

УДК 612.821

ВОЗРАСТНО-ПОЛОВЫЕ И ТИПОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВЕГЕТАТИВНОГО, ГОРМОНАЛЬНОГО И ИММУННОГО СТАТУСА СТАРШИХ ПОДРОСТКОВ

© 2020 г. Л. А. Варич¹, *, Э. М. Казин¹, Н. В. Немолочная¹,
О. Л. Тарасова¹, А. В. Бедарева¹, И. Л. Васильченко¹

¹ФГБОУ ВО Кемеровский государственный университет, Кемерово, Россия

*E-mail: varich2002@mail.ru

Поступила в редакцию 08.11.2019 г.

После доработки 21.01.2020 г.

Принята к публикации 20.03.2020 г.

Выявлены возрастные, половые и типологические особенности вегетативного, эндокринного статуса и неспецифической резистентности организма старших подростков, обучающихся в образовательной организации интернатного типа. Показано, что у старших подростков отмечается снижение активности симпатического звена в регуляции вегетативных функций, увеличение концентрации кортизола, повышение уровня тестостерона у мальчиков и снижение его у девочек в процессе их полового созревания. Установлена зависимость показателей вегетативной и гормональной регуляции подростков с особенностями пубертатного развития, выражающаяся в формировании экономичных нейроэндокринных взаимоотношений при переходе на IV – у мальчиков и V – у девочек стадию полового созревания. Определено, что в старшем подростковом возрасте оптимальным типом вегетативной регуляции для мальчиков является ваготония, а для девочек сбалансированный исходный вегетативный тонус: подростки-мальчики с ваготоническим типом вегетативной регуляции отличаются от сверстников с симпатикотонией и эйтонией повышением уровня кортизола и тестостерона, достаточно высоким уровнем неспецифической резистентности организма; для девочек-эйтонок характерной особенностью является снижение уровня тестостерона при оптимальном функциональном состоянии организма. Результаты исследования свидетельствуют о прогностической значимости анализируемых параметров для оценки адаптивных возможностей организма подростков в процессе обучения.

Ключевые слова: старшие подростки, стадия полового созревания, тип вегетативной регуляции, кортизол, тестостерон, неспецифическая резистентность, адаптация.

DOI: 10.31857/S013116462004013X

Индивидуальные характеристики ребенка, формирующиеся в процессе его развития, с одной стороны, являются результатом адаптации к воздействию факторам на каждом этапе онтогенеза, с другой стороны, определяют приспособительные возможности в последующие периоды индивидуального развития. Комплекс сформированных и взаимосвязанных свойств и качеств организма, определяющих результат адаптационного процесса на разных уровнях функциональной системы индивида, обозначается понятием “адаптационный потенциал личности” [1–3]. С медико-биологических позиций адаптационный потенциал – это количественное выражение уровня функционального состояния организма и его систем, характеризующее его способность адекватно и надежно реагировать на комплекс неблагоприятных факторов при экономной трате функциональных резервов, что позволяет

предотвратить развитие дезадаптивного состояния [4].

Формирование адаптационного потенциала обеспечивается всем комплексом изменений физиологических систем организма, в первую очередь регуляторных, и обусловлено влиянием эндогенных (внутренних) и экзогенных (внешних) факторов. К внутренним факторам можно отнести возраст, половую принадлежность, генетически детерминированные особенности морфофункционального и психофизиологического развития организма. Среди внешних факторов адаптации обучающихся важная роль принадлежит образовательной среде, включающей, в частности, организационно педагогические условия учебной деятельности [1, 5].

Особого внимания в оценке деятельности регуляторных механизмов, приводящих к пере-

стройке внутренней среды организма в соответствии с внешними условиями, заслуживает пубертатный период онтогенеза [6].

Формирования адаптационного потенциала в пубертатный период онтогенеза в процессе обучения необходимо рассматривать в неразрывном единстве возрастных, половых и индивидуально-типологических особенностей функционирования основных регуляторных систем организма (нервной и эндокринной). Это определило цель настоящего исследования, которая заключалась в оценке показателей вегетативного, гормонального и иммунного статуса старших подростков с учетом возрастных, половых и типологических особенностей.

МЕТОДИКА

Для выполнения поставленной цели были обследованы подростки (116 чел. в возрасте 14–16 лет), обучающиеся в лицей-интернате г. Кемерово, которые находились в одинаковых условиях проживания и обучения. Исследование проводили с октября по декабрь 2018 г.

