

Клиническая медицина

УДК 616.172.2:154.2

Межполовые особенности variability сердечного ритма и гемодинамики при умственной и физической нагрузке

**Н.Э. Татевосян, Э.Г. Геворкян, Л.Г. Ваганян, Э.Г. Костанян,
И.Г. Татевосян, А.А. Туманян**

*Институт физиологии им. Л.А. Орбели НАН РА
0028, Ереван, ул. Бр. Орбели, 22*

Ключевые слова: гендерные различия, variability сердечного ритма, гемодинамика, функциональное состояние, умственная и физическая нагрузка, вариационная пульсометрия, спектральный анализ

Показатели variability сердечного ритма (ВСР) и гемодинамики при умственной и физической нагрузке имеют некоторые особенности, обусловленные гендерными факторами. Известно, что половая принадлежность в значительной степени определяет специфику адаптации к умственной нагрузке у студентов: если у девушек эффективность умственной деятельности обусловлена уровнем активности симпатического звена регуляции, то у юношей – связана с активностью парасимпатического отдела вегетативной нервной системы (ВНС) [1, 4, 8]. В то же время, в условиях относительного покоя женщины отличаются более выраженными парасимпатическими влияниями, тогда как мужчины – более высоким уровнем симпатических влияний на сердце [6].

В связи с этим представляет интерес изучение межполовых особенностей ВСР, гемодинамики при умственной и физической нагрузке с использованием широкого спектра статистических и, особенно, спектральных характеристик с целью определения адаптационных изменений вегетативного баланса и функционального состояния организма. Следует отметить крайне скудные данные, имеющиеся в литературе по данному вопросу.

Материал и методы

В обследовании принимали участие 70 студентов обоих полов в возрасте 17-18 лет. Исследования проводились в одно и то же время суток, в первой половине дня. Эксперименты проводились с помощью аппаратно-программного комплекса на базе персонального компьютера, соединен-

ного с полиграфом (“BAINTRONICS” The Netherlands), и разработанной в лаборатории специальной программы, анализирующей не только стандартные показатели, но и волновую структуру сердечного ритма в состоянии относительного покоя и при различного рода нагрузках [3].

В качестве умственной нагрузки были выбраны тестовые задачи, которые существенно отличались друг от друга, имели различные степени сложности и требовали разные механизмы мозгового обеспечения. В качестве физической нагрузки применялся двухступенчатый нагрузочный тест (степ-тест). Циклы подъемов и спусков (всего 16 циклов) совершались обследуемыми на протяжении 4 мин. Темп задавался метрономом. Время определялось секундомером. Непосредственно после завершения степ-теста проводили регистрацию ЭКГ в положении сидя в удобном кресле в течение 5 минут во втором стандартном отклонении (правая и левая рука, земля – нога). Измеряли артериальное давление по Короткову, учитывали вес и рост обследуемых. Запись ЭКГ и измерение артериального давления проводили на различных этапах исследований: 1) в состоянии относительного покоя; 2) после выполнения тестовых заданий умственного характера, длящихся приблизительно 1ч 20мин и 3) под воздействием физической нагрузки в реституционном периоде в течение 10 мин.

Для обработки ЭКГ применялся метод вариационной пульсометрии Р.М.Баевского [2]. Рассчитывались следующие статистические параметры сердечного ритма: М – средняя длительность кардиоинтервалов; SD – стандартное отклонение среднего; Мо – мода; АМо – амплитуда моды; ΔХ – вариационный размах. По данным вариационной пульсометрии вычислялся ряд вторичных показателей: ИН – индекс напряжения регуляторных систем; ИВР – индекс вегетативного равновесия; ПАПР – показатель адекватности процессов регуляции; ВПР – вегетативный показатель ритма. Особое внимание было направлено на использование спектрального анализа (быстрое преобразование Фурье) и автокорреляционного анализа последовательностей R-R интервалов с целью выявления не только периодических составляющих ВСР, но и оценки их удельного веса в спектре частот, отражающих активность определенных уровней системы управления сердечным ритмом. При спектральном анализе ВСР выделяли три спектральные составляющие: 1) высокочастотный компонент (ВЧ) – частотный диапазон 0,4 – 0,15 Гц, период колебания 3 – 7 с, 2) низкочастотный (НЧ) – частотный диапазон 0,15 – 0,04 Гц, период колебания 7 – 30 с, 3) очень низкочастотный (ОНЧ) – частотный диапазон 0,04 – 0,015 Гц, период колебания 30 – 66 с. В качестве показателя симпатовагального баланса вычислялось соотношение спектральных мощностей низкочастотной компоненты к высокочастотной (НЧ/ВЧ). Определялись также ИАНЦ – индекс активации нервных центров и ИЦПР – индекс централизации процессов регуляции. Рассматривался автокорреляционный показатель K_1 – коэффициент корреляции после первого сдвига, значение первого коэф-

