

ФИЗИОЛОГИЯ ТРУДА

УДК 612.172.2

ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОСВЕННОГО УПРАВЛЕНИЯ РИТМОМ СРЕДЦА ПОСРЕДСТВОМ АУРАЛЬНОГО ЕГО ИМИТАТОРА

М.Н. Горшкова, Е.А. Белякова, Д.И. Игнатъев

Тверской государственной университет

Реакции сердечно-сосудистой системы испытуемых на ауральные ритмические раздражения зависят от индивидуальных особенностей данной системы. У обеих испытуемых увеличивается вариабельность деятельности сердца к моменту окончания воздействия, что можно объяснить с одной стороны снижением тонуса симпатического отдела вегетативной нервной системы, с другой стороны – включением ряда компенсаторных реакций в сложной системе двойственной регуляции ритма сердечных сокращений. Сближение ряда исследуемых показателей в момент окончания серий может быть рассмотрено как свидетельство модулирующего влияния на работу сердца исследуемых ритмических раздражителей.

Ключевые слова: ритм сердца, ауральный раздражитель, автокорреляционная функция, коэффициент вариативности, мода, дисперсия.

Введение. Произвольное управление функциями сердца в настоящее время признано невозможным, вопрос же о различных формах косвенного, например аурального, воздействия остается открытым. В этом плане следует учитывать, что при совпадении частоты звуковой волны с частотой изменений физических характеристик того или иного органа, и, естественно, сердца, вполне вероятно явление механического резонанса, оказывающее на орган стимулирующее воздействие [2].

Под влиянием ритмичных раздражителей (световых, звуковых или электрических), по характеру близких к доминирующей частоте активности головного мозга, может проявляться феномен усвоения ритма (навязанного) с последующей его интенсификацией [5–8]. В основе указанного явления лежит физиологическая лабильность, определяемая как способность ткани воспроизводить определенное количество возбуждений за единицу времени в соответствии с ритмом наносимых раздражений [1]. Не исключено, что под действием навязанного ритма у слушателей возникает доминирующая частота сердечной активности, обусловленная, по всей вероятности, эмоциональным состоянием индивида [3; 4; 9].

Цель работы – физиологическая оценка возможностей

косвенного управления ритмической активностью сердца посредством аурального раздражителя, имитирующего сердечный ритм и определяющего вероятные направления его вариаций.

Материал и методика. Эксперимент проведен с участием в качестве испытуемых двух практически здоровых, физически не тренированных женщин 28 и 30 лет – преподавателей университета. У них дважды проводилась трехсерийная регистрация ритма сердца (РС) по специальной компьютерной программе «Pulse», с использованием пульсотомера О-84 и преобразующего устройства, позволяющего делать компьютерные расчеты параметров РС.

В 1-й серии опытов (контрольной) испытуемые в положении сидя прослушивали ритм собственного сердца, трансформированный в звуковые сигналы пульсотомера, за экспериментально установленное время, идентичное длительности воздействий во 2 и 3-й сериях, состоящих из пяти этапов длительностью по 2 минуты.

Во 2-й серии они прослушивали озвученный пульсотомером собственный РС в исходном состоянии (1-й этап). На 2-м этапе озвучивание собственного ритма прекращалось, включалось ритмичное воздействие компьютерным метрономом, настроенным на частоту сердечных сокращений (ЧСС) испытуемого, пониженную на 10 ударов. На 3-м этапе частота метронома понижена на 20, на 4-м – на 30 ударов, затем, после трехминутного отдыха, в течение которого испытуемый слышал собственный пульс, вновь осуществлялась двухминутная регистрация сердечного ритма (5-й, восстановительный этап).

В 3-й серии на 1-м этапе опытов (исходное состояние) испытуемые также прослушивали озвученный пульсотомером собственный РС, на 2-м этапе, как и в 1-й серии включался метроном, настроенный на ЧСС испытуемого, но уже повышенную на 10 ударов, на 3-м этапе частота метронома повышалась на 20 ударов, на 4-м – на 30 ударов. После 3-х мин отдыха, аналогичного исследованиям 2-й серии, вновь регистрировался двухминутный сердечный ритм испытуемого (5-й этап).

