	0,001	5·10 ⁻⁶	0,001	0,052	314,46	0,04	1·10 ⁻⁵	0,068	12,506	0,014	14,485	29,789	48,889	1,618	0,032	4·10 ⁻⁵	19,902
Конец работы																		
X	22,9	0,505 ^{1,2}	0,004	0,041	0,498 ¹	47,5	0,243	0,003	0,106 ¹	1,820	1,59	58,41	119,7	130	4,87	0,832	0,021	8,259
m	0,673	0,016	0,001	0,011	0,020	5,480	0,080	0,001	0,084	1,003	0,038	1,204	3,553	2,211	0,402	0,066	0,002	2,337
Si	2,234	0,050	0,003	0,036	0,063	17,329	0,253	0,004	0,266	3,171	0,120	3,806	11,24	6,992	1,272	0,210	0,006	7,391
D	4,989	0,003	1·10 ⁻⁶	0,001	0,004	300,28	0,064	2·10 ⁻⁵	0,071	10,06	0,014	14,485	126,2	48,889	1,618	0,044	4·10 ⁻⁵	54,626
Восстановление																		
X	22,9	0,673 ³⁴	0,004	0,041	0,66 ⁴	41	0,227	0,002	0,581 ⁴	1,018	1,59	58,41	90,6	130	4,87	1,019	0,021	6,105
m	0,673	0,027	0,001	0,006	0,029	2,683	0,031	0,001	0,073	0,543	0,038	1,204	3,862	2,211	0,402	0,060	0,002	0,770
Si	2,234	0,085	0,002	0,018	0,091	8,485	0,097	0,002	0,230	1,718	0,120	3,806	12,213	6,992	1,272	0,190	0,007	2,434
D	4,989	0,007	3·10 ⁻⁶	0,0003	0,008	72	0,009	4·10 ⁻⁶	0,053	2,952	0,014	14,485	149,16	48,889	1,618	0,036	5·10 ⁻⁵	5,922

Примечание. Здесь и далее: ¹ – достоверные различия между группами 1-3, ² – между группами 2-3, ³ – между группами 2-4, ⁴ – между группами 3-4 при P<0,01.

Таблица 2

Физическая нагрузка при 25 км/ч

	Воз- раст	Сердце									Нагрузка		Пульс	Вт	МПК	Пок. Харста		CV%
		Д.С.Ц.	М	Si	Mo	aMo	X	D	rI	EX	L	к				X	m	
Исходное состояние																		
X	23,444	0,703	0,003	0,038	0,707	44,3	0,220	0,002	0,459	2,301	2,044	74,356	85,9	169,1	3,567	0,852	0,017	5,350
m	0,503	0,022	0,000	0,005	0,023	2,794	0,033	0,000	0,096	1,124	0,018	0,361	2,821	0,512	0,155	0,072	0,003	0,586
Si	1,509	0,065	0,001	0,015	0,068	8,382	0,098	0,001	0,289	3,372	0,053	1,084	8,462	1,537	0,466	0,217	0,008	1,758
D	2,278	0,004	2·10 ⁻⁶	0,0002	0,005	70,25	0,010	2·10 ⁻⁶	0,084	11,370	0,003	1,175	71,611	2,361	0,218	0,047	1·10 ⁻⁴	3,092
Начало работы																		
X	23,444	0,519	0,006	0,066	0,507	57,8	0,412	0,005	0,769	7,864	2,044	74,356	115,7	169,1	3,567	0,873	0,011	12,524
m	0,503	0,009	0,001	0,011	0,012	2,957	0,081	0,002	0,059	2,152	0,018	0,361	1,965	0,512	0,155	0,057	0,003	1,836
Si	1,509	0,027	0,003	0,033	0,036	8,871	0,243	0,006	0,178	6,455	0,053	1,084	5,895	1,537	0,466	0,172	0,008	5,508
D	2,278	0,001	1·10 ⁻⁵	0,001	0,001	78,694	0,059	4·10 ⁻⁵	0,032	41,663	0,003	1,175	34,750	2,361	0,218	0,030	1·10 ⁻⁴	30,334
Конец работы																		
X	23,444	0,403 ¹²	0,003	0,032	0,400 ¹²	43,2	0,194 ²	0,002 ²	0,011 ¹²	2,991	2,044	74,356	149,4	169,1	3,567	0,775	0,023	7,915
m	0,503	0,008	0,001	0,008	0,008	5,354	0,062	0,001	0,135	2,238	0,018	0,361	3,185	0,512	0,155	0,048	0,004	2,012
Si	1,509	0,025	0,002	0,025	0,025	16,061	0,187	0,002	0,406	6,714	0,053	1,084	9,554	1,537	0,466	0,145	0,012	6,036
D	2,278	0,001	5·10 ⁻⁶	0,001	0,001	257,9	0,035	4·10 ⁻⁶	0,165	45,071	0,003	1,175	91,278	2,361	0,218	0,021	1·10 ⁻⁴	36,427
Восстановление																		
X	23,444	0,544	0,002	0,023	0,543	45,4	0,124	0,001	0,272	3,380	2,044	74,356	110,8	169,1	3,567	0,928	0,024	4,105
m	0,503	0,014	0,0003	0,003	0,014	3,637	0,029	0,0002	0,107	2,840	0,018	0,361	2,994	0,512	0,155	0,083	0,003	0,509
Si	1,509	0,042	0,001	0,009	0,042	10,910	0,086	0,0005	0,320	8,521	0,053	1,084	8,983	1,537	0,466	0,250	0,008	1,528
D	2,278	0,002	1·10 ⁻⁶	0,0001	0,002	119,03	0,007	2·10 ⁻⁷	0,103	72,615	0,003	1,175	80,694	2,361	0,218	0,063	1·10 ⁻⁴	2,334

(0,457 О.Е.), в конце работы он достигает отрицательного значения (-0,005 О.Е.), а при восстановлении приближается к исходным (0,300 О.Е.).

Во 2-й серии экспериментов при скорости 25 км/ч в исходном состоянии прослеживается 8 статистически значимых корреляций, в начале работы – 11 корреляций, в конце работы – 12 корреляций, а в период восстановления – 8 корреляций.

При движении со скоростью 20 км/ч испытуемые проходили в среднем путь 1,6 км, а при скорости 25 км/ч путь составлял около 2 км (табл. 1,2А). В соответствии с пройденным путем испытуемыми была затрачена энергия, составившая 58,5 кал при скорости 20 км/ч и 73,5 кал при скорости 25 км/ч.

Наши исследования показали, что у большинства испытуемых в регуляции РС преобладает влияние симпатической нервной системы. Так, при мышечной работе симпатикотония усиливается и все механизмы регуляции РС работают согласованно и напряженно, судя по увеличению числа корреляционных зависимостей между параметрами РСС. Это в определённой степени связано с «пройденным расстоянием» и соответствующими энерготратами. Вероятно, основная причина, которая обуславливает повышение ЧСС в процессе выполнения работы постоянной мощности, – это повышение энергетической стоимости работы. Уменьшение ДСЦ, равносильное увеличению ЧСС, прежде всего свидетельствует о постоянном изменении вегетативного равновесия. При работе повышался тонус симпатической нервной системы. При движении со скоростью 20 км/ч достоверно выражено снижение ДСЦ и его дисперсности при работе. Данная реакция, вероятно, обусловлена повышением тонуса симпатической нервной системы, о чём свидетельствует и динамика автокорреляционной функции, судя по r_1 . При работе на 2-й ступени (25 км/ч) r_1 оказывается повышенным больше, чем при работе на 1-й ступени, синусовая аритмия выражена меньше, график автокорреляционной функции пересекает нулевую линию дальше на 10 О.Е. Следовательно, при работе на 2-й ступени помимо симпатической нервной системы оказываются задействованы центры вегетативных функций более высоких порядков.

Заключение. На основе компьютерного анализа проведены исследования параметров РС при относительном покое и в условиях двухступенчатой физической нагрузки. Выявлены типичные закономерности и некоторые индивидуальные особенности изменений параметров РС под влиянием физической нагрузки (имитация велопередвижений со скоростью 20 и 25 км/ч). Установлено, что в условиях лабораторной физической нагрузки по мере её увеличения наблюдается естественный рост энерготрат и длина «пройденного пути». Соответственно увеличивается напряжение регуляторных механизмов сердца с переходом на симпатикотонические формы управления, о чём свидетельствует учащение РС (укорочение ДСЦ, увеличение aM_0 в системе статистического распределения РС, повышение взаимосвязи смежных интервалов и появление волн типа Траубе-Геринга на АКФ). Данное напряжение проявляется также в увеличении количества межпараметрических связей, поскольку так называемая жесткость связей является признаком напряжения любой регуляторной системы. Естественно, что при увеличении физической нагрузки чётко прослеживается переход от автономного контура регуляции к центральному, судя по ригидности РС и выраженным волнам 4-го порядка, охватывающим 30-40 сердечных циклов. Результаты проведенных исследований позволяют научно обосновать и сформулировать практические рекомендации по использованию ступенчато повышающейся нагрузки в качестве теста для изучения особенностей ритмической активности сердца человека в условиях трудовой и спортивной деятельности. В качестве основных критериев следует использовать количественные параметры работоспособности и ритма сердечных сокращений, а также характер межпараметрических корреляций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аринчин Н.И. Роль экстракардиальных факторов в регуляции артериального давления // Съезд Всесоюз. физиол. общества им. И.П. Павлова. Баку, 1983. Т.1. С.255.
2. Баевский Р.М. Кибернетика в медицине и физиологии. М., 1982.
3. Белякова Е.А. Физиологическая характеристика ритмической активности сердца и кровеносных сосудов головы человека: Дис. ... канд. биол. наук. Тверь, 2003.
4. Могендович М.Р. Моторный анализатор и вегетативная нервная система // Моторно-висцеральные координации и их нарушения. Пермь, 1969. Т. 95, вып. 9. С. 18-33.
5. Сандер Л. Фрактальный рост // В мире науки. 1987. № 3. С. 62-70.
6. Ухтомский А.А. Собрание сочинений. Л., 1951. Т.1,4.
7. Голдбеер Л., Ригни Р., Уэст Дж. Хаос и фракталы в физиологии человека // В мире науки. 1990. № 4. С. 25-32.

INFLUENCE OF INCREASING PHYSICAL LOADINGS ON THE RHYTHM PARAMETERS OF CARDIAC CONTRACTIONS

D.L. Ogloblin, E.A. Ashurkova

Typical patterns and some individual peculiarities in the change of the rhythm parameters of cardiac contractions (CC) under the physical loading (imitation of cycling with 20 and 25 km/h) have been revealed. A shift from autonomic regulating contour to the central one under the loading increasing has been recorded. It is expressed by the rigidity of CC and by the pronounced waves of the 4th degree spanning over 30-40 heart cycles.