фициента автокорреляционной функции. Для комплексной оценки ВСР по специальному алгоритму вычислялся показатель активности регуляторных систем (ПАРС), учитывающий статистические показатели, показатели гистограммы и данные спектрального анализа кардиоинтервалов. Рассчитывались следующие основные гемодинамические показатели: ЧСС – частота сердечных сокращений; систолическое (АДс) и диастолическое (АДд) артериальное давление; УО – ударный объем; МОК – минутный объем крови; ПСС – периферическое сопротивление сосудов. Обозначения спектральных составляющих ВСР приводятся с учетом опубликованных рекомендаций Европейского кардиологического общества Северо-Американского общества электрофизиологии [7]. Уровень достоверности различий изучаемых показателей определяли с помощью вычисления критерия t-Стьюдента.

Результаты и обсуждение

Сравнительный анализ полученных данных выявил некоторые различия в показателях ВСР у студентов и студенток (табл. 1, T_0). В состоянии относительного покоя у студентов отмечался несколько высокий тонус симпатического отдела ВНС и некоторая напряженность регуляторных систем сердца: так, по сравнению со студентками у студентов статистически достоверно выше ИН (отражает степень централизации управления сердечным ритмом) на 26,2%, АМО, ИВР, ВПР, ПАПР – на 4,0; 27,7; 14,9; 9,6% соответственно. У них несколько высокие и гемодинамические показатели – УО на 3,2% и МОК на 7,4%. Существенных различий систолического и диастолического давления у юношей и девушек не наблюдалось. Как видно из табл. 2 (T_0), у студентов достоверно высокие показатели K_1 , НЧ, ИАНЦ – 11,2; 13,5; 10,5% соответственно, которые указывают на состояние умеренного напряжения регуляторных систем, на превалирование симпатического влияния. Согласно литературным данным, в условиях относительного покоя женщины отличаются более выраженной парасимпатической активностью, а мужчины – относительно высоким уровнем симпатического влияния на сердце [6], что подтвердилось и нашими результатами. Несмотря на то, что ПАРС в T_0 у юношей по сравнению с девушками был несколько выше и составил соответственно $2,95 \pm 1,21$ и $2,82 \pm 0,87$ баллов, однако в обеих группах значения этого показателя соответствуют состоянию минимального или оптимального напряжения регуляторных систем. Вероятно, это связано с тем, что перед выполнением тест-заданий у большинства испытуемых проявлялось некоторое психоэмоциональное напряжение, вызванное тревогой перед значимой для испытуемых ситуацией, при котором наблюдались сдвиги в анализируемых показателях, свидетельствующие о преобладании определенной напряженности в процессах регуляции.

Таблица 1

Основные показатели variability сердечного ритма и гемодинамики в группах, выделенных по половым признакам, в условиях относительного покоя (T_0), при умственной (T_1) и физической нагрузке (T_2) $M \pm \sigma$