С помощью автоматизированной кардиоритмографической программы проводили оценку показателей variability сердечного ритма (BCP): мода (Mo , с) – наиболее часто встречающиеся значения кардиоинтервалов $R-R$; амплитуда моды (AMo , %) – выраженное в процентах число значений интервалов, соответствующих моде; вариационный размах ($MxDMn$, с) – разность между величиной наибольшего и наименьшего кардиоинтервалов; среднее квадратическое отклонение ($SDNN$, мс) – характеризует вагусную регуляцию; среднеквадратичное различие между длительностью соседних $R-R$ -интервалов ($RMSSD$, мс) – мера BCP с малой продолжительностью циклов; индекс напряжения регуляторных систем (ИН, усл. ед.) – интегральный показатель, отражающий напряжение в регуляции вегетативных функций [7, 8]. В результате спектрального анализа вычисляли следующие волновые характеристики: высокочастотный компонент (HF , $мс^2$) – показатель мощности в диапазоне высоких частот (0.4–0.15 Гц), который связан с дыхательными движениями и отражает вагусный контроль сердечного ритма; низкочастотный компонент (LF , $мс^2$) – показатель мощности в диапазоне низких частот (0.15–0.04 Гц), имеет смешанное происхождение и связан как с вагусным, так и с симпатическим контролем сердечной деятельности, характеризует состояние системы регуляции сосудистого тонуса; очень низкочастотный компонент (VLF , $мс^2$) – показатель мощности в диапазоне очень низких частот (0.04–0.015 Гц); индекс централизации (IC ,

усл. ед.) – отражает напряжение центрального контура регуляции.

Оценка эндокринного статуса подростков предполагала определение свободного кортизола и тестостерона в слюне с помощью конкурентного иммуноферментного анализа [9–11]. Сбор слюны проводили через 1.5 ч после пробуждения, затем ее подвергали заморозке. Концентрацию гормонов в исследуемых образцах определяли по калибровочному графику зависимости оптической плотности от содержания свободного кортизола и тестостерона в калибровочных пробах. Концентрацию кортизола оценивали в нг/мл, тестостерона в нмоль/л. Референсные пределы набора, используемого для определения гормонов в слюне, составляли: кортизол – 0.9–11.5 нг/мл [10]; тестостерон – 0.2–1.16 нмоль/л для мужского пола и 0.03–0.47 нмоль/л для женского пола [11].

Определение секреторного IgA, отражающего неспецифическую резистентность, осуществляли методом твердофазного иммуноферментного анализа. Пределы набора для исследуемого образца составили 57–260 мкг/мл [12].

Статистическую обработку полученных данных проводили с помощью пакета прикладных программ “Statistica 8”. Для каждого изучаемого параметра вычисляли среднее значение (M), ошибку репрезентативности средней (m). Достоверность различия признаков (p) в сравниваемых группах оценивали по U -критерию Манна–Уитни. Вычисляли коэффициенты корреляции по критерию значимости Спирмена [13].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При анализе возрастной динамики показателей BCP подростков, отражающих вагусные влияния на сердечный ритм (Mo , $MxDMn$, $SDNN$), было отмечено их достоверное увеличение с возрастом ($p < 0.05$). У обследуемых наблюдалось снижение активности симпатического звена регуляции, показателем которой является амплитуда моды (AMo , ИН). Наибольшие различия изучаемых показателей наблюдались между старшими подростками 14-ти и 16-ти лет (табл. 1). Это соответствует общепринятому представлению об экономизации функционирования сердечно-сосудистой системы с возрастом, выражающееся в увеличении вагусных влияний на сердечный ритм и повышении функциональных возможностей сердца [8, 14].

Сравнительный анализ показателей BCP подростков с учетом пола показал, что мальчики отличаются от девочек более высокими значениями показателей Mo , $SDNN$, $MxDMn$ и низкими AMo , ИН, характеризующими симпато-адреналовую активность в регуляции сердечной деятельности,

Таблица 1. Показатели вариабельности сердечного ритма (ВСР) подростков с учетом возраста и пола

Показатели	Пол	14 лет (<i>n</i> = 34)	15 лет (<i>n</i> = 38)	16 лет (<i>n</i> = 44)	<i>p</i> < 0.05
<i>Mo</i> в покое, с	м	0.830 ± 0.04 <i>a</i>	0.811 ± 0.03	0.860 ± 0.03	1–3 1–3
	д	0.720 ± 0.02 <i>a</i>	0.790 ± 0.02	0.830 ± 0.02	
	все	0.754 ± 0.02	0.800 ± 0.02	0.842 ± 0.02	
<i>Mo</i> в орто, с	м	0.588 ± 0.03	0.635 ± 0.03	0.670 ± 0.03	1–2 1–3
	д	0.586 ± 0.01	0.651 ± 0.01	0.640 ± 0.02	
	все	0.587 ± 0.01	0.644 ± 0.01	0.653 ± 0.02	
<i>AMo</i> в покое, %	м	34.8 ± 3.8 <i>a</i>	39.8 ± 2.7	30.3 ± 1.4 <i>c</i>	1–2 1–3 1–3
	д	47.8 ± 2.6 <i>a</i>	39.6 ± 4.5	40.8 ± 2.7 <i>c</i>	
	все	43.8 ± 2.4	39.7 ± 2.7	36.5 ± 1.9	
<i>AMo</i> в орто, %	м	61 ± 7.5	42.1 ± 3.6 <i>b</i>	54.8 ± 5.4	1–2 2–3 1–2
	д	55.9 ± 2.9	53.4 ± 3.2 <i>b</i>	55.5 ± 2.9	
	все	57.5 ± 3.1	48.1 ± 2.6	55.2 ± 2.8	
<i>MxDMn</i> в покое, с	м	0.308 ± 0.03 <i>a</i>	0.304 ± 0.03	0.330 ± 0.03	1–2 1–3 1–2 1–3
	д	0.217 ± 0.02 <i>a</i>	0.316 ± 0.036	0.273 ± 0.03	
	все	0.246 ± 0.02	0.310 ± 0.03	0.310 ± 0.02	
<i>MxDMn</i> в орто, с	м	0.188 ± 0.05	0.210 ± 0.01	0.270 ± 0.05 <i>c</i>	2–3
	д	0.220 ± 0.03	0.225 ± 0.03	0.182 ± 0.01 <i>c</i>	
	все	0.210 ± 0.02	0.218 ± 0.02	0.219 ± 0.02	
<i>SDNN</i> в покое, мс	м	0.062 ± 0.006 <i>a</i>	0.059 ± 0.005	0.07 ± 0.006 <i>c</i>	2–3 1–2 1–2 1–3
	д	0.042 ± 0.003 <i>a</i>	0.058 ± 0.006	0.055 ± 0.005 <i>c</i>	
	все	0.048 ± 0.003	0.058 ± 0.004	0.061 ± 0.004	
<i>SDNN</i> в орто, мс	м	0.410 ± 0.01	0.044 ± 0.003	0.050 ± 0.01 <i>c</i>	0.038 ± 0.002 <i>c</i> 0.044 ± 0.004
	д	0.410 ± 0.01	0.045 ± 0.01	0.038 ± 0.002 <i>c</i>	
	все	0.0410 ± 0.01	0.045 ± 0.003	0.044 ± 0.004	
<i>RMSSD</i> в покое, мс	м	0.059 ± 0.004	0.055 ± 0.004	0.070 ± 0.01	2–3 1–3 1–2 1–3
	д	0.040 ± 0.003	0.060 ± 0.01	0.063 ± 0.01	
	все	0.046 ± 0.003	0.057 ± 0.003	0.066 ± 0.005	
<i>RMSSD</i> в орто, мс	м	0.019 ± 0.003	0.031 ± 0.004	0.040 ± 0.01	1–3
	д	0.039 ± 0.01	0.037 ± 0.01	0.024 ± 0.003	
	все	0.033 ± 0.01	0.034 ± 0.005	0.028 ± 0.004	
ИИ в покое, усл. ед.	м	88.5 ± 21.2 <i>a</i>	107.2 ± 17.9	64.1 ± 6.9 <i>c</i>	2–3 1–3 1–3
	д	210.7 ± 34.5 <i>a</i>	178.1 ± 73.5	134.5 ± 19.5 <i>c</i>	
	все	172.5 ± 26.4	144.7 ± 39.7	105.7 ± 12.8	
ИИ в орто, усл. ед.	м	488.2 ± 106.4	176.9 ± 22.7 <i>b</i>	392.5 ± 95.1	1–2 2–3 1–2 2–3
	д	305.9 ± 46.1	278.3 ± 44.5 <i>b</i>	303.3 ± 37.8	
	все	362.9 ± 47.4	230.6 ± 27.1	339.8 ± 44.7	
<i>VLF</i> , мс ²	м	2040.2 ± 375.8 <i>a</i>	2173 ± 338.2	5808 ± 1072.9 <i>c</i>	1–3 2–3 1–3 1–3 2–3
	д	949.4 ± 116.3 <i>a</i>	1477.6 ± 275.7	1902 ± 269.1 <i>c</i>	
	все	1290.3 ± 165.4	1804.8 ± 221	3499.8 ± 544.8	
<i>LF</i> , мс ²	м	2087.2 ± 485.1	2528.6 ± 502.9	2724.6 ± 497.8 <i>c</i>	1–2 2–3
	д	1228.4 ± 238.2	2954.2 ± 1278.1	1324.7 ± 166.7 <i>c</i>	
	все	1496.8 ± 229.9	2753.9 ± 707.8	1897.5 ± 246.3	
<i>HF</i> , мс ²	м	1037.2 ± 208.3	980 ± 204.1	1608.5 ± 256.3	2–3 1–3 1–3 2–3
	д	648 ± 123.5	958.1 ± 139.2	1363.9 ± 317.9	
	все	769.6 ± 109.9	968.4 ± 119.1	1464 ± 231.7	
<i>LF/HF</i> , усл. ед.	м	2.3 ± 0.4	2.6 ± 0.3 <i>b</i>	2.1 ± 0.2	1–2 2–3 1–2 2–3
	д	2.8 ± 0.5	4.1 ± 1.9 <i>b</i>	1.8 ± 0.2	
	все	2.6 ± 0.3	3.4 ± 0.9	1.9 ± 0.2	
<i>IC</i> , усл. ед.	м	2.1 ± 0.3	2.2 ± 0.3	0.93 ± 0.1 <i>c</i>	1–3 2–3 1–3 2–3
	д	2.7 ± 0.5	3.6 ± 0.6	2.3 ± 0.4 <i>c</i>	
	все	2.6 ± 0.4	2.9 ± 0.4	1.7 ± 0.2	

Примечание: 1–2 – достоверность различий между подростками 14 и 15 лет; 1–3 – достоверность различий между подростками 14 и 16 лет; 2–3 – достоверность различий между подростками 15 и 16 лет. *a* – достоверность различий между мальчиками и девочками 14 лет; *b* – достоверность различий между мальчиками и девочками 15 лет; *c* – достоверность различий между мальчиками и девочками 16 лет.

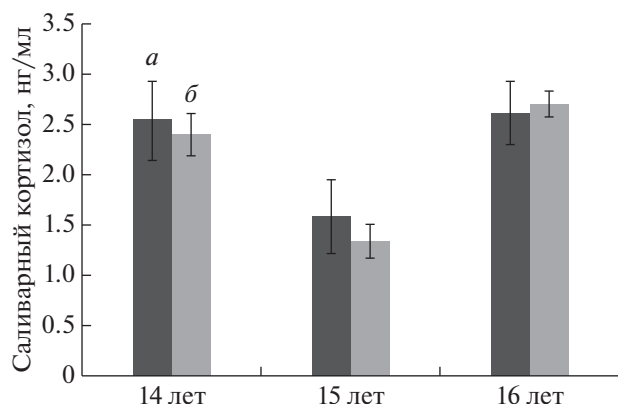


Рис. 1. Показатель концентрации слюварного кортизола у подростков с учетом возраста и пола (в нг/мл). *a* – мальчики, *б* – девочки. На графике представлены средние значения и стандартные ошибки.

с возрастом эта тенденция только усиливается (табл. 1).

С возрастом отмечается тенденция к увеличению показателя *SDNN*, отражающего общую ВСР, более высокие значения которого были характерны для подростков 16 лет.

Половые различия значений *SDNN* в покое наблюдались у подростков в 14 и 16 лет, выражающиеся в достоверно большем среднем значении изучаемого показателя у мальчиков. Это может быть связано с большими показателями ударного объема сердца и рефлекторной активности парасимпатического отдела вегетативной нервной системы (ВНС) у представителей мужского пола [15].

Возрастание вариабельности в общей мощности спектра с возрастом свидетельствует о повышении интенсивности вегетативных воздействий на сердечный ритм и увеличение параметров характеризующих парасимпатические влияния. Наблюдаемые волнообразные изменения параметров сердечного ритма у подростков разного пола, вероятно всего, демонстрируют сдвиги, имеющие адапционный характер.

У мальчиков-подростков была отмечена более выраженная реакция на ортостатическую пробу, выражающаяся в увеличении ИН в 2 раза по сравнению с покоем, у обучающихся женского пола, при более высоких значениях ИН в покое, регистрируется менее выраженное повышение данного показателя в ортостазе.

Показатель *VLF*, который отражает, по мнению ряда исследователей [15–17], активность надсегментарного уровня ВНС, достоверно увеличивается с возрастом, что особенно выражено у мальчиков. Половые различия значений показателя *VLF* отмечаются у подростков в возрасте 15 и 16 лет (табл. 1).

Параметр *HF*, характеризующий парасимпатические влияния на сердечный ритм, с возрастом увеличивается, проявляя отличительную особенность в динамике изменений, обусловленную полом. При анализе возрастной динамики соотношения *LF/HF*, характеризующего вагусно-симпатический баланс, была выявлена особенность, которая выражалась в более значительном увеличении данного показателя у девочек-подростков 15-ти лет, сопровождающаяся повышением централизации в регуляции вегетативных функций (табл. 1).

Предположение об адапционных перестройках вегетативного статуса подростков согласуется с результатами оценки уровня кортизола, являющегося адаптивным гормоном [18, 19].

Показано, что концентрация слюварного кортизола у девочек и мальчиков-подростков не имеет достоверных отличий в возрасте 14 и 16 лет. Однако отмечается достоверно низкие значения концентрации данного гормона в возрасте 15 лет, как у девочек, так и у мальчиков (рис. 1).

Кортизол не единственный гормон, широко изучаемый, как биомаркер в отношении адаптации, заболеваний и физического здоровья [20, 21]. По мнению ряда авторов, функциональное состояние организма подростка и его адаптивные возможности связаны с нарастанием концентрации половых гормонов анаболического действия в процессе полового созревания. Кардиотропные эффекты половых гормонов могут быть обусловлены их прямым влиянием на сердечную ткань [22] или через модуляцию вегетативного тонуса [23].

Анализ возрастной динамики концентрации тестостерона, определяемого в слюне подростков, позволил выявить его закономерное увеличение у мальчиков и снижение у девочек с возрастом, что является возрастно-половой особенностью, соответствующей стадиям полового созревания (рис. 2).

Обследуемые мальчики 14 и 15 лет демонстрируют III стадию полового созревания, IV стадия отмечается у 78% подростков в 16 лет (табл. 2), что нашло отражение в резком увеличении уровня тестостерона в данном возрасте (рис. 2), так как IV стадия – период максимальной активности половых гормонов [6].

III стадия полового созревания – стадия активации гонад: у мальчиков она начинается в 12–14 лет, у девочек – в среднем на 2 года раньше. На этой стадии, в нашем исследовании, обнаружена корреляционная зависимость между показателями концентрации гормонов кортизола и тестостерона у мальчиков-подростков ($r = 0.53, p < 0.001$).

Оси гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковая и гипоталамо-гипофизарно-гонадная обычно рассматриваются как взаимно ингибиторные системы: стресс препятствует репродуктивной функции, а половые гормоны ослабляют стрессо-

вую реакцию [24–26]. Однако существуют исследования, в которых положительная связь между кортизолом и тестостероном рассматривается как уникальная для подросткового периода, когда в обеих осях возрастает активность после периода детства [27–29].

Среди девочек–подростков III стадии была отмечена только у 8% обследуемых. В возрасте 14–15 лет у девочек преобладала IV стадия полового созревания, а в 16 лет 79% девушек имели V стадию (табл. 2).

Рассматривая стадии полового созревания как один из критериев возрастного развития можно прийти к выводу об особенностях вегетативного и эндокринного статуса подростков, обусловленного полом и возрастом.

Выявлены выраженные половые различия в характере зависимости между стадиями полового созревания и показателями вегетативной регуляции. У мальчиков в зависимости от стадии полового созревания отмечаются достоверные отличия по всем изучаемым показателям, за исключением волновых характеристик (рис. 3), что отражает возрастную динамику повышения парасимпатических влияний на сердечный ритм у подростков мужского пола. При этом изменение концентрации тестостерона на IV стадии полового созревания у мальчиков в сторону его увеличения достоверно выше, чем на третьей. У девочек, находящихся на разных стадиях полового созревания достоверные отличия обнаружены только по показателю *LF/HF*, отражающего симпатические влияния на сердечный ритм; усиление симпатических влияний у девочек на IV стадии полового созревания обусловлено максимальной активностью гонад и стероидогенеза [6]. Именно на этой стадии можно наблюдать снижение концентрации IgA, отражающего неспецифическую резистентность, и кортизола (рис. 3).

Доказано, что интенсивность и направленность реакции любой регуляторной системы организма на стресс зависит от исходного уровня ее функционального состояния, причем реакция вегетативной и эндокринной систем организма на внешнее воздействие отличается у людей с разными типологическими особенностями [30].

Для выявления взаимосвязи между параметрами ВСП, показателями уровня гормонов и неспецифической резистентности организма с учетом типа вегетативной регуляции был проведен корреляционный анализ, который позволил выявить особенности вегетативно-гормональных и иммунных взаимоотношений, формирующихся в процессе адаптации подростков.

Из обобщенных данных корреляционного анализа, представленных в табл. 3, можно констатировать наличие тесных вегето-эндокринных связей у подростков с ваготоническим типом ве-

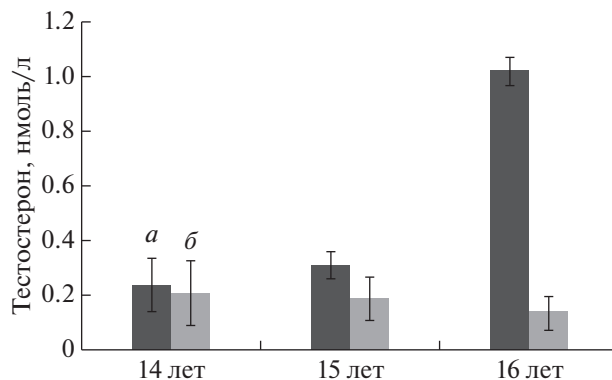


Рис. 2. Показатель концентрации тестостерона у подростков с учетом возраста и пола (в нмоль/л). Обозначения см. рис. 1.

гетативной регуляции, у которых усиление вагусных влияний на сердечный ритм сопровождается повышением уровня кортизола. Данная особенность соответствует концепции аллостаза, согласно которой активность парасимпатической части ВНС является наиболее важным показателем состояния оперативного покоя в оценке реакции на стресс [31].

У мальчиков с симпатикотонией были выявлены статистически значимые отрицательные корреляции концентрации кортизола с показателями ВСП, отражающими парасимпатические влияния на сердечный ритм; у девочек в зависимости от типа вегетативной регуляции наблюдалась противоположная тенденция (табл. 3).

Выявленные функциональные особенности согласуются с результатами оценки средних значений концентрации кортизола у представителей разных типов вегетативной регуляции, которая показала, что мальчики с симпатикотонией отличаются от сверстников более низким уровнем кортизола – 1.29 нг/мл, тогда как у девочек сни-

Таблица 2. Процентное распределение подростков по стадиям полового созревания с учетом возраста и пола

Стадия полового созревания	Пол	14 лет (n = 36)	15 лет (n = 38)	16 лет (n = 44)
III	м	100%	100%	22%
	д	8%		
IV	м			78%
	д	58%	56%	22%
V	м			
	д	34%	44%	79%

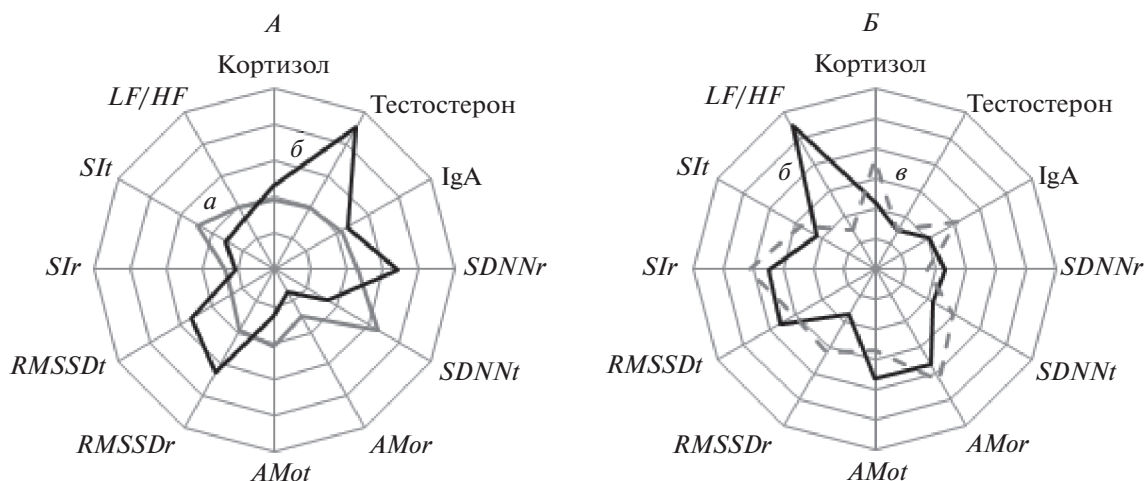


Рис. 3. Особенности вегетативного и эндокринного статуса подростков в зависимости от стадии полового созревания. *A* – мальчики, *Б* – девочки; *a* – III стадия полового созревания, *б* – IV стадия полового созревания, *в* – V стадия полового созревания. *r* – покой; *t* – ортостаз. *AMo* – амплитуда моды; *MxDMn* – вариационный размах; *SDNN* – среднее квадратическое отклонение; *RMSSD* – среднеквадратичное различие между длительностью соседних *R–R*-интервалов; *SI* – индекс напряжения регуляторных систем; *HF* – высокочастотный компонент; *LF* – низкочастотный компонент; *IgA* – секреторный иммуноглобулин.

жение концентрации слюварного кортизола отмечается у представительниц с ваготонией (табл. 4).

Согласно данным исследований [6, 32] у представителей ваготонического типа вегетативной регуляции сердечного ритма в ответ на стресс регистрируется значительный подъем уровня кортизола, у симпатотоников наблюдается снижение уровня кортизола, который при стрессе соответствует максимальному значению этого показателя в условиях фона. Другими словами, при высоком исходном уровне вегетативного реагирования организма происходит снижение функциональной активности гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой системы, при низком фоновом значении – повышение. Снижение центральных и повышение автономных влияний на ритм сердца, увеличение уровня кортизола у мальчиков-подростков имеет определенный биологический смысл и способствует мобилизации функциональных резервов организма в процессе адаптации к учебной деятельности [33, 34].

Анализ взаимосвязи концентрации тестостерона, являющегося одним из ведущих гормонов в подростковом возрасте, с показателями ВСР выявил наличие достоверных положительных связей данного гормона с показателем *MxDMn* ($r = 0.45, p < 0.05$) у мальчиков с эйтоническим типом вегетативной регуляции и отрицательных с ЧСС ($r = -0.41, p < 0.05$) у ваготоников (табл. 3), что согласуется с данными литературы о положительной корреляции между андрогенами и парасимпатической активностью у лиц мужского пола [35].

У девочек-подростков корреляционная зависимость тестостерона с показателями ВСР полностью противоположна и выражается в большом количестве положительных связей с параметрами, отражающими активность симпатического отдела ВНС (табл. 3).

При этом у мальчиков с преобладанием симпатической активности в регуляции ритма сердца данная особенность не проявляется (табл. 3) и именно у данной группы подростков отмечается самый низкий уровень андрогена (табл. 5).

Согласно полученным данным, можно высказать предположение о том, что повышение тестостерона у девочек и понижение у мальчиков сопровождается усилением симпатических влияний на сердечный ритм (табл. 3, 5).

Установлены множественные корреляционные связи показателей ВСР с *IgA*, который, в свою очередь, напрямую зависит от активности изучаемых гормонов и типа вегетативной регуляции: более выраженное взаимодействие отмечается у мальчиков с доминированием симпатических реакций, что проявляется в преобладании положительных взаимодействий *IgA* с показателями ВСР, характеризующими адренергические влияния на сердечный ритм (табл. 3), на фоне низкого уровня *IgA* ($79.3 \pm$ мкг/мл против $115.2 \pm$ мкг/мл у ваготоников). У девочек-симпатотоников наблюдается большое количество отрицательных связей *IgA* с характеристиками, отражающими активность парасимпатической части ВНС (табл. 3), и более высокие значения его концентрации в слюне ($138.9 \pm$ мкг/мл против $82.7 \pm$ мкг/мл у ваготоников). При сбалансиро-

Таблица 3. Взаимосвязи показателей эндокринной и иммунной систем с параметрами variability сердечного ритма (ВСР) у подростков разного пола с учетом типа вегетативной регуляции (*r*-Спирмена)

Показатели	Пол	Ваготоники			Эйтоники			Симпатотоники		
		К	ТС	IgA	К	ТС	IgA	К	ТС	IgA
ЧСС в покое, уд./мин	м д		-0.41				0.57		0.47	
ЧСС в орто, уд./мин	м д	-0.43		-0.41	0.74				-0.74	
<i>Mo</i> в покое, с	м д		0.41	-0.49	0.50		-0.70 -0.59		-0.52	
<i>Mo</i> в орто, с	м д			0.49	-0.76					
<i>AMo</i> в покое, %	м д					0.73		0.75		
<i>AMo</i> в орто, %	м д	-0.56		-0.41				0.73		0.74
<i>MxDMn</i> в покое, с	м д	0.42		0.41	0.55	0.61 -0.57				-0.71 0.69
<i>MxDMn</i> в орто, с	м д							-0.74	0.42	-0.73 0.39
<i>SDNN</i> в покое, мс	м д				0.58	-0.68	0.61	-0.64		-0.75 0.50
<i>SDNN</i> в орто, мс	м д	0.44			-0.54			-0.72		-0.79
<i>RMSSD</i> в покое, мс	м д							0.53		0.52
<i>RMSSD</i> в орто, мс	м д			0.47 -0.47	-0.71				-0.74	
ИН в покое, усл. ед.	м д				-0.64	0.72				
ИН в орто, усл. ед.	м д	0.48	0.53	0.63	0.76	0.56		0.71		0.74
<i>TF</i> , мс ²	м д				0.53		0.70		-0.76	
<i>VLF</i> , мс ²	м д						0.74			
<i>LF</i> , мс ²	м д						-0.56	-0.76		-0.76 0.60
<i>HF</i> , мс ²	м д					-0.49	0.72	-0.76	0.57	-0.76
<i>LF/HF</i> , усл. ед.	м д	0.52			0.62	0.54			-0.40	

Примечание: К – кортизол, ТС – тестостерон, IgA – иммуноглобулин А; указаны связи только со статистически значимым коэффициентом корреляции (*r*) $p < 0.05$.

Таблица 4. Показатель концентрации слюварного кортизола у подростков с разным типом вегетативной регуляции сердечного ритма с учетом пола (в нг/мл)

Пол	Ваготоники (n = 44)	Эйтоники (n = 38)	Симпатотоники (n = 34)	p < 0.05
м	2.53 ± 0.23	2.24 ± 0.25	1.29 ± 0.19	1–3 2–3
д	1.94 ± 0.22	2.35 ± 0.34	2.56 ± 0.34	
Все	2.27 ± 0.16	2.31 ± 0.22	2.34 ± 0.3	

Таблица 5. Показатель концентрации тестостерона у подростков с разным типом вегетативной регуляции сердечного ритма с учетом пола (в нмоль/л)

Пол	Ваготоники (n = 44)	Эйтоники (n = 38)	Симпатотоники (n = 34)	p < 0.05
м	0.73 ± 0.16	0.58 ± 0.19	0.04 ± 0.004	1–3 2–3
д	0.17 ± 0.04	0.07 ± 0.01	0.25 ± 0.07	2–3
Все	0.47 ± 0.1	0.29 ± 0.09	0.21 ± 0.06	1–2 1–3

ванном влиянии парасимпатического и симпатического отделов ВНС (эйтоники) наблюдается более низкие значения концентрации IgA в слюне у девочек (67.9 ± мкг/мл) и более высокие у мальчиков (174.2 ± мкг/мл).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленные материалы указывают на то, что реализация адаптационного потенциала старших подростков, обучающихся в инновационном образовательном учреждении интернатного типа, обусловлена возрастными, половыми и типологическими особенностями формирования их вегетативного и эндокринного статуса.

С возрастом у обследуемых подростков наблюдается снижение активности симпатического звена регуляции вегетативных функций, увеличение концентрации кортизола, повышение уровня тестостерона у мальчиков и снижение его у девочек, что соответствует нормам возрастного полового развития вегетативной и эндокринной систем.

На фоне выявленных возрастных изменений обращает на себя внимание факт снижения вагусных влияний на сердечный ритм у мальчиков и, наоборот, усиление парасимпатической активности у девочек в возрасте 15 лет.

К 15 годам у мальчиков регистрируется снижение гормональной реактивности, обусловленное переходным периодом полового созревания, а у девочек усиление централизации механизмов регуляции вегетативных функций на последних стадиях полового созревания.

К 16 годам мальчики переходят на IV стадию полового созревания, что сопровождается экономизацией физиологических функций и снижени-

ем “цены” адаптации; девочки данного возраста достигают последней стадии полового созревания, и адаптационные изменения в организме определяются типологическими особенностями исходного вегетативