

ОСОБЕННОСТИ НЕЙРОВЕГЕТАТИВНОГО, ГОРМОНАЛЬНОГО И ПСИХОЭМОЦИОНАЛЬНОГО СТАТУСА ПОДРОСТКОВ НА НАЧАЛЬНЫХ ЭТАПАХ ПОЛОВОГО СОЗРЕВАНИЯ

О.Н. Адамовская¹, И.В. Ермакова, Н.Б. Сельверова
ФГБНУ «Институт возрастной физиологии
Российской академии образования», Москва

Выявлены возрастные и половые особенности нейровегетативного, гормонального и психоэмоционального статуса подростков на начальных этапах полового созревания. Установлено, что по мере полового развития увеличивается уровень половых стероидов и их предшественника, повышаются основные физические показатели, динамика показателей вариабельности ритма сердца у мальчиков и девочек носит разнонаправленный характер, психоэмоциональное напряжение возрастает только у девочек.

Ключевые слова: подростки, автономная нервная регуляция сердечного ритма, адаптационные возможности, кортизол, ДГЭА, тестостерон, эстрадиол.

Vegetative, hormonal and psychoemotional status of teenagers at the initial stages of puberty. *There were revealed the peculiarities of vegetative, hormonal and psychoemotional status of teenagers at the initial stages of puberty. It was found out that during puberty the level of sex steroids and their precursors is increasing, main physical characteristics are getting higher, the dynamics of heart rate variability in boys and girls is different, and psychoemotional tension rises only in girls.*

Key words: teenagers, autonomic heart rate regulation, adaptation capabilities, cortisol, DHEA, testosterone, estradiol.

Оценка нейровегетативного статуса на основе анализа вариабельности ритма сердца представляет одно из важнейших направлений в физиологии и медицине, поскольку его критерии служат для определения уровня адаптационных резервов организма, состояния здоровья, для прогнозирования успешности адаптированности человека к различным условиям и видам деятельности [4; 10; 34; 37]. Особую значимость такие исследования приобретают в критические периоды развития человека, например, в период полового созревания, который сопровождается значительными морфофункциональными изменениями. Изучению автономной нервной регуляции сердечного ритма у подростков посвящено большое количество

Контакты: ¹ Адамовская О.Н. – E-mail: <Krysyuk-19@yandex.ru>

работ, в которых по показателям variability ритма сердца определялся уровень адаптационных резервов [11], показаны возрастные особенности физического развития, вегетативной регуляции сердечного ритма и эндокринного статуса у подростков [12; 14; 16], выявлена взаимосвязь variability ритма сердца и нейродинамических свойств нервной системы [5], проведена оценка функционального состояния организма у подростков с разным опытом работы за компьютером [8]. В тоже время в литературе недостаточно освещены особенности нейровегетативного статуса организма подростков с учетом биологического возраста, половых и индивидуальных особенностей.

Пубертат является динамичным периодом онтогенеза, связанным с метаболическими и гормональными сдвигами. Именно в этот период увеличивается уровень половых стероидов, что обеспечивает становление репродуктивной системы и усиление обмена веществ, который способствует интенсификации физического развития детей. Подростковый возраст считается чувствительным к влиянию средовых факторов, действие которых вызывает повышение психоэмоционального напряжения ребенка. Своевременное выявление его симптомов у детей и подростков позволяет предотвратить негативные проявления стрессовой ситуации, способствует сохранению психического и соматического здоровья. Известно, что индикаторами реакции организма на стрессовые воздействия являются показатели вегетативной регуляции сердечного ритма [2; 18] и кортизол [17]. Исходная низкая парасимпатическая активность, высокий уровень утреннего кортизола в слюне и его резкое снижение в течение суток могут служить маркерами хронического стресса [21; 31].

Исходя из вышеизложенного, целью нашего исследования является изучение нейровегетативного, гормонального, психоэмоционального статуса и физического развития подростков с учетом стадии полового созревания, их половых и индивидуальных особенностей.

ОРГАНИЗАЦИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В исследовании принимали участие 150 детей обоего пола, учащиеся 3-6 классов школ г. Москвы, в возрасте 9-12 лет (средний возраст $11,03 \pm 0,06$ лет). Все дети, согласно данным медицинских карт, относились к I-II группам здоровья и имели физическое развитие, соответствующее возрастным нормам (средний рост – $145,40 \pm 0,65$ см; средний вес – $38,42 \pm 0,73$ кг).

Для оценки физического развития школьников по стандартной методике проводили антропометрические измерения. Массу тела измеряли на электронных весах Tanita (модель BC-571, Япония) с точностью до 50 г. При определении общей массы тела автоматически с помощью биоимпеданса вычислялся процент содержания жира в организме с точностью до 0,1 %. Длину тела определяли с ис-

пользованием штангового антропометра с точностью до 0,5 см. Индекс массы тела (ИМТ) вычисляли как отношение массы тела, выраженной в килограммах (кг), к квадрату длины тела, выраженной в метрах (m^2).

Медицинский осмотр, во время которого оценивалось половое развитие детей по авторской методике [7] проводила эндокринолог, д.м.н. Н.Б. Сельверова. Наполняемость каждой группы с учетом стадии полового созревания и пола составляла не менее 25 человек.

Регистрацию ЭКГ проводили с помощью компьютерного кардиографа «Пол-спектр-12» фирмы «Нейрософт» (г. Иваново). Особенности автономной нервной регуляции СР оценивали по показателям спектрального анализа variability сердечного ритма:

HF (mc^2 , п.у., %) – мощность спектра в диапазоне высоких частот (0,15-0,4 Гц). Мощность в этом диапазоне отражает вагусный контроль сердечного ритма (колебания активности ПНС) и связана с актом дыхания;

LF (mc^2 , п.у., %) – мощность спектра в диапазоне низких частот (0,04-0,15 Гц). Мощность в этом диапазоне отражает, преимущественно, колебания активности симпатического регуляторного звена сердечного ритма (хотя и имеет смешанное симпато-парасимпатическое происхождение) и связана с системой регуляции артериального;

VLF (mc^2 , п.у., %) – мощность спектра в диапазоне очень низких частот (0,003-0,04 Гц). Мощность спектра в этом диапазоне характеризует влияние высших вегетативных центров на сердечно-сосудистый подкорковый центр и может использоваться в качестве надежного маркера степени связи автономных (сегментарных) уровней регуляции кровообращения с надсегментарными, в том числе с гипоталамо-гипофизарным (гуморально-метаболический уровень) и корковым (центральный эрготропный) уровнями;

TP (mc^2) – общая мощность спектра или полный спектр частот, характеризующих ВРС. Это мощность спектра в диапазоне от 0,003 до 0,4 Гц. Она отражает суммарную активность вегетативного воздействия на сердечный ритм: активация вагуса приводит к увеличению величины TP, повышение активности СНС - к обратному эффекту;

LF/HF – отношение низкочастотной составляющей спектра к высокочастотной: это соотношение условно характеризует процентный вклад симпатических и парасимпатических влияний в автономную регуляцию сердечного ритма: его увеличение свидетельствуют о симпатизации регуляции СР, уменьшение - об обратном эффекте.

Кроме показателей временного и спектрального анализов variability ритма сердца вычисляли показатель «адаптационные резервы» (AP), который определяли при проведении ортостатической пробы.

Величина AP вычислялась по формуле [11]:

$$AP = (RRNN_{орто} - RRNN_{клино}) \times 100 / RRNN_{клино} + (LF/HF_{орто} - LF/HF_{клино}) \times 100 / LF/HF_{орто} + (K_{30:15} \times 2),$$

где: $RRNN_{клино,мс}$ - средняя длительность интервалов RR в горизонтальном положении; $RRNN_{орто,мс}$ - средняя длительность интервалов RR в вертикальном положении; $K_{30:15}$ - отношение минимального значения R-R интервала, к самому длинному R-R интервалу во время переходного периода ортостатической пробы.

Адаптационные резервы организма оценивали по следующей шкале:

Хорошие	12 – 6
Удовлетворительные	6 – 0
Снижены	0 – (-6)
Значительно снижены	(-6) - (-12)

Психэмоциональное состояние детей оценивали по тесту школьной тревожности Филлипса и шкалы явной тревожности CMAS в адаптации А.М. Прихожан [15]. Особенности личности школьников изучали с помощью теста Г. Айзенка и Р. Кеттелла (Э.М. Александровская, И.Н. Гильяшева). Дополнительно проводили социометрический тест в модификации А.Я. Каплана (2006).

Для оценки эндокринного статуса испытуемые собирали сразу после пробуждения утреннюю нестимулированную слюну в пластиковые одноразовые пробирки. Пробы слюны до проведения анализа хранили в морозильной камере при температуре $-20^{\circ}C$. Концентрацию гормонов: кортизола, дегидроэпиандростерона (ДГЭА) и половых стероидов (тестостерон у мальчиков, эстрадиол у девочек) определяли иммуноферментным методом с помощью стандартных диагностических наборов фирмы DRG International, Inc. Оптическую плотность измеряли на ИФА-анализаторе «Stat Fax 2100», значения концентрации гормонов вычисляли, используя 4-х параметрическое уравнение. Концентрацию кортизола выражали в нг/мл, ДГЭА и половых стероидов в пг/мл

Статистическую обработку полученных данных проводили с использованием компьютерного пакета программы «Statistica 6.0» и «SPSS 20». Достоверность различия изучаемых параметров между группами оценивали по t-критерию Стьюдента. Для оценки тесноты статистической связи между показателями проводили корреляционный анализ (коэффициент Пирсона), описательную статистику. Различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Проявление и развитие вторичных половых признаков характеризует уровень биологической зрелости организма в целом, отражает степень сформированности нейроэндокринных механизмов регуляции физиологических процессов в этот пе-

риод. Испытуемые находились на I-III стадии пубертата. Приведём их краткую характеристику. I стадия полового созревания – стадия детства характеризуется медленным развитием репродуктивной системы, при неуклонном развитии организма. У девочек эта стадия заканчивается в 8-10 лет, у мальчиков длится до 10-13 лет. II стадия полового созревания - гипофизарная - характеризует начало пубертата. У девочек эта стадия наблюдается в 8-10 лет, у мальчиков – в 10-13 лет. В этот период происходит резкая активация гипофиза. Первичным морфологическим признаком начала пубертата у мальчиков являются значительные изменения яичек, у девочек – увеличение молочных желёз. Эта стадия заканчивается у девочек в 9-12 лет, у мальчиков – в 12-14 лет. III стадия полового созревания – стадия активации гонад. У девочек эта стадия начинается в 10-11 лет и морфологически характеризуется дальнейшим развитием молочных желез и лобковым волосением. У мальчиков III стадия пубертата начинается с 12-14 лет, отмечается увеличение концентрации в крови половых стероидов под влиянием фоллитропина и увеличивающегося лютропина.

Предшественником половых стероидов (тестостерона и эстрадиола) является дегидроэпиандростерон (ДГЭА), а увеличение его уровня связано с половым созреванием [36; 39]. Данные по концентрации ДГЭА и половых стероидов представлены в табл. 1. В целом по группе среднее значение уровня этого андрогена в утренней слюне составило $207,97 \pm 8,38$ пг/мл и колебалось от 48,58 пг/мл до 617,48 пг/мл. Сравнительный анализ показал, что у девочек утренняя концентрация ДГЭА выше, чем у их мальчиков ($219,52 \pm 12,22$ пг/мл против $197,06 \pm 11,43$ пг/мл), но различия не были достоверными. Другие исследователи [28; 32], получившие такие же результаты, отмечают большую индивидуальную вариабельность этого стероида, что, вероятно, обусловлено биологическим возрастом испытуемых.

Таблица 1

Концентрация половых стероидов и ДГЭА на разных стадиях пубертата

стадии	мальчики		девочки	
	тестостерон, пг/мл	ДГЭА, пг/мл	ДГЭА, пг/мл	эстрадиол, пг/мл
I	$24,18 \pm 2,74$	$177,01 \pm 16,04$	$189,38 \pm 9,68$	$1,22 \pm 0,17$
II	$30,51 \pm 3,75$	$194,49 \pm 18,63$	$211,83 \pm 21,96$	$1,76 \pm 0,18 a_{I-II}^*$
III	$36,09 \pm 2,93 a_{I-III}^{**}$	$220,78 \pm 24,15$	$268,88 \pm 27,85 a_{I-III}^{**}$	$2,05 \pm 0,30 a_{I-III}^*$

Примечание: а – достоверность различий между показателями в группах мальчиков и девочек разного биологического возраста; * - $p < 0,05$; ** - $p < 0,01$.

Результаты последних исследований показывают прогрессивное увеличение уровня ДГЭА в слюне у девочек [27]. В настоящем исследовании выявлена взаимосвязь между уровнем ДГЭА и ростом ($r=0,24$; $p<0,05$ у мальчиков и $r=0,36$; $p<0,01$ у девочек), весом ($r=0,39$; $p<0,01$ и $r=0,28$; $p<0,05$, соответственно), стадией пубертата ($r=0,31$; $p<0,01$ у девочек), что подтверждает это предположение.

В настоящем исследовании концентрацию половых стероидов определяли в слюне, так как гормоны в ней находятся в свободном состоянии и многочисленными исследованиями установлена корреляция их содержания с концентрацией в сыворотке крови [23; 25]. В период полового созревания происходит увеличение уровня половых стероидов, которые обеспечивают становление и функционирование репродуктивной системы. У мальчиков от I к III стадии полового развития отмечается достоверное увеличение концентрации тестостерона ($p<0,01$), что согласуется с результатами других исследователей [40]. Корреляционный анализ выявил статистически значимую связь между концентрацией тестостерона и ростом ($r=0,27$; $p<0,05$), весом ($r=0,27$; $p<0,05$), стадией пубертата ($r=0,27$; $p<0,05$). Взаимосвязь уровня тестостерона в слюне с биологическим возрастом также наблюдали в группах 12-16-летних подростков [26]. Считается, что повышение слюнного тестостерона становится более быстрым, когда объем тестикул достигает 10 мл [20]. Часто увеличение уровня тестостерона связывают с пубертатным скачком роста [30]. У девочек от I к III стадии пубертата происходит рост уровня эстрадиола в слюне ($p<0,05$). Такой паттерн увеличения уровня половых стероидов наблюдали другие исследователи [27]. Корреляционный анализ выявил статистически значимую связь между концентрацией эстрадиола и ростом ($r=0,25$; $p<0,05$), весом ($r=0,31$; $p<0,05$), жировой массой ($r=0,24$; $p<0,05$) и стадией пубертата ($r=0,32$; $p<0,01$).

Известно, что эндокринной системе принадлежит важная роль в регуляции процессов роста и развития. В ходе пубертата под действием половых гормонов происходит усиление обмена веществ, что способствует интенсификации ростовых процессов. Антропометрические данные, полученные у детей, находящихся на разных стадиях полового созревания, представлены в таблице 2. В целом по группе, мальчики достоверно отличаются от девочек по основным антропометрическим показателям (по длине тела: $147,04\pm 0,87$ см против $143,62\pm 0,94$ см; $p<0,001$ и по массе тела: $40,54\pm 1,03$ кг против $36,12\pm 0,96$ кг $p<0,01$). У мальчиков, находящихся на I и II стадии полового созревания, длина, масса тела, содержание жира и индекс массы тела практически не отличались. От II к III стадии полового созревания происходит достоверное увеличение длины тела ($p<0,01$). У девочек наблюдается отчетливое увеличение длины тела от I к III стадии ($p<0,001$) и массы тела от II к III стадии пубертата. При сравнении детей одного биологического возраста обнаружили, что мальчики и девочки по показателям физического развития отличаются только на I стадии пубертата ($p<0,001-0,01$).

Жировая ткань является важным компонентом состава тела человека, который информирует о состоянии нейроэндокринной системы и двигательном режиме [6]. Нормальное содержание жировой ткани в организме является необходимым условием его жизнедеятельности, тогда как её повышенный уровень становится фактором риска развития сердечно-сосудистой и эндокринной патологии [13]. В целом по группе у девочек выше содержание жировой массы тела ($19,56 \pm 0,82$ % против $16,04 \pm 0,64$ %; $p < 0,01$). В динамике этого показателя в пубертате отмечаются разнонаправленные изменения: у мальчиков от I к III стадии пубертата оно снижается ($p < 0,05$), а у девочек увеличивается, что объясняется влиянием эстрадиола и лептина, уровень которых растёт, способствуя половому развитию и региональному распределению жира [35]. Половые различия по содержанию жировой массы тела наиболее выражены на III стадии ($p < 0,01$).

Таблица 2

*Показатели физического развития
у детей разного биологического возраста*

стадия	n	длина тела, см	масса тела, кг	жировая масса тела, %	индекс массы тела, кг/м ²
м а л ь ч и к и					
I	25	144,92±1,56b**	39,67±1,90b**	17,39±1,03	18,70±0,61b*
II	25	144,63±1,17a _{II-III} **	38,82±1,52	16,61±1,26	18,45±0,55
III	25	151,67±1,39a _{I-III} **	43,19±1,89	14,10±0,90a _{I-III} * b**	18,60±0,53
д е в о ч к и					
I	25	138,89±1,39a _{I-II} *	32,42±1,22	18,93±1,24	16,77±0,55
II	25	143,86±1,21a _{II-III} **	35,87±1,48a _{II-III} *	19,54±1,32	17,29±0,58
III	25	149,52±1,65a _{I-III} **	41,32±1,96a _{I-III} **	20,44±1,85	18,44±0,76

*Примечание: a – достоверность различий между показателями в группах мальчиков и девочек разного биологического возраста; b – достоверность различий между показателями в группе мальчиков и девочек одного биологического возраста; * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$.*

Для изучения связей между показателями физического развития и степенью полового созревания был проведён корреляционный анализ. Как и предполагалось, обнаружили тесные связи между стадией пубертата и длиной тела ($r=0,36$ у мальчиков и $r=0,54$ у девочек; $p < 0,01$), массой тела ($r=0,43$; $p < 0,01$ у девочек), % ЖМТ ($r=-0,24$; $p < 0,05$ у мальчиков). Аналогичную зависимость наблюдали и другие авторы у 10-16-летних детей [9].

Таблица 3

Показатели временного и спектрального анализа вариабельности ритма сердца у подростков на I-III стадиях полового созревания

показатели	пол	стадии полового созревания		
		I	II	III
RRNN, мс	м	674,28±15,9	683,34±12,7	705,52±18,6
	д	664,82±18,2	628,25±14,8	649,78±16,5
SDNN, мс	м	54,24±3,9	58,88±4,1	63,40±5,6
	д	62,04±4,8	53,46±5,9	52,94±4,0
RMSSD, мс	м	45,48±5,1	51,81±6,0	58,24±5,4
	д	52,88±6,7	43,84±8,2	38,47±4,2 _{a1-III} *
pNN50, %	м	19,98±3,9	21,95±3,5	26,51±4,2
	д	24,41±4,3	17,96±3,4	16,53±4,2
TP, мс ²	м	4119,96±498,7	4853,81±443,7	5522,52±535,7 _{a1-III} *
	д	5827,92±469,5	4835,92±466,7	4332,26±457,3 _{a1-III} *
VLF, мс ²	м	1125,64±116,22	1191,00±126,9	1444,88±232,8
	д	1488,28±165,9	1316,73±145,6	1439,36±165,3
LF, мс ²	м	1296,36±124,5	1508,19±138,4	1790,64±220,3
	д	1660,72±121,6	1483,57±166,9	1493,78±185,4
HF, мс ²	м	1698,12±203,8	2154,61±243,7	2286,88±287,8 _{a1-III} *
	д	2679,16±300,4	2035,76±256,7	1399,36±168,6 _{a1-III} *
LF, п.у.	м	48,80±3,2	46,37±3,0	51,14±3,5
	д	46,38±3,7	51,31±3,5	55,56±3,4
HF, п.у.	м	51,20±3,2	53,63±3,0	48,85±3,6
	д	53,62±3,7	48,69±3,5	44,43±3,4
LF/HF	м	2,68±1,2	1,08±0,2	1,32±0,2
	д	1,05±0,2	3,45±1,5	1,50±0,2
VLF, %	м	29,58±2,2	28,10±2,6	28,33±2,3
	д	29,97±2,7	29,33±2,3	37,23±3,2
LF, %	м	33,46±2,5	32,01±1,9	35,72±2,5
	д	29,74±2,1	35,45±2,5	34,62±2,7
HF, %	м	37,36±2,8	39,88±3,2	35,94±3,2
	д	40,40±3,6	35,11±3,2	28,08±3,0
AP	м	4,31±1,1	3,35±0,6	4,65±0,6
	д	3,23±0,3	3,87±0,8	4,65±0,4

Примечание: а – достоверность различий между показателями в группах мальчиков и девочек разного биологического возраста; * - $p < 0,05$.

Исследование нейровегетативного статуса подростков на начальных стадиях полового созревания показало, что у всех обследованных детей частотный спектр

вариабельности ритма сердца (ВРС) характеризовался хорошо выраженными волнами высокой, низкой и очень низкой частот (табл. 3).

Выявлены возрастные и половые особенности автономной нервной регуляции сердечного ритма: у мальчиков от I к III стадии отмечается усиление суммарных нейрогуморальных влияний (TP, mc^2), а также увеличивается активность парасимпатического отдела автономной нервной системы (HF, mc^2); у девочек же, наоборот, от I к III стадии пубертата наблюдается уменьшение общей мощности спектра (TP, mc^2) и высокочастотного компонента (HF, mc^2 ; RMSSD, мс), что свидетельствует о снижении активности парасимпатических влияний на ритм сердца.

По нашему мнению, данные половые особенности вариабельности ритма сердца связаны с нарастанием концентрации половых гормонов от I к III стадии пубертата. Установлено, что кардиотропные эффекты половых гормонов могут быть обусловлены их прямым влиянием на сердечную ткань [24; 29] или через модуляцию вегетативного тонуса [41]. Корреляционный анализ между показателями ВРС и половыми гормонами выявил наличие достоверных отрицательных связей эстрадиола с мощностью волн высокой частоты у девочек ($r = -0,41$ при $p < 0,01$). В литературе встречаются данные о положительной корреляции между андрогенами и парасимпатической активностью у подростков и взрослых мужчин [19; 22].

Ортостатическая проба является одним из наиболее простых и безопасных функциональных тестов, который позволяет оценить уровень адаптационных резервов организма подростков. Все учащиеся в зависимости от значений показателя «адаптационные резервы» (AP) были разделены на 3 группы (табл. 4). Группу А (с хорошими AP) составили в зависимости от биологического возраста от 48 % до 56 % всех испытуемых. Группу В (с удовлетворительными AP) составили в зависимости от возраста от 28 % до 32 % всех испытуемых. Группу С (со сниженными AP) составили в зависимости от возраста от 16 % до 24 % всех испытуемых.

Наибольшие различия в автономной нервной регуляции СР выявлены между детьми крайних групп (группы А и С) независимо от стадии пубертата (рис.1) Дети с хорошими AP характеризуются достоверно более высокой общей мощностью спектра за счет более высокой мощности всех показателей высокочастотного компонента (HF). Структура симпатико-парасимпатического воздействия на сердечный ритм у детей с плохими AP характеризуется большим вкладом в регуляцию СР центральных эрготропных (VLF) и симпатических (LF) влияний. Выявленные различия регуляторных влияний на СР между детьми крайних групп свидетельствуют о том, что в состоянии покоя дети со сниженными AP по сравнению с испытуемыми с хорошими AP характеризуются большим напряжением механизмов регуляции сердечного ритма.

Таблица 4

*Распределение подростков разного биологического возраста
по уровню адапционных резервов (%)*

стадия пубертата	пол	группы		
		А	В	С
I	м	56	28	16
	д	50	30	20
II	м	48	31	21
	д	52	30	18
III	м	49	29	22
	д	44	32	24

Примечание: А – высокие, В – удовлетворительные, С – сниженные адапционные резервы.

Известно, что участие высших уровней управления сердечным ритмом свидетельствует о напряжении регуляторных механизмов [3]. Кроме того, функциональный резерв организма тем выше, чем ниже напряжение регуляторных механизмов, необходимых для сохранения сердечно-сосудистого гомеостаза [1]. У испытуемых с удовлетворительными АР вклад волн разной частоты в общую мощность спектра примерно одинаков, что свидетельствует о равнозначности симпато-парасимпатических, гуморально-метаболических и центральных эрготропных регуляторных влияний на сердечный ритм.

Корреляционный анализ между показателями ВРС и АР выявил наличие достоверных положительных связей АР с общей мощностью спектра ТР, mc^2 ($r=0,91-0,93$ при $p<0,01$), мощностью волн высокой частоты - HF, mc^2 , HF, %, HF, п.у. ($r=0,65-0,75$ при $p<0,01$), и отрицательных связей с мощностью волн низкой частоты LF, mc^2 , LF, %, LF, п.у. ($r=0,46-0,63$ при $p<0,01$) и очень низкой частоты - VLF, mc^2 , VLF, % ($r=(-0,58)-(-0,62)$ при $p<0,01$), что указывает на прямую зависимость уровня адапционных резервов от активности парасимпатического отдела АНС и обратную зависимость от симпатических, центральных и гуморально-метаболических влияний на СР. Связей показателя АР с уровнем половых гормонов, кортизола, ДГЭА и показателями физического развития не выявлено.

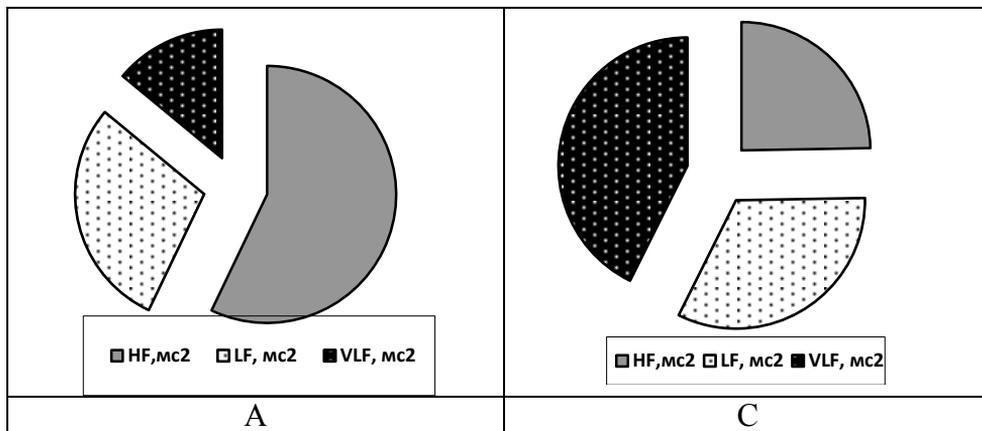


Рис. 1. Вклад волн разной частоты в общую мощность спектра у подростков с хорошими (А) и сниженными (С) адаптационными резервами

В подростковом возрасте организм очень чувствителен к влиянию факторов среды, действие которых вызывает повышение психоэмоционального напряжения детей. Подростки отличаются повышенной возбудимостью и эмоциональной неустойчивостью, поэтому оценку психоэмоционального статуса испытуемых проводили с учётом биологического возраста. Установили, что девочки на III стадии пубертата чаще испытывают фрустрацию потребности в достижении успеха ($p < 0,01$), страх и проблемы в отношениях с учителями ($p < 0,05$), чем девочки, находящиеся на I-II стадии полового развития. У мальчиков достоверных различий по показателям психоэмоционального статуса в зависимости от степени биологической зрелости не выявлено.

Кортизол – главный стрессовый гормон коры надпочечников. В целом по группе среднее значение его уровня в утренней слюне составило $6,47 \pm 0,16$ нг/мл и колебалось в диапазоне от 2,17 до 13,09 нг/мл. При этом концентрация кортизола у девочек была достоверно выше, чем у мальчиков ($6,90 \pm 0,26$ нг/мл против $6,01 \pm 0,19$ нг/мл; $p < 0,01$). Уровень кортизола в слюне как у мальчиков, так и у девочек на разных стадиях пубертата был примерно одинаковым (рис. 2). При сравнении уровня кортизола в группах мальчиков и девочек одного биологического возраста достоверные различия удалось выявить только на II стадии полового созревания ($5,93 \pm 0,33$ нг/мл у мальчиков против $7,33 \pm 0,35$ нг/мл у девочек; $p < 0,01$). Наши результаты подтверждают литературные данные об относительной стабильности функционирования гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой оси у детей и подростков [33, 38].

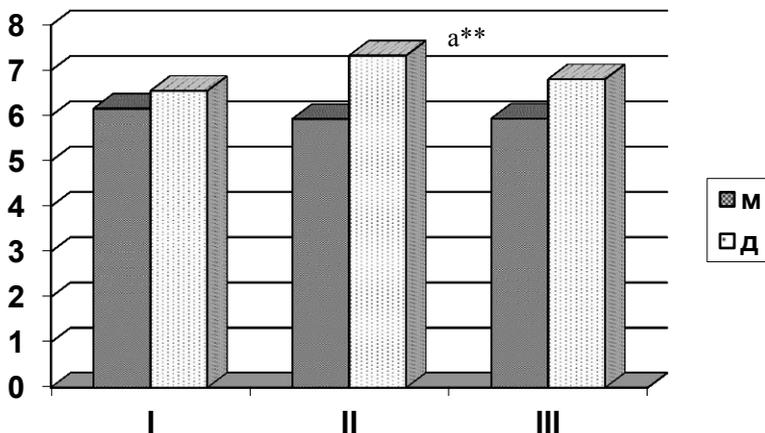


Рис.2. Уровень кортизола в слюне у подростков на начальных стадиях пубертата

*Примечание: a** – достоверность различий между уровнем кортизола в группах мальчиков и девочек одного биологического возраста при $p < 0,01$*

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Период полового созревания является одним из ответственных этапов развития организма детей, в ходе которого изменяется их гормональный статус: от I к III стадии пубертата происходит увеличение концентрации в слюне как ДГЭА – предшественника половых гормонов, так и самих половых стероидов: тестостерона и эстрадиола. Увеличиваются основные показатели физического развития (длина и масса тела). Содержание и динамика жировой массы тела в пубертате зависит от пола: у девочек она растет по мере полового развития, а у мальчиков – снижается. Изменяется нейровегетативный статус подростков: у мальчиков от I к III стадии отмечается усиление суммарных нейрогуморальных влияний, а также увеличивается активность парасимпатического отдела автономной нервной системы; у девочек же, наоборот, от I к III стадии пубертата наблюдается уменьшение общей мощности спектра и снижение активности парасимпатических влияний на ритм сердца. Психозоциональный статус детей на разных стадиях полового созревания отличается: у девочек от I к III стадии пубертата усиливается фрустрацию потребности в достижении успеха, страх и проблемы в отношениях с учителями. Уровень кортизола в утренней слюне различается в зависимости от пола: у девочек он достоверно выше, чем у мальчиков. Изменение концентрации корти-

зола в ходе пубертата у представителей обоих полов не обнаружено.

Работа выполнена при поддержке РГНФ (грант № 15-06-10893-а).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агаджанян, Н.А. Экологическая безопасность и здоровье / Н.А. Агаджанян, А.П. Гужвин, И.Н. Полуниин и др. – М. Астрахань, 2000. – 145 с.
2. Баевский, Р.М. Математический анализ изменений сердечного ритма при стрессе / Р.М. Баевский, О.И. Кириллов, С.Э. Клецкин. – М.: Наука, 1984. – 214 с.
3. Баевский, Р.М. Оценка адаптационных возможностей организма и риск развития заболеваний / Р.М. Баевский, А.П. Берсенева. – М.: Медицина, 1997. – 235 с.
4. Баевский, Р.М. Анализ variability сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем (методические рекомендации) / Р.М. Баевский, Г.Г. Иванов, А.В. Чирейкин и др. // Вестник аритмологии. – 2001. – № 24. – С. 65-87.
5. Воропаев, Д.С. Взаимосвязь variability ритма сердца и нейродинамических свойств нервной системы у подростков 14-16 лет / Д.С. Воропаев, О.А. Ежова // Variability сердечного ритма: Теоретические аспекты и практическое применение / Мат. IV всеросс. симп. – Ижевск, УДГУ, 2008. – С. 68-71.
6. Зайцев, А.А. Изменение выраженности жировой массы у спортсменок 9-20 лет различных соматических типов / А.А. Зайцев // Вестник ВГУ. Серия: Химия. Биология. Фармация. – 2005. – № 2. – С. 126-130.
7. Колесов, Д.В. Физиолого-педагогические аспекты полового созревания / Д.В. Колесов, Н.Б. Сельверова. – М.: Педагогика, 1978. – 224 с.
8. Комкова, Ю.Н. Познавательное развитие и функциональное состояние организма подростков 15-16 лет с разным опытом работы за компьютером / Ю.Н. Комкова: Автореф. ... дисс. канд. биол. наук. – М., 2011. – 22 с.
9. Мартиросов, Э.Г. Биоимпедансная оценка состава тела у детей 10-16 лет с использованием анализатора ABC-01 «Медасс». 2006. / Э.Г. Мартиросов, Д.В. Николаев, Н.Д. Николаева [и др.]
URL: [http:// www.medass.ru](http://www.medass.ru)
10. Михайлов, В.М. Variability ритма сердца: опыт практического применения / В.М. Михайлов. – Иваново: Иван. гос. мед. академия, 2002. – 290 с.
11. Михайлов В.М. Оценка функционального состояния (ФС) и адаптационных резервов у подростков-хоккеистов по данным variability ритма сердца. Влияние физической нагрузки на ФС / В.М. Михайлов. – 2006.
URL: [//www.neurosoft.ru](http://www.neurosoft.ru)

12. Назаренко, С.Ю. Вариабельность сердечного ритма у подростков Архангельской области / С.Ю. Назаренко: Автореф. ... дисс. канд. мед. наук. – Архангельск, 2007. – 19 с.

13. Ожирение / под ред. И.И. Дедова, Г.А. Мельниченко. – М.: Медицинское информационное агентство, 2006. – 456 с.

14. Поскотинова, Л.В. Соотношение показателей вариабельности сердечного ритма и эндокринного статуса у подростков на Севере в процессе полового созревания / Л.В. Поскотинова, Д.Б. Дёмин, Е.В. Кривоногова // Экология человека. – 2009. – № 7. – С. 27-32.

15. Прихожан, А.М. Психология тревожности: дошкольный и школьный возраст / А.М. Прихожан. – М.: Питер, 2009. – 192 с.

16. Шарапов, А.Н. Функциональные характеристики кардио-васкулярной системы у младших школьников с различными типами вариабельности сердечного ритма / А.Н. Шарапов, В.Н. Безобразова, С.Б. Догадкина [и др.] // Новые исследования. – 2015. – Т. 42, № 1. – С. 38-49.

17. Aguilar G.M.J. Salivary cortisol as an indicator of physiological stress in children and adults; a systematic review / G.M.J. Aguilar, L.A.M. Sanchez, V.N. Mur [et al.] // Nutr. Hosp. – 2014. – V, 29, № 5. – P. 960-968.

18. Bernardi, L. Effects of controlled breathing, mental activity and mental stress with or without verbalization on heart rate variability / Bernardi, L., Wdowczyk-Szulc, J., Valenti, C., Castoldi, S., Passino, C., Spadacini, G. and Sleight, P. // Journal of the American College of Cardiology. – 2000. – № 35 (6). – P. 1462-1469.

19. Blood, J.D. The variable heart: High frequency and very low frequency correlates of depressive symptoms in children and adolescents / J.D. Blood, J. Wu, T.M. Chaplin [et al.] // J. Affect. Disord. – 2015. – V. 186. – P. 119-126.

20. Butler, G.E. Salivary testosterone levels and the progress of puberty in the normal boy / G.E. Butler, R.F. Walker, R.V. Walker [et al.] // Clin. Endocrinol. (Oxf). – 1989. – V. 30, № 5. – P. 587-596.

21. Dieleman G.C., Huizink A.C., Tulen J.H. [et al.] Alterations in HPA-axis and autonomic nervous system functioning in childhood anxiety disorders point to a chronic stress hypothesis / G.C. Dieleman, A.C. Huizink, J.H. Tulen [et al.] // Psychoneuroendocrinology. – 2015. – V. 51. – P. 135-150.

22. Dođru, M.T. The relationship between serum sex steroid levels and heart rate variability parameters in males and the effect of age / M.T. Dođru, M.M. Basar, E. Yuvanc [et al.] // Turk. Kardiyol. Dern. Ars. – 2010. – V. 38, № 7. – P. 459-465.

23. Granger, D.A. The "trouble" with salivary testosterone / D.A. Granger, E.A. Shirtcliff, A. Booth [et al.] // Psychoneuroendocrinology. – 2004. – V. 29, № 10. – P. 1229-1240.

24. Ingegno M., Money S., Thelmo W. et al. Progesterone receptors in the human heart and great vessels // Lab Invest. – 1988. – Vol. 59. – P. 353-356.

25. Hampson, E. Steroid concentrations in antepartum and postpartum saliva: normative values in women and correlations with serum / E. Hampson, S.D. Phillips, C.N. Soares [et al.] // *Biol. Sex. Differ.* – 2013. – V. 4, № 1. – P. 7-18.
26. Harden, K.P. Genetic and environmental influences on testosterone in adolescents: evidence for sex differences / K.P. Harden, N. Kretsch, J.L. Tackett [et al.] // *Dev. Psychobiol.* – 2014. – V. 56, № 6. – P. 1278-1289.
27. Kang, J.Y. Puberty-related changes in cortisol, dehydroepiandrosterone, and estradiol-17 β secretions within the first hour after waking in premenarcheal girls / J.Y. Kang, J.Y. Park, S.I. Chum [et al.] // *Neuroendocrinology.* – 2014. – V. 99, № 3-4. – P. 168-177.
28. Kushnir, M.M. Liquid chromatography-tandem mass spectrometry assay for androstenedione, dehydroepiandrosterone, and testosterone with pediatric and adult reference intervals / M.M. Kushnir, T. Blamires, A.L. Rockwood [et al.] // *Clin. Chem.* – 2010. – V. 56, № 7. – P. 1138-1147.
29. McGill H.J. The heart is a target organ for androgen/ H.J. McGill, V. Anseimo, J. Buchanan, P. Sheridan // *Science.* – 1980. – Vol. 207. – P. 775–777.
30. Matchock, R.L. Diurnal and seasonal cortisol, testosterone, and DHEA rhythms in boys and girls during puberty / R.L. Matchock, L.D. Dorn, E.J. Susman // *Chronobiol. Int.* – 2007. – V. 24, № 5. – P. 969-990.
31. Michels, N. Children's heart rate variability as stress indicator: Association with reported stress and cortisol / N. Michels, I. Sioen, E. Clays [et al.] // *Biol. Psychol.* – 2013. – V. 94, № 2. – P. 433-440.
32. Mouritsen, A. The pubertal transition in 179 healthy Danish children: associations between pubarche, adrenarche, gonadarche, and body composition / A. Mouritsen, L. Aksglaede, K. Soerensen // *Eur. J. Endocrinol.* – 2012. – V. 168, № 2. – P. 129-136.
33. Noppe, G. Validation and reference ranges of hair cortisol measurement in healthy children / G. Noppe, E.F. van Rossum, J.W. Kope [et al.] // *Horm. Res. Paediatr.* – 2014. – V. 82, № 2. – P. 97-102.
34. Park S.B. Standardized tests of heart rate variability for autonomic function tests in healthy Koreans / S.B. Park, B.C. Lee, K.S. Jeong // *International Journal of Neuroscience.* – 2007. – Vol. 117, № 12. – P. 1707-1717.
35. Rogol, A.D. Sex steroids, growth hormone, leptin and the pubertal growth spurt / A.D. Rogol // *EndocrDev.* – 2010. – V. 17. – P. 77-85.
36. Saczawa, M.E. Methodological considerations in use of the cortisol/DHEA(S) ratio in adolescent populations / M.E. Saczawa, J.A. Graber, J. Brooks-Gunn [et al.] // *Psychoneuroendocrinology.* – 2013. – V. 38, № 11. – P. 2815-2819.
37. Sandercock G. Normative values, reliability and sample size estimates in heart rate variability / G. Sandercock // *Clinical Science (London).* – 2007. – Vol. 113, № 3. – P. 129-130.

38. Shirtcliff, E.A. Longitudinal stability and developmental properties of salivary cortisol levels and circadian rhythms from childhood to adolescence / E.A. Shirtcliff, A.L. Allison, J.M. Armstrong [et al.] // *Dev. Psychobiol.* – 2012. – V. 54, № 5. – P. 493-502.

39. Thankamony, A. Higher levels of IGF-I and adrenal androgens at age 8 years are associated with earlier age at menarche in girls / A. Thankamony, K.K. Ong, M.L. Ahmed // *J. Clin. Endocrinol. Metab.* – 2012. – V. 97, № 5. – P. 786-790.

40. Vandewalle, S. Sex steroids in relation to sexual and skeletal maturation in obese male adolescents / S. Vandewalle, Y. Taes, T. Fiers [et al.] // *J. Clin. Endocrinol. Metab.* 2014. – V. 99, № 8. – P. 2977-2985.

41. Villareal, R.P. Gender and cardiac arrhythmias / R.P. Villareal, A.L. Woodruff, A. Massumi // *Tex. Heart. Inst. J.* – 2001. – V. 28, № 4. – P. 265-275.