Показатели	T_0		p	T_1		p	T_2		p
	юнош и	девушк и		юнош и	девушк и		юнош и	девушк и	
М мсек	739,4± 109,1	718,5± 72,2		805,2± 100,8	763,01± 72,2	*	742,6± 98,6	659,8± 66,5	* *
SD мсек	45,5± 24,3	48,4± 16,0		54,2± 23,9	57,8± 21,5		47,0± 20,3	36,1± 13,0	*
ЧСС уд/мин	82,8± 11,4	84,0± 8,45		75,7± 9,49	79,3± 8,28		82,4± 11,7	92,6± 9,03	* *
АМо %	48,0± 13,05	42,5± 10,93	*	41,4± 10,57	37,9± 10,53		47,2± 11,8	53,2± 13,8	
Мо мсек	713,3± 113,9	685,9± 77,69		780,1± 108,6	730,6± 89,69	* *	717,6± 100,1	630,0± 36,7	* *
ΔX мсек	222,0± 120,51	233,9± 88,76		259,3± 129,3	265,2± 107,87		250,9± 140,2	173,0± 587,4	*
ИН усл.ед.	235,8± 162,9	176,0± 109,6	* *	155,2± 118,8	133,1± 92,05		217,0± 177,6	353,7± 253,1	* *
ИВР усл.ед.	313,6± 196,4	226,7± 123,8	* *	225,2± 147,5	186,3± 113,8		284,4± 197,7	419,7± 274,7	*
ВПР усл.ед.	8,7± 4,25	7,4± 2,73	*	6,6± 3,49	6,3± 2,52		8,0± 4,69	11,7± 5,45	* *
ПАПР усл.ед.	70,5± 25,95	63,7± 21,63		55,2± 19,76	53,4± 19,02		68,8± 26,0	87,4± 29,6	*
АДс мм рт.ст.	114,0± 9,65	109,8± 10,76		113,4± 8,57	110,5± 9,81		116,1± 7,48	117,4± 9,37	
АДд мм рт.ст.	72,9± 8,72	72,0± 9,26		73,2± 5,96	73,0± 8,34		74,5± 5,43	73,7± 6,25	
УО мл	74,5± 15,11	72,1± 16,8		71,1± 16,3	70,7± 14,96		73,9± 15,1	80,8± 16,5	
МОК мл	6692,6 ± 1847	6196,6± 1712		5753,3 ± 1630	5700,3 ± 1478		6225± 2068,8	7613± 1907,6	*
ПСС	1108,5 ± 293,6	1178,0 ± 369,0	*	1306,9 ± 405,9	1307,9 ± 447,5		1271± 391,8	1054± 303,5	*

Примечание. Здесь и в табл. 2: юноши – n = 36, девушки – n = 31. Расшифровку аббревиатур см. в разделе «Материал и методы»; p – достоверность различий между юношами и девушками (* p < 0,05; ** p < 0,01)

Таблица 2
Спектральные и автокорреляционные показатели ВСР у юношей и девушек в условиях относительного покоя (T_0), при умственной (T_1) и физической нагрузке (T_2) $M \pm \sigma$

Показатели	K_1	ВЧ мсек ²	НЧ мсек ²	ОНЧ мсек ²	ИЦПР усл.ед.	ИАНЦ усл.ед.	ПАРС балл	НЧ/ВЧ
T_0								
Юноши	0,549 ± 0,21	0,0875± 0,016	0,0827 ± 0,015	0,0632 ± 0,017	5,61± 1,82	1,16± 0,29	2,95± 1,21	0,976± 0,253
Девушки	0,511 ± 0,187	0,0905 ± 0,017	0,0715 ± 0,017	0,0613 ± 0,016	5,02± 1,80	1,33± 0,31	2,82± 0,87	0,830± 0,29
<i>P</i>	*		*		*	*		
T_1								
Юноши	0,476 ± 0,196	0,0923 ± 0,021	0,0756 ± 0,017	0,0598 ± 0,014	5,47± 1,54	1,16± 0,30	2,38± 0,89	0,819± 0,26
Девушки	0,523 ± 0,228	0,0804 ± 0,022	0,0897 ± 0,020	0,0673 ± 0,015	4,82± 1,81	1,24± 0,26	2,70± 0,91	1,115± 0,34
<i>P</i>	*		**	*				
T_2								
Юноши	0,528 ± 0,206	0,0801 ± 0,012	0,0826 ± 0,018	0,0705 ± 0,017	6,44± 2,65	1,21± 0,27	2,62± 1,20	1,028± 0,22
Девушки	0,620 ± 0,178	0,0798 ± 0,011	0,0903 ± 0,015	0,0764 ± 0,020	7,01± 2,49	1,36± 0,24	3,62± 1,31	1,131± 0,30
<i>P</i>	*							