По программе «Pulse» автоматически рассчитывались параметры РС в виде числа циклов кардиоинтервалограммы (КИГ) в соответствии со временем работы на каждой ступени нагрузки (2 мин). Вычислялись математическое ожидание ДСЦ (X) и его ошибка (m), стандартное отклонение (S), дисперсия (D), мода (Mo) и ее амплитуда (aMo), а также коэффициент вариативности ДСЦ (Cv). Предусматривалась демонстрация КИГ с построением полигонов распределения интервалов, а для установления внутренней связи изучаемых процессов проводились расчет и графическая регистрация автокорреляционной функции (АКФ) с анализом коэффициента корреляции по первому сдвигу массива (r_1). Для описания хаосогенности данных ритмических процессов РС вычислялся нормированный размах по методу Харста (H),

как характеристика фрактальной размерности КИГ. Сопряженность изменений параметров РС определялась посредством лонгитудинальных корреляций. В опыте участвовали испытуемые с экспериментально определенными ранее неидентичными реакциями сердца на ауральный ритмичный раздражитель (снижение или повышение ЧСС).

Результаты и их обсуждение. У испытуемой Г. под влиянием экспериментального раздражителя проявлялась тенденция к изменению РС пропорционально ритму сигналов (рис. 1, табл. 1). При имитации замедленного РС ЧСС снижалась, при учащении – повышалась

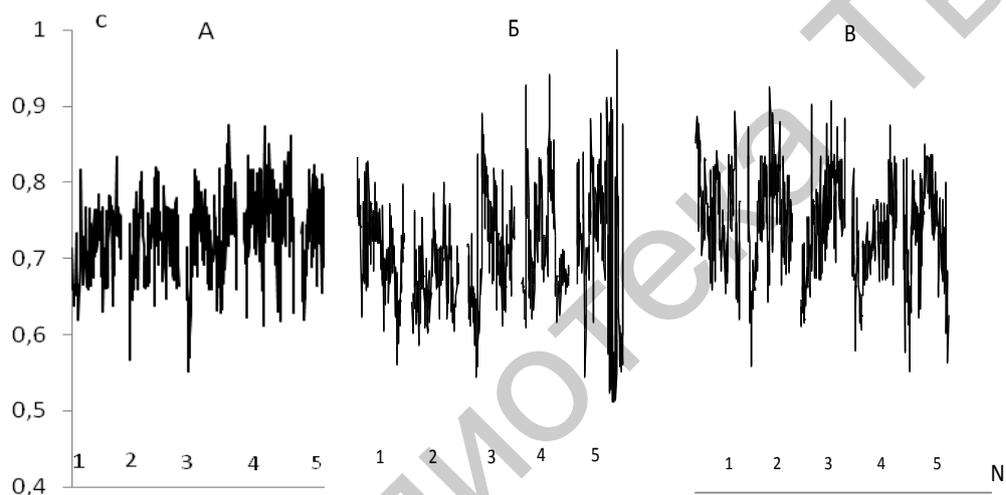


Рис. 1. Ритмограмма испытуемой Г., 28 лет:
А – в контрольной серии, Б – при замедлении навязанного ритма,
В – при учащении; 1–5 – этапы эксперимента

В контрольной серии отмечена тенденция ЧСС к урежению с последующей стабилизацией на 4 и 5-м этапах регистрации. РС. При этом на 2- и 4-м этапах отмечено повышение M_0 , с последовательным возрастанием $A M_0$. D незначительно повышается на 3- и 5-м этапах. Показатель фрактальной размерности (по Харсту), повышается на 2- и 4-м этапах, снижаясь при заключительном прослушивании собственного РС, r_1 , повышаясь на 3-м этапе, к моменту восстановления вновь снижается, до значения, близкого к исходному. Показатель S_v возрастает на 3-м этапе, снижается на 4-м и вновь повышается при восстановлении. Показатели X и его $a M_0$ свидетельствуют о несколько повышенном исходном тоне симпатического отдела вегетативной нервной системы, что подтверждается большим числом лонгитудинальных корреляций динамики показателей РС, нежели на других этапах. Волнообразное изменение фрактальной размерности, r_1 , и S_v может быть проявлением ориентировочного рефлекса, вызванного

обстановкой эксперимента.

