

ОСОБЕННОСТИ ВЕГЕТАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ СЕРДЕЧНЫМ РИТМОМ У ЮНОШЕЙ-ЯКУТОВ

Галина Касьяновна СТЕПАНОВА, Саргылана Михайловна ДМИТРИЕВА, Мария Васильевна УСТИНОВА

*Медицинский институт Якутского государственного университета
677000, г. Якутск, ул. Кулаковского, 36*

Исследовали особенности вегетативного управления сердечным ритмом (СР) и адаптационные резервы регуляции сердца у юношей-якутов. Положительные корреляции между мощностью высокочастотного (HF) и низкочастотного (LF) компонентов вариабельности сердечного ритма (ВСР), а также между LF-компонентом и индикаторами парасимпатической нервной системы (ПНС) у студентов свидетельствуют о тесных взаимосвязях механизмов, обуславливающих происхождение LF- и HF-волн в спектре СР. Показано, что вегетативное обеспечение деятельности сердца в ортоположении в группах с различным исходным типом вегетативной регуляции осуществляется за счет снижения ваготонических влияний. Выявлен наиболее высокий резерв регуляции СР в группе ваготоников, а наименьший — у симпатикотоников.

Ключевые слова: вариабельность сердечного ритма, тип вегетативной регуляции, резервные возможности, якуты.

Проблема адаптации современных этносов Азиатского Севера и, в частности, студенческой молодежи Якутии имеет особое значение, поскольку их организм находится под сочетанным воздействием суровых природно-климатических условий и высоких нервно-эмоциональных нагрузок. Для оценки функционального состояния и адаптивных ресурсов организма студентов достаточно широко используются математические методы анализа вариабельности сердечного ритма (ВСР) [1, 2]. В оценке функциональных резервов регуляторных систем сердца в последнее время высокую популярность приобрели методы спектрального анализа ВСР [3, 4]. Однако до сих пор единого мнения об интерпретации спектральных компонентов ВСР не сложилось, причем наиболее неопределенным считается происхождение низкочастотных колебаний сердечного ритма (LF-волн). Если одни авторы склонны считать, что эти волны порождаются симпатическим отделом вегетативной нервной системы (СНС) [5, 6], то другие не исключают участие парасимпатической активации в их генезисе [4, 7]. Нами не обнаружено исследований кардиоритма у лиц коренных национальностей Крайнего Севера с использованием спектрального анализа сердечного ритма, в то время как выработка нормативных показателей для временных и спектральных характеристик колебаний частоты сердечных сокращений (ЧСС) является важнейшим направлением изучения ВСР. Также представляет интерес проведение кар-

диоритмографических проб, позволяющих выявить степень адаптации студентов к условиям окружающей среды.

Целью настоящей работы было выявление особенностей вегетативного управления сердечным ритмом, а также адаптационных резервов регуляции сердца у практически здоровых юношей-якутов.

Материалы и методики исследований

Исследование проведено на 60 практически здоровых юношах-якутах 18–21 лет, студентах Якутского государственного университета. Каждый юноша повторно обследовался в среднем 5–6 раз, всего выполнено 352 пробы. Производилась регистрация электрокардиограммы в первом стандартном отведении с использованием аппаратно-программного комплекса «Валента» (регистрационное удостоверение № ФСР 2007/00259 от 30.07.09, сертификат соответствия № РОСС RU.ИМ17.В00032; Санкт-Петербург, ПО «Нео»). Всем испытуемым проводилась активная ортостатическая проба (АОП). После 10-минутного отдыха в положении лежа на спине записывались 200 кардиоинтервалов, и такое же количество кардиоинтервалов анализировалось в ортоположении после визуального определения и исключения переходного периода. Зарегистрированные кардиоритмограммы проверялись на отсутствие артефактов. Оценивались временные характеристики кардиоинтервалов: средняя длительность RR-интервалов (мс) за весь рассматриваемый период; SDNN, мс — среднее квадратичное отклонение значений

*Степанова Г.К. — проф. каф. физиологии человека, д.м.н., доцент**Дмитриева С.М. — аспирант каф. физиологии**Устинова М.В. — доцент каф. физиологии человека, канд.м.н., доцент*

RR-интервалов, отражающее суммарную активность регуляторных механизмов сердечного ритма; RMSSD, мс — квадратный корень суммы разностей последовательных RR-интервалов — отражает активность парасимпатического отдела; pNN_{50} , % — число RR-интервалов, различающихся более чем на 50 мс; AM_o , % — частота значений наиболее часто встречающихся кардиоинтервалов (M_o), выраженная в процентах к общему числу кардиоинтервалов. Индекс напряжения (ИН) регуляторных систем вычислялся по формуле: $ИН = AM_o / (2M_o \times \Delta X)$, где ΔX , с — разность между максимальными и минимальными значениями продолжительности кардиоинтервалов исследуемого динамического ряда.