Анализ данных, полученных у испытуемых после реализации полного цикла умственных тест-заданий, выявил некоторые изменения в показателях вариабельности сердечного ритма. Как видно из табл. 1 (T_1), у студентов выявлено достоверное уменьшение значений ИН на 34,1%, АМО – 13,7%, ИВР – 28,2%, ВПР – 24,1% и ПАПР – 21,7%. В то же время отмечалось достоверное увеличение средней длительности (M) и стандартного отклонения (SD) кардиоинтервалов, некоторый рост Мо на 11,2% и ΔX –16,8%. После выполнения тест-задания наблюдалось урежение ЧСС от 82,8 до 75,7 уд./мин. Резко уменьшились УО, МОК и увеличилось ПСС. Существенных изменений систолического и диастолического артериального давления не обнаружено. Понижение ИН, ИВР, ВПР, ПАПР, АМО и рост величин Мо и ΔX , а также отмеченные изменения гемодинамических показателей свидетельствуют об умеренном преобладании тонуса парасимпатического отдела ВНС к концу выполнения умственной деятельности. Согласно теоретическим положениям [2] и исходя из полученных данных, наблюдаемых у студентов после вы-

полнения умственных задач, можно говорить об умеренном преобладании тонуса парасимпатического звена ВНС. У студенток наблюдались менее выраженные изменения вышеотмеченных показателей. В то же время значения автокорреляционного показателя – K_1 и спектральных компонентов – ВЧ, НЧ, ОНЧ указывают на активность симпатического звена регуляции (табл. 2, T_1): так, у студенток по сравнению со студентами достоверно возрос показатель K_1 на 10,5% и спектральная мощность НЧ на 18,7% ($p < 0,01$), что указывает на доминирование центральных механизмов регуляций сердечного ритма. При этом существенно снизилась активность парасимпатического звена регуляции – показатель ВЧ (рисунок, T_1). Соотношение НЧ/ВЧ у студенток составило $1,115 \pm 0,34$, что указывает на умеренную активизацию симпатической нервной системы, а у студентов значение этого соотношения ($0,819 \pm 0,26$) указывает на несколько повышенный тонус парасимпатического звена ВНС. Вышеотмеченные изменения показателей после умственной деятельности свидетельствуют о сравнительно высокой напряженности регуляторных механизмов мозга у студенток.

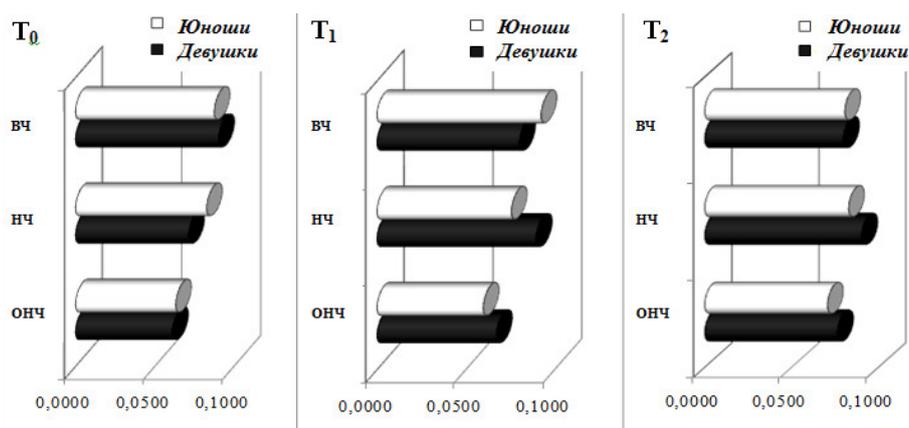


Рисунок. Спектральные компоненты частотного спектра ВСР у юношей и девушек в условиях относительного покоя (T_0), при умственной (T_1) и физической нагрузке (T_2). Обозначения: ВЧ – высокочастотное; НЧ – низкочастотное; ОНЧ – очень низкочастотное составляющие спектра частот. По оси абсцисс – представлены спектральные мощности компонентов

После выполнения степ-теста у студенток по сравнению со студентами отмечались статистически достоверные сдвиги регистрируемых показателей, отражающие усиление влияния симпатической нервной системы, активацию вазомоторных центров регуляции сердца. Как видно из табл.1 (T_2), у девушек почти вдвое увеличились показатели ИН, ИВР, ВПР, повысились значения ПАПР – на 63,8%, АМо – 40%, ЧСС – 16,8%, снизились Мо и ΔX на 13,7 и 34,7% соответственно. Изменения этих

параметров были статистически достоверны. Статистически значимые различия отмечались и в отношении показателей гемодинамики: УО повысился на 14,3%, МОК – на 23,2%, а ПСС уменьшилось на 22,1%. После физической нагрузки у студенток достоверно увеличились K_1 , спектральная мощность компонентов НЧ и ОНЧ (рисунок, T_2), а также некоторые комплексные показатели ИЦРП, ИАНЦ (табл. 2, T_2), при этом существенно снизилась спектральная мощность ВЧ компонента – активность парасимпатического звена регуляции. Согласно литературным данным [2,7], рост мощности ОЧН сопровождается увеличением анаэробного порога организма и повышением физической работоспособности. Значительный рост соотношения НЧ/ВЧ указывает на преобладание симпатической нервной системы над парасимпатической. Комплексная оценка ПАРС показала наличие у студенток умеренного напряжения регуляторных систем, при которой для адаптации к физической деятельности организму требовались дополнительные функциональные резервы. У студенток существенные сдвиги регистрируемых показателей свидетельствуют о стрессогенности данного вида деятельности для представительниц женского пола, которые прикладывали больше физических усилий для выполнения степ-теста.

У студентов отмечались менее выраженные изменения перечисленных показателей и, судя по значению ПАРС, можно говорить о состоянии оптимального напряжения регуляторных систем. Вероятно, студентам требовалось сравнительно меньше усилий в силу их превосходства по физическому развитию. Тем не менее в процессе реализации степ-теста совокупность исследуемых показателей ВСР, их спектральных характеристик, а также основных показателей гемодинамики свидетельствует о смещении вегетативного баланса в сторону преобладания активности симпатической нервной системы, усилении центральных регуляторных влияний и стимуляции системной гемодинамики.

Таким образом, в процессе реализации умственной и физической нагрузки были выявлены следующие межполовые различия в исследуемых показателях ВСР, их спектральных характеристиках и основных показателях гемодинамики:

- в состоянии относительного покоя (T_0) у студентов выявлен несколько высокий тонус симпатического отдела вегетативной нервной системы и некоторая напряженность регуляторных систем сердца. У студенток наблюдалось превалирование парасимпатической активации сердечной деятельности.
- при умственной деятельности (T_1) у студенток обнаружен сдвиг вегетативного баланса в сторону симпатической активности, наблюдалось состояние оптимального напряжения регуляторных систем. У студентов отмечалось умеренное преобладание тонуса парасимпатического отдела ВНС.

- после физической нагрузки (T_2) у студенток имел место существенный сдвиг вегетативного гомеостаза, усиление активности симпатической нервной системы, состояние выраженной напряженности регуляторных систем сердца, тогда как у студентов отмечалось состояние умеренного напряжения регуляторных систем.
- спектральные характеристики variability сердечного ритма в совокупности со статистическими и основными показателями гемодинамики могут быть достаточно надежными и информативными критериями для оценки текущего ФС ВНС при различного рода нагрузках.

Поступила 06.06.12

**Սրտի ռիթմի փոփոխականության միջսեռային
առանձնահատկությունները մտավոր և ֆիզիկական
ծանրաբեռնվածության պայմաններում**

**Ն.Է. Թադևոսյան, Է.Գ. Գևորգյան, Լ.Գ. Վահանյան, Է.Գ. Կոստանյան,
Ի.Գ.Թադևոսյան, Ա.Ա. Թումանյան**

Ուսումնասիրվել են մտավոր և ֆիզիկական ծանրաբեռնվածության պայմաններում սրտի ռիթմի փոփոխականության ստանդարտ և սպեկտրային բնութագրերի, հեմոդինամիկայի հիմնական ցուցանիշների միջսեռային առանձնահատկությունները: Հարաբերական հանգստի վիճակում ուսանողների մոտ դրսևորվել է վեգետատիվ նյարդային համակարգի սիմպաթիկ օղակի ակտիվություն, սրտային ռիթմի կարգավորիչ համակարգերի որոշակի լարվածություն: Ուսանողուհիների մոտ՝ պարասիմպաթիկ ակտիվության գերակայություն:

Մտավոր բնույթի գործունեությունից հետո նկատվել է վեգետատիվ հավասարակշռության փոփոխություն. ուսանողների մոտ դիտվել է ՎՆՀ պարասիմպաթիկ բաժնի չափավոր գերակայություն, ուսանողուհիների մոտ՝ սիմպաթիկ նյարդային համակարգի ակտիվություն, կարգավորիչ համակարգերի օպտիմալ լարվածություն: Ֆիզիկական ծանրաբեռնվածության դեպքում բացահայտվել է վեգետատիվ հոմեոստազի զգալի տեղաշարժ: Աղջիկների մոտ էականորեն ավելացել է սիմպաթիկ ակտիվությունը, արձանագրվել է կարգավորիչ համակարգերի արտահայտված լարվածություն, այն դեպքում, երբ տղաների մոտ նկատվել է կարգավորիչ համակարգերի չափավոր լարվածություն: Հայտնաբերված է, որ սրտի ռիթմի փոփոխա-

կանության սպեկտրային բաղադրիչները միջսեռային առանձնահատկությունների բնութագրման բավականին ինֆորմատիվ ցուցանիշներ են և կարող են հանդիսանալ հուսալի չափորոշիչներ օրգանիզմի ընթացիկ ֆունկցիոնալ վիճակի գնահատման համար:

Gender peculiarities of heart rhythm variations under mental and physical workload

**N.E. Tadevosyan, E.G. Gevorgyan, L.G. Vahanyan, E.G. Kostanyan
I.G.Tadevosyan, A.A.Tumanyan**

Gender peculiarities of standard and spectral characteristics of heart rhythm variations and basic hemodynamic indices under mental and physical workload were studied. In relatively relaxed conditions activeness of sympathetic link of the vegetative nervous system and some strain of heart rhythm regulatory systems were registered among male students, while among female prevalence of para-sympathic activeness was noticed.

After mental activity, variations of the vegetative balance were registered: moderate prevalence of the para-sympathic section of the VNS – among male students, and activeness of sympathetic nervous system and optimum tension of regulatory systems – among female students were noted.

A significant shift of the vegetative homeostasis was identified in the cases of physical workload. Among female students sympathetic activeness was considerably increased and well-expressed strain of regulatory systems was registered. Among male students a moderate tension of regulatory systems was noticed.

Thus the spectral components of heart rhythm variation are quite informative indicators for characterizing gender peculiarities and may be considered as reliable criteria for the assessment of the current functional condition of the organism.

Литература

1. *Анищенко Т.Г., Игошева Н.Б., Шорина Л.Н., Якушева Т.А., Глушкова-Семякина О.В., Леонтьев Д.С., Климова О.А.* Половые особенности кардиоваскулярной стресс-реактивности и их механизмы. Док. Российской академии естественных наук, Саратов, 2000, вып.2, 2, с.104-112.
2. *Баевский Р.М., Кириллов О.И., Клецкин С.З.* Математический анализ изменений сердечного ритма при стрессе. М., 1984.
3. *Геворкян Э.Г.* Создание методов компьютерной диагностики общего функционального состояния организма, подвергнутого стрессорным перегрузкам. Современные аспекты радиационной медицины и ожогов. Ереван, 1995, с. 8-11.
4. *Горбунов Н. П., Кузнецова О. Б.* Динамика вегетативной регуляции проявления умственной деятельности у студентов с разным уровнем физической активности.

- Вестник Южно-Уральского государственного университета. 2006, № 3 (58). Серия "Образование, здравоохранение, физическая культура", вып. 7, т. 1, с. 57-59.
5. *Кузьменко В.А.* Сопоставление вегетативных показателей студентов при экзаменационном стрессе и при физической нагрузке. Журн. физиология человека. 2002, т. 28, 5, с. 131-133.
 6. *Gregoire J., Tuck S., Yamamoto Y., Hughson R. L.* Heart rate variability at rest and exercise: influence of age, gender, and physical training. Can. J. Appl. Physiol., 1996, v. 21, 6, p. 455-70.
 7. Heart rate variability. Standards of Measurement, Physiological Interpretation and Clinical Use. Circulation, 1996, 93, 5, p. 1043.
 8. *Ross A. E., Flaa A., Hoiegggen A.* Gender specific sympathetic and hemorrheological responses to mental stress in healthy young subjects. Scand. Cardiovasc. J., 2001, v. 35, 5, p. 307-12.