Таблица 1

Парметры РС у испытуемой Г., 28 лет в трехсерийном эксперименте

Серия	Параметры	Этапы эксперимента				
		1	2	3	4	5
А	X, с	0,714 ±0,003	0,729 ±0,003	0,728 ±0,004	0,761 ±0,004	0,757 ±0,004
	Mo, с	0,714	0,764	0,716	0,768	0,719
	aMo, с	23,566 ±3,387	27,388 ±3,559	31,210 ±3,698	34,395 ±3,791	2,484 ±3,737
	D, с ²	0,002	0,002	0,003	0,002	0,003
	H, О.Е.	1,116 ±0,027	0,676 ±0,029	0,784 ±0,012	0,657 ±0,017	0,738 ±0,015
	Cv, %	5,903 ±1,881	6,071 ±1,906	7,350 ±2,083	6,073 ±1,906	7,001 ±2,037
	r1, О.Е.	0,555 ±0,063	0,575 ±0,061	0,603 ±0,058	0,403 ±0,076	0,483 ±0,069
Б	X, с	0,702 ±0,003	0,679 ±0,003	0,710 ±0,005	0,712 ±0,005	0,711 ±0,008
	Mo, с	0,717	0,712	0,727	0,662	0,741
	aMo, с	27,485 ±3,414	23,395 ±3,237	18,713 ±2,982	33,333 ±3,605	27,485 ±3,645
	D, с ²	0,002	0,002	0,005	0,004	0,011
	H, О.Е.	0,649 ±0,019	0,865 ±0,033	1,123 ±0,023	0,668 ±0,021	0,899 ±0,014
	Cv, %	6,527 ±1,889	6,114 ±1,832	9,711 ±2,264	8,695 ±2,155	14,657 ±2,888
	r1, О.Е.	0,189 ±0,088	0,445 ±0,073	0,643 ±0,053	0,677 ±0,049	0,373 ±0,078
В	X, с	0,756 ±0,005	0,744 ±0,005	0,741 ±0,005	0,721 ±0,004	0,724 ±0,005
	Mo, с	0,785	0,822	0,735	0,714	0,725
	aMo, с	18,293 ±3,156	22,560 ±3,264	23,170 ±3,295	31,097 ±3,615	20,732 ±3,165
	D, с ²	0,003	0,003	0,003	0,002	0,004
	H, О.Е.	0,777 ±0,021	0,918 ±0,012	1,092 ±0,018	0,921 ±0,018	0,999 ±0,009
	Cv, %	7,499 ±2,150	8,006 ±2,119	8,048 ±2,124	6,768 ±1,961	8,655 ±2,196
	r1, О.Е.	0,627 ±0,055	0,727 ±0,043	0,505 ±0,068	0,607 ±0,058	0,564 ±0,062

Примечание. А– контроль, Б, – имитация замедленного ритма, В – учащенного ритма.

Во 2-й серии эксперимента с имитацией замедленного ритма X снижается на 2-м этапе опыта, на 3-м повышается, превосходя исходное

значение, и образуя плато до завершения эксперимента (рис. 2).

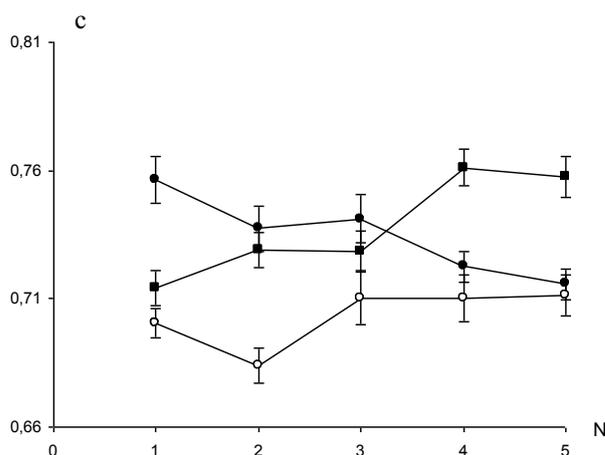


Рис. 2. Изменения ДСЦ (X) испытуемой Г., 28 лет:
темные квадраты – контроль; светлые кружки – имитация замедленного ритма,
темные – имитация ускоренного ритма