Рассматривались также результаты спектрального анализа ВСР: HF, мс² — высокочастотные колебания СР, сопряженные с дыханием и отражающие уровень активности парасимпатической нервной системы; LF, мс² — низкочастотные колебания СР, происхождение этих волн до конца не выяснено.

Артериальное давление (АД) измерялось по методу Короткова.

Вегетативный тонус оценивался по значениям ЧСС, определявшимся в клиноположении. Значения от 61 до 74 уд/мин свидетельствовали о вегетативном балансе (нормотония), выше 74 уд/мин — о сдвиге баланса в сторону симпатикотонии, ниже 61 уд/мин — о сдвиге в сторону ваготонии [8].

Поскольку распределение значений параметров ВСР не описывается законом нормального распределения, данные нами представлены в виде медианы, 25-го и 75-го перцентилей. Сравнение данных одной группы в динамике проводилось с использованием критерия парных сравнений Вилкоксона. Сравнение результатов разных групп выполнялось с использованием двухвыборочного критерия Вилкоксона ранговых сумм. Корреляционный анализ проводили с использованием коэффициентов ранговых корреляций [9].

Результаты исследований и их обсуждение

Анализ результатов оценки длительности RR-интервалов у обследованных юношей в клиноположении выявил различную встречаемость типов вегетативного управления сердцем. Обращает на себя внимание высокая распространенность проб с фоновой симпатикотонией и низкая распространенность ваготонии. Встречаемость проб с сохраненным вегетативным балансом (нормотонический тип) составила 50,5%, с отклонением в сторону симпатикотонии — 41,4% и с отклонением

в сторону ваготонии — 8,1%. Среднее значение исходной длительности RR интервалов по всем пробам ($n = 352$) составило $836,0 \pm 5,5$ мс (ЧСС = $72,9 \pm 0,46$ уд/мин), что близко к верхней границе нормы.

Анализ значений ИН (табл.) показал значимо более высокие его величины в пробах с исходной симпатикотонией в сравнении с пробами нормотоников ($Z = 6,02$, $P < 0,0001$). В пробах симпатикотоников в клиноположении выявлены достоверно низкие значения временных параметров ВСР относительно нормотоников: SDNN ($Z = -8,26$, $P < 0,0001$); RMSSD ($Z = -7,92$, $P < 0,0001$); pNN_{50} ($Z = -8,23$, $P < 0,0001$).

В горизонтальном положении тела в пробах с сохраненным вегетативным балансом установлены статистически значимо большие абсолютные величины спектральных параметров ВСР по сравнению с симпатикотониками (табл.): LF-компонента ($Z = -2,41$, $P = 0,016$) и HF-компонента ($Z = 5,46$, $P < 0,0001$). Согласно приведенным данным, наибольшие различия имелись в пробах с различным исходным вегетативным тонусом в значениях HF-компонента спектра ВСР, мощность LF-компонента имеет, хотя и достоверные, но меньшие различия. Самым низким значениям мощности HF-колебаний у симпатикотоников соответствуют также самые низкие значения временных параметров SDNN, RMSSD и pNN_{50} (табл.), что подтверждает известную высокую связь между этими частотными и временными характеристиками ВСР [10].

Низкая мощность колебаний сердечного ритма (особенно в HF-диапазоне), низкие значения SDNN, RMSSD, pNN_{50} , а также высокие значения ИН в пробах с симпатикотоническим типом вегетативной регуляции свидетельствуют о высокой напряженности регуляторных систем лиц, участвующих в этих пробах.

В клиноположении выявлена корреляция высокой силы между абсолютными значениями мощности LF- и HF-компонентов [$r = 0,69$, $P < 0,0001$]. Это свидетельствует о тесных взаимосвязях механизмов, обуславливающих формирование LF- и HF-мощностей в спектре сердечного ритма у обследуемых в исходном состоянии. Вполне закономерно наличие положительных корреляционных связей значений мощности HF-волн с параметрами SDNN ($r = 0,81$), RMSSD ($r = 0,90$) и pNN_{50} ($r = 0,88$) и отрицательных связей с маркерами СНС: AM_o ($r = -0,81$) и ИН ($-0,86$). В то же время абсолютные величины мощности LF-компонента также

Таблица

Динамика показателей variability сердечного ритма при переходе в ортоположение в пробах с различным типом вегетативной регуляции

Параметр	Тип регуляции	Клиноположение			Ортоположение		
		Me	25-й %	75-й %	Me	25-й %	75-й %
RR, мс	нормотонический	880	840	923	690	650	740
	симпатикотонический	750	710	780	610	580	645
	ваготонический	1025	1010	1070	800	750	853
RR, мс	нормотонический	60	50	70	45	40	50
	симпатикотонический	50	40	50	40	30	50
	ваготонический	80	58	93	50	40	60
SDNN, мс	нормотонический	41	30	56	21	15	27
	симпатикотонический	26	20	33	18	12	24
	ваготонический	100	47	111	23	18	36
RMSSD, мс	нормотонический	15,5	5,0	30	1,0	0	4,0
	симпатикотонический	4,0	1,0	10	1,0	0	3,0
	ваготонический	29	16	47	3,0	1,8	7,2
pNN ₅₀ , %	нормотонический	87	52	145	148	73	275
	симпатикотонический	133	98	198	237	121	339
	ваготонический	35	22	75	120	82	206
ИИ	нормотонический	148	67	292	118	64	205
	симпатикотонический	114	62	200	77	35	153
	ваготонический	219	85	421	165	88	310
LF, мс ²	нормотонический	497	260	810	186	120	297
	симпатикотонический	280	168	470	157	92	274
	ваготонический	918	438	1897	231	150	392
HF, мс ²	нормотонический	112	110	118	106	100	110
	симпатикотонический	116	110	120	110	102	112
	ваготонический	111	104	116	104	100	110
Систолическое АД, мм рт. ст.	нормотонический	72	66	76	72	68	78
	симпатикотонический	72	68	80	74	70	80
	ваготонический	71	68	76	74	70	80
Диастолическое АД, мм рт. ст.	нормотонический	72	66	76	72	68	78
	симпатикотонический	72	68	80	74	70	80
	ваготонический	71	68	76	74	70	80

Примечание: Me – медиана, 25-й % – 25-й процентиль, 75-й % – 75-й процентиль.

имеют значимые связи с общепринятыми маркерами ПНС: SDNN ($r = 0,68$), RMSSD ($r = 0,55$), pNN₅₀ ($r = 0,62$). Абсолютная величина LF-волн отрицательно коррелировала с маркерами СНС: ИИ ($r = -0,73$), AM₀ ($r = -0,67$).

Представляет интерес тот факт, что в исходном состоянии маркеры ПНС (SDNN, RMSSD и pNN₅₀) имеют сильные связи не только с HF-, но и с LF-волнами. В то же время маркеры СНС (ИИ, AM₀) имеют значимые отрицательные связи с мощностью как LF-, так и HF-волн. Эти данные подтверждают мнение об общности происхождения HF- и LF-волн [11–13].

Для исследования адаптационных возможностей вегетативной регуляции сердца у обследованных юношей нами использовалась АОП. В целом увеличение ЧСС в АОП составило $24,7 \pm 0,62\%$. Прирост ЧСС в наибольшей степени произошел в пробах с ваготоническим типом регуляции – на $29,9 \pm 1,94\%$, у нормотоников и симпатикотоников он составил соответственно $27,0 \pm 0,88$ и $20,7 \pm 0,99\%$. Таким образом, величина прироста зависит от исходного значения ЧСС и выше в пробах с меньшими значениями исходной ЧСС. В этой связи самый низкий прирост ЧСС в АОП наблюдался у симпатикотоников, что демонстрирует низкую

чувствительность их системы вегетативного управления сердечным ритмом к изменению условий работы сердечно-сосудистой системы. Снижение чувствительности системы управления сердечным ритмом у симпатикотоников в условиях перехода в вертикальное положение тела свидетельствует об уменьшении ее адаптивных возможностей.

При переходе в ортоположение отмечается снижение абсолютной мощности HF- и LF-колебаний сердечного ритма (табл.). Наиболее значительное уменьшение претерпела мощность HF-волн. Причем в пробах с различным типом вегетативной регуляции снижение значений медианы мощности HF-колебаний произошло в неодинаковой степени: у ваготоников — в 3,97 раза ($Z = -6,06$, $P < 0,0001$), у нормотоников — в 2,67 раза ($Z = -9,49$, $P < 0,0001$), у симпатикотоников — 1,78 раза ($Z = -7,25$, $P < 0,0001$). Динамику HF-волн в ортопробе повторяют значения RMSSD — параметра, являющегося эквивалентом высокочастотных колебаний. Реакция этого показателя во всех трех группах статистически достоверна ($P < 0,0001$), однако наиболее выражена у ваготоников, а наименее — у симпатикотоников (табл.).

Снижение мощности LF-компонента спектра ВСР на АОП менее выражено, чем HF-компонента (табл.). В пробах, выполненных лицами с нормо- и ваготоническим типами регуляции, уменьшение значений медианы мощности LF-волн не имело статистической достоверности: у нормотоников — в 1,25 раза ($Z = -1,9$, $P = 0,134$), у ваготоников — в 1,33 раза ($Z = -1,58$, $P = 0,11$). Достоверное снижение значений медианы мощности LF-волн произошло лишь в пробах, выполненных симпатикотониками: снижение в 1,48 раза ($Z = -3,53$, $P < 0,0001$).

Исследование реактивности ИН у обследуемых выявило статистически достоверное увеличение его значений в ортостазе во всех трех группах ($P < 0,0001$). Примечателен тот факт, что, несмотря на максимальное возрастание медианы ИН у ваготоников (в 3 раза), абсолютные значения этого параметра остались минимальными (табл.).

Вышеизложенные данные о высоких значениях таких параметров ВСР, как мощность HF-волн и RMSSD в исходном состоянии, и о выраженной их реакции на ортостатическую пробу у юношей-ваготоников свидетельствуют о высоком функциональном резерве вегетативной регуляции сердечно-сосудистой системы у обследуемых этой группы. В пробах юношей, характеризующихся другим крайним

типом вегетативной регуляции, симпатикотонией, выявленные нами самые низкие значения мощности LF- и HF-волн, SDNN в клино- и ортоположениях, статистически значимое уменьшение не только и HF-, но и LF-волн в ортостазе свидетельствуют о низком суммарном уровне активности регуляторных систем, а, следовательно, и о высоком напряжении систем регуляции сердечного ритма.

В ортоположении увеличилась сила корреляции между мощностью HF- и LF- колебаний ($r = 0,76$, $P < 0,0001$), что демонстрирует возрастание взаимосвязи быстрых и медленных волн при реализации ортостатических перестроек вегетативной регуляции сердца. В АОП оставались сильными связи маркеров ПНС (SDNN, RMSSD, pNN_{50}) с HF. Связи мощности LF-компонента также оставались достаточно высокими с параметрами: SDNN ($r = 0,65$), RMSSD ($r = 0,58$), pNN_{50} ($r = 0,58$). В ортостазе отмечено увеличение силы отрицательной корреляции значений ИН с мощностью LF-волн ($r = -0,74$) и HF-волн ($r = -0,81$).

Ряд авторов полагает, что в генезе низкочастотных колебаний сердечного ритма (LF-волны) определенную роль играют парасимпатические компоненты [4, 7]. Эту точку зрения подтверждают клинические наблюдения [11, 12]. Эксперты Европейского кардиологического общества [10] предупреждают об осторожном отношении к мнению о том, что LF-волны отражают активность исключительно симпатического отдела.

Предположение о том, что в генезе LF-волн не исключается роль парасимпатического отдела ВНС, находит подтверждение в результатах наших исследований: как в клино-, так и в ортоположении абсолютная мощность LF-волн отрицательно коррелировала с маркерами активности СНС (ИН, AM_0) и положительно — с показателями парасимпатической активации (SDNN, RMSSD, pNN_{50}). В пользу мнения об общности мозговых структур, генерирующих LF- и HF-колебания, свидетельствуют также выявленные нами статистически значимые корреляционные связи между мощностью этих колебаний в клино- и ортоположении.

Величины АД у обследуемых с различным типом вегетативной регуляции как в клино-, так и в ортоположении существенных различий не имели (табл.).

Вышеизложенные результаты наших исследований показали, что поддержание необходимого оптимума параметров кровообращения в ходе ортостатической пробы происходит в большей степени за счет ослабления вагусных

влияний, о чем свидетельствует значимое снижение мощности HF-волн. Мощность LF-волн при этом не возрастает, а, напротив, снижается. Анализ результатов наших исследований подтверждает мнение ряда авторов о том, что основные изменения в динамике сердечного ритма, связанные с АОП, происходят из-за ослабления парасимпатических влияний в вегетативной регуляции сердца [14]. Как полагают Д. Жемайтите и соавт. [15], стимулирующий эффект сердечной деятельности и изменение структуры сердечного ритма в ходе АОП происходит на 80–90% из-за изменений парасимпатических влияний и лишь на 10–20% — из-за симпатических.

Заключение

Наши данные о наличии статистически значимой отрицательной корреляции мощности LF-волн с маркерами симпатической нервной системы (ИН, АМ₀) и о положительной корреляции высокой силы между значениями мощности HF- и LF-волн, а также между маркерами ПНС (SDNN, RMSSD, pNN₅₀) и мощностью LF-волн как в клино-, так и в ортоположении, свидетельствуют о тесных взаимосвязях механизмов, обуславливающих генез HF- и LF-компонент ВСР. Вегетативное обеспечение деятельности сердца в ортоположении осуществляется главным образом за счет ингибирования ваготонических влияний, поскольку переход тела в вертикальное положение сопровождается статистически достоверным снижением мощности HF- колебаний, являющихся коррелятом ПНС. Таким образом, поддержание необходимого оптимума параметров кровообращения в ортостазе у обследуемых юношей достигается за счет автономного контура регуляции сердца. Тем не менее, функциональный резерв регуляции сердца у юношей в группах с различным типом вегетативной регуляции неодинаков. Так, ваготоников, встречаемость которых составляет лишь 8,1%, характеризует наиболее высокий резерв вегетативной регуляции кровообращения, о чем свидетельствует исходно высокий вегетативный тонус (максимальные значения мощности HF- и LF-волн, SDNN, RMSSD, pNN₅₀) и самая выраженная, относительно других групп, реакция этих параметров на ортостаз. В группе юношей с исходно высоким симпатотонусом (их встречаемость 41,4%) — самые низкие значения мощности HF- и LF-волн, SDNN, RMSSD, pNN₅₀ и меньшая чувствительность этих параметров к изменению положения тела, что свидетельствует о большем, в сравнении с другими группами, напряжении механизмов вегетативной регуляции сердца.