Mo изменяется волнообразно, уменьшаясь на 2- и 4-м этапах, аMo снижается на 3-м этапе, возрастает на 4-м и при восстановлении снижается до исходного уровня. D повышается на 3-м этапе, снижается на 4-м и значительно повышается при восстановлении. Фрактальная размерность значительно снижается на 3-м этапе, возрастает на 4-м и вновь снижается при восстановлении. $r1$ постепенно возрастает к 4-му этапу и снижается при восстановлении, не достигая, однако, исходного уровня. Sv возрастает к 3-му этапу, снижается на 4-м и возрастает при восстановлении. В данной серии изменения значений X, Sv и D, а также уменьшение количества лонгитудинальных корреляций (с 4 до 1) свидетельствуют о снижении тонуса симпатического отдела вегетативной нервной системы (табл. 2). Однако изменения значений $r1$ и аMo указывают на возможное наличие переходного процесса.

В эксперименте с имитацией ускоренного ритма X снижается на 4-м этапе, практически не меняясь при восстановлении. Mo повышается на 2-м этапе, снижается к 4-му, при восстановлении снова возрастает, не достигая, однако, исходного уровня. аMo возрастает к 4-му этапу и снижается при восстановлении не достигая исходного уровня. D незначительно снижается к 4-му этапу, при восстановлении вновь возрастает, превышая исходный уровень. Фрактальная размерность снижается к 3-му этапу, несколько повышается к 4-му и вновь снижается при восстановлении, оставаясь ниже исходного значения. Sv повышается на 2 и 3-м этапах, снижаясь на 4-м и вновь возрастая при восстановлении. Показатель $r1$ возрастает на 2-м этапе, на 3-м уменьшается ниже исходного уровня, вновь возрастает на 4-м и снижается при восстановлении, не достигая исходного уровня.

Изменения X , aMo , Cv , а также увеличение количества лонгитудинальных корреляций свидетельствуют об усилении симпатического тонуса, хотя этому противоречат значения фрактальной размерности и $r1$.

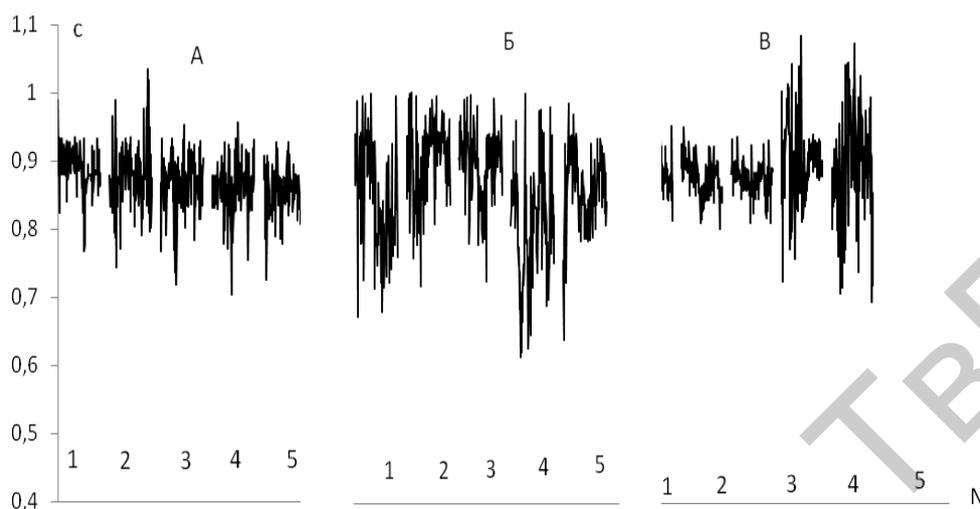
Таблица 2

Корреляции изменений параметров РС
испытуемой Г., 28 лет в процессе эксперимента

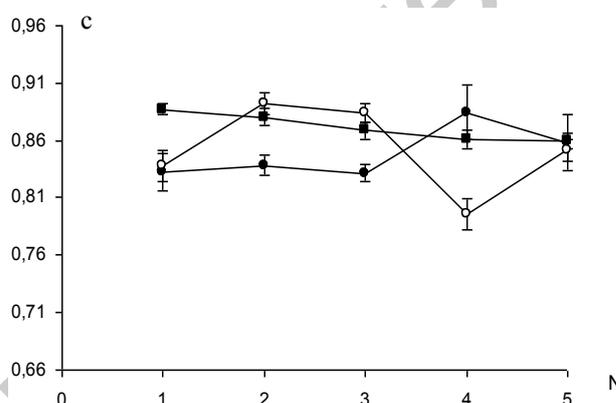
		X	Mo	aMo	D	H	Cv	r1
А	X	-	-	-	-	-	-	-
	Mo	-	-	-	-	-	-	-
	aMo	0,893	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-
	H	-	-	-0,778	-	-	-	-
	Cv	-	-	-	0,974	-	-	-
	r1	-0,846	-	-	-	-	-	-
Б	X	-	-	-	-	-	-	-
	Mo	-	-	-	-	-	-	-
	aMo	-	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-
	H	-	-	-	-	-	-	-
	Cv	-	-	-	0,994	-	-	-
	r1	-	-	-	-	-	-	-
В	X	-	-	-	-	-	-	-
	Mo	-	-	-	-	-	-	-
	aMo	-	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-0,759	-	-	-	-
	H	-	-	-	-	-	-	-
	Cv	-	-	-	-	-	-	-
	r1	-	0,794	-	-	-	-	-

Примечание. А – контрольная серия, Б – имитация замедленного ритма, В – имитация учащенного ритма.

У испытуемой М., 30 лет, в контрольном эксперименте для значения X характерно постепенное снижение со 2-го по 5-й этап (рис. 3, 4; табл. 3).



Р и с . 3 . Ритмограмма испытуемой М., 30 лет:
А – контроль, Б – при замедлении, В – при учащении навязанного ритма;
1–5 – этапы эксперимента



Р и с . 4 . Изменения ДСЦ (X) испытуемой М., 30 лет:
темные квадраты – контроль; светлые кружки – имитация замедленного,
темные – ускоренного ритма

Для M_0 характерно повышение с последующим снижением на 2–5-м этапах контрольной серии эксперимента аналогично изменению и H . S_v возрастает на 2-м этапе, снижается на 3-м, незначительно возрастает на 4-м и вновь снижается при восстановлении, оставаясь, однако, выше исходного уровня. r_1 снижается на 2 и 3-м этапах, принимая при этом отрицательные значения, возрастает на 4-м, и вновь снижается при восстановлении. Таким образом, X , aM_0 и S_v , а также меньшее количество лонгитудинальных корреляций, по сравнению с остальными этапами, говорит о нормотонии, хотя изменение r_1 свидетельствует о некотором напряжении механизма регуляции РС.

Таблица 3

Изменения показателей РС у испытуемой М., 30 лет,
в трехсерийном эксперименте

Серия	Параметры	Этапы эксперимента				
		1	2	3	4	5
А	X, с	0,887 ±0,002	0,880 ±0,004	0,868 ±0,003	0,861 ±0,004	0,859 ±0,003
	Mo, с	0,879	0,883	0,879	0,877	0,845
	aMo, с	58,461 ±4,32	53,077 ±4,36	47,692 ±4,38	40,00 ±4,297	32,308 ±4,102
	D, с ²	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001
	H, О.Е.	1,101 ±0,045	0,873 ±0,033	0,786 ±0,025	0,987 ±0,024	0,640 ±0,016
	Cv, %	3,242 ±1,553	5,31 ±1,967	4,370 ±1,793	4,472 ±1,813	4,033 ±1,725
	r1, О.Е.	0,122 ±0,899	-0,027 ±0,091	-0,021 ±0,091	0,111 ±0,090	0,037 ±0,091
Б	X, с	0,838 ±0,006	0,892 ±0,005	0,884 ±0,004	0,796 ±0,007	0,851 ±0,005
	Mo, с	0,860	0,896	0,881	0,825	0,886
	aMo, с	25,954 ±3,830	28,244 ±3,933	31,298 ±4,051	24,427 ±3,754	32,061 ±4,078
	D, с ²	0,006	0,003	0,002	0,007	0,003
	H, О.Е.	1,196 ±0,025	1,059 ±0,016	1,093 ±0,033	1,088 ±0,026	0,871 ±0,014
	Cv, %	8,953 ±2,494	6,187 ±2,105	5,283 ±1,954	10,215 ±2,646	6,155 ±2,099
	r1, О.Е.	0,389 ±0,077	0,315 ±0,082	0,462 ±0,072	0,659 ±0,051	0,649 ±0,053
В	X, с	0,832 ±0,006	0,838 ±0,004	0,832 ±0,003	0,884 ±0,012	0,858 ±0,012
	Mo, с	0,848	0,874	0,844	0,795	0,783
	aMo, с	45,384 ±4,367	27,692 ±3,925	32,308 ±4,102	39,231 ±4,282	25,384 ±3,817
	D, с ²	0,008	0,002	0,001	0,009	0,020
	H, О.Е.	1,009 ±0,021	1,027 ±0,031	1,0748 ±0,031	0,610 ±0,022	1,155 ±0,017
	Cv, %	10,832 ±2,726	5,681 ±2,030	4,558 ±1,829	11,177 ±2,763	16,679 ±3,269
	r1, О.Е.	0,322 ±0,082	0,455 ±0,072	0,202 ±0,067	0,094 ±0,046	0,304 ±0,049

Примечание. А – контрольная серия, Б – имитация замедленного ритма, В – имитация учащенного ритма.

В эксперименте с имитацией замедленного ритма X и Mo,

повышаясь на 2-м этапе, на 3- и 4-м снижаются, снова возрастают при восстановлении, превосходя исходный уровень. aM_o возрастает в течение 2- и 3-го этапов, снижаясь на 4-м и вновь возрастая при восстановлении, превосходя при этом исходное значение. D изменяется волнообразно, снижаясь на 2-м этапе и при восстановлении. Фрактальная размерность возрастает на 2-м и практически не изменяется на 3–4-м, возрастая при восстановлении до уровня, превосходящего исходный. C_v снижается на 2- и 3-м этапах, увеличивается вдвое на 4-м. Снижается при восстановлении, становясь ниже исходного уровня. r_1 уменьшается на 2-м этапе, возрастает на 3–4-м, незначительно снижаясь при восстановлении.

Таблица 4

Корреляции изменений параметров РС
испытуемой М., 30 лет в процессе эксперимента

		X	M_o	aM_o	D	H	C_v	r_1
1	X	-	-	-	-	-	-	-
	M_o	-	-	-	-	-	-	-
	aM_o	0,962	0,797	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-
	H	-	-	-	-	-	-	-
	C_v	-	-	-	0,987	-	-	-
	r_1	-	-	-	-	-	-	-
2	X	-	-	-	-	-	-	-
	M_o	0,929	-	-	-	-	-	-
	aM_o	-	0,778	-	-	-	-	-
	D	-0,878	0,902	-0,933	-	-	-	-
	H	-	-	-	-	-	-	-
	C_v	-0,905	0,912	-0,914	0,997	-	-	-
	r_1	-	-	-	-	-	-	-
3	X	-	-	-	-	-	-	-
	M_o	-0,832	-	-	-	-	-	-
	aM_o	-	-	-	-	-	-	-
	D	-	0,836	-	-	-	-	-
	H	-	-	-	-	-	-	-
	C_v	-	0,814	-	0,983	-	-	-
	r_1	-	-	-	-	-	-	-

Примечание. Обозначения те же, что в табл. 3. Жирный шрифт – $p < 0,01$, обычный – $p < 0,05$.

Динамику изменений X, M_o и r_1 и увеличение количества

лонгитудинальных корреляций с 3 до 9 (табл. 4) можно рассматривать как тенденцию к напряжению регуляции РС, но характер изменений aM_0 и Cv может быть свидетельством компенсаторных реакций. В эксперименте с имитацией ускоренного ритма X изменяется волнообразно, повышаясь на 2- и 4-м этапах и снижаясь при восстановлении. M_0 возрастает на 2-м этапе, снижается на 3-м и продолжает снижаться при восстановлении. aM_0 снижается на 2-м этапе, возрастает на 3- и 4-м и вновь снижается при восстановлении, оставаясь ниже исходного уровня. D снижается на 2- и 3-м этапах, возрастает на 4-м и при восстановлении. Фрактальная размерность увеличивается на 4-м этапе и снижается при восстановлении, оставаясь ниже исходного уровня. Cv значительно снижается на 2-м этапе, повышается на 4-м, при восстановлении значительно возрастает, превышая исходный уровень. Показатель r_1 возрастает на 2-м этапе, снижается на 3- и 4-м и практически достигает исходного уровня при восстановлении. Изменения aM_0 и фрактальной размерности свидетельствуют об усилении тонуса симпатического отдела вегетативной нервной системы. Однако значения X , Cv и r_1 и снижение количества лонгитудинальных корреляций до 4, можно рассматривать как «сдерживающий фактор» со стороны системы блуждающих нервов.

Выводы: 1. При воздействии ритмичного аурального раздражителя, имитирующего понижение или повышение ЧСС, реакции сердечно-сосудистой системы достаточно разнообразны и во многом зависят от индивидуальных особенностей данной системы испытуемых.

2. Общей тенденцией физиологических изменений деятельности сердца обеих испытуемых при ауральных ритмических раздражениях является увеличение его вариабельности к моменту окончания воздействия, что обусловлено снижением тонуса симпатического отдела вегетативной нервной системы и включением ряда компенсаторных реакций, в сложной системе двойственной регуляции ритма сердечных сокращений.

3. Сближение ряда исследуемых показателей в момент окончания серий свидетельствует о модулирующем влиянии ритмических раздражителей на работу сердца исследуемых в зависимости от их исходного состояния.

Список литературы

1. Ливанов М.Н., Королькова Т.А., Френкель Г.М. Электрофизические исследования высшей нервной деятельности // Журн. высшей нервной деятельности. 1951. Т. 1, вып. 4. С. 521.
2. Маляренко Г.Ю. Формирование музыкального восприятия в онтогенезе // Музыкальная психология и психотерапия. 2009. № 2. С.46–72.
3. Марахасин В.С., Цехановский В.М. Эксперименты по восприятию музыки в аспекте физиологии // Творческий процесс и художественное восприятие.

- М.: Наука, 1987. С. 200–215.
4. *Огородникова Н.В.* Некоторые психологические особенности восприятия ритма: дис. ... канд. пед. наук. Одесса, 1969. 123 с.
 5. *Петрушин В.И.* Психология музыкального восприятия // Музыкальная психология и психотерапия. 2007. № 2. С. 15–19.
 6. *Сандомирский М.Е., Еникеев Д.А., Белгородский Л.С.* Повышение эффективности обучения на основе формирования искусственных сенситивных периодов // Пути повышения качества подготовки специалистов в высшей школе. Уфа: Башкир. гос. мед. ун-т, 1997. С. 208–209.
 7. *Уолтер Г.* Живой мозг. М.: Мир, 1966. 300 с.
 8. *Ухтомский А.А.* Собрание сочинений. Т. IV. Л.: ЛГУ, 1954. 170 с.
 9. *Bernardi L., Porta C., Casucci G., Balsamo R., Bernardi N., Fogari R., Sleight P.* Dynamic interactions between musical, cardiovascular and cerebral rhythms in humans // *Circulation*. 2009. Vol. 119. P. 3171–3180.

INDIVIDUAL CHARACTERISTICS INDIRECT MANAGEMENT OF A HEART RATE MEANS BY AURAL IT'S SIMULATOR

M.N. Gorshkova, E.A. Belyakova, D.I. Ignatiev

Tver State University

Reactions of cardiovascular system of examinees on aural rhythmic irritations depend on specific features of the given system. At both examinees variability of action of the heart by the time of the influence termination that it is possible to explain on the one hand decrease in a tone of sympathetic department of vegetative nervous system, on the other hand – number inclusion компенсаторных reactions, in difficult system of dual regulation of a rate of warm reductions increases. Rapprochement of some investigated indicators at the moment of the termination of series can be considered as the certificate of modulating influence on work of heart of investigated rhythmic irritants.

Keywords: *heart rate, autocorrelation function, variance, mode, dispersion.*

Об авторах:

ГОРШКОВА Марина Николаевна – ассистент кафедры биомедицины, ГОУ ВПО «Тверской государственный университет», e-mail: medbio@tversu.ru

БЕЛЯКОВА Евгения Александровна – кандидат биологических наук, доцент кафедры биомедицины, ГОУ ВПО «Тверской государственный университет», e-mail: jeene4ka@yandex.ru

ИГНАТЬЕВ Данила Игоревич – аспирант кафедры биомедицины, ГОУ ВПО «Тверской государственный университет», e-mail: danilaignatiev@yandex.ru