Литература

1. Андрианов В.В., Василюк Н.А. Вариабельность сердечного ритма при выполнении различных результативных задач // Физиология человека. 2001. 27. (4). 50–55.
2. Андрианов В.В., Василюк Н.А. Variability of heart rate at performance of various productive problems // Fiziologiya cheloveka. 2001. 27. (4). 50–55.
3. Агаджанян Н.А., Батоцыренова Т.Е., Северин А.Е. и др. Сравнительные особенности вариабельности сердечного ритма у студентов, проживающих в различных природно-климатических регионах // Физиология человека. 2007. 33. (6). 66–70.
4. Агаджанян Н.А., Батоцыренова Т.Е., Северин А.Е. et al. Comparative features variability of an heart rate at the students living in various nature-climatic regions // Fiziologiya cheloveka. 2007. 33. (6). 66–70.
5. Григорьев А.И., Баевский Р.М. Концепция здоровья и проблема нормы в космической медицине. М., 2001. 96 с.
6. Григорьев А.И., Баевский Р.М. Concept of health and a problem of norm in space medicine. М., 2001. 96 p.
7. Аксельрод С., Гордон Д., Убел Ф. et al. Power spectrum analysis of heart rate fluctuation: a quantitative probe of beat to beat cardiovascular control // Science. 1981. 213. 220–222.
8. Маллиани А., Пагани М., Ломбарди Ф. et al. Cardiovascular neural regulation explored in the frequency domain // Circulation. 1991. 84. 1482–1487.
9. Монтано А., Русконе Т.Г., Порто А. et al. Power spectrum analysis of heart rate variability to assess the changes in sympathovagal balance during graded orthostatic tilt // Circulation. 1994. 90. 1826–1831.
10. Аппел М.Л., Бергер Р.Д., Саул Дж.П. et al. Beat to beat variability in cardiovascular variables: noise or music? // J. Am. Coll. Cardiol. 1989. 14. 1139–1143.
11. Баевский Р.М., Кириллов О.Н., Клецкин С.З. Математический анализ изменений сердечного ритма при стрессе. М., 1984. 222 с.
12. Баевский Р.М., Кириллов О.Н., Клецкин С.З. Mathematical analysis of heart rate changes at stress. М., 1984. 222 p.
13. Петри А., Сэбин К. Наглядная статистика в медицине. М., 2003. 143 с.
14. Петри А., Сэбин К. Demonstrative statistics in medicine. М., 2003. 143 p.
15. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. Heart rate variability. Standards of Measurement, Physiological Interpretation and Clinical Use // Circulation. 1996. 93. (5). 1043.
16. Кienzle M.G., Ferguson D.W., Birkett C.L. et al. Clinical hemodynamic and sympathetic neural correlates of heart rate variability in congestive heart failure // Am. J. Cardiol. 1992. 69. 761–767.
17. Кох Дж., Браун Т.Е., Бейтхол Л.А. et al. Human autonomic rhythms: vagal cardiac mechanisms in tetraplegic patients // J. Physiol. (Lond.). 1994. 474. 483–495.
18. Котельников С.А., Ноздрачев А.Д., Одинак М.М., Шустов Е.Б. Вызванные кожные вегетативные потенциалы (современные представления о механизмах) // Физиология человека. 2000. 26. (5). 79–91.

Kotelnikov S.A., Nozdrachev A.D., Odinak M.M., Shustov E.V. The caused skin vegetative potentials (modern representations about mechanisms) // *Fiziologiya cheloveka*. 2000. 26. (5). 79–91.

14. Yamamoto Y., Nakamura Y., Sato H. et al. On the fractal nature of heart rate variability in humans: effects of vagal blockade // *Am. J. Physiol.* 1995. 269. R830–R837.

15. Жемайтите Д., Варонецкас Г., Жилюкас Г. Автономный контроль сердечного ритма у больных ишемической болезнью сердца в зависимости от сопутствующей патологии или осложнений // *Физиология человека*. 1999. 25. (3). 79.

Jematyte D., Varonezkas G., Jilykas G. Autonomic control of heart rate at sick of diseased of myocardial ischemia depending on an accompanying pathology or complicated disease // *Fiziologiya cheloveka*. 1999. 25. (3). 79.

FEATURES OF VEGETATIVE CONTROL OF THE HEART RATE AT YOUNG YAKUT MEN

Galina Kasyanovna STEPANOVA, Sargylana Mikhajlovna DMITRIEVA, Maria Vasilevna USTINOVA

*Medical Institute of Yakut State University
36, Kulakovsky str., Yakutsk, 677000*

Features of vegetative control of a heart rate (HR) and adaptable reserves of regulation of heart have been investigated at young yakut men. Positive correlations between power high-frequency (HF) and low-frequency (LF) components of variability of a heart rate (VHR), and also between LF-component and indicators parasympathetic nervous system at students testify to close interrelations of the mechanisms causing an origin of LF and HF-waves in a spectrum HR. It is shown, that vegetative control of activity of heart in orthostatic tilt in groups with various initial type of vegetative regulation is carried out due to decrease vagotonic influences. The highest reserve of regulation HR in group vagotonic, and the least — at sympathetic tonic is revealed.

Keywords: heart rate variability, type of vegetative regulation, reserve opportunities, yakuts.

Stepanova G.K. — the professor of faculty of human physiology, d.m.s., the senior lecturer

Dmitriev S.M. — the post-graduate student of faculty of human physiology

Ustinova M.V. — the senior lecturer of faculty of human physiology, c.m.s., the senior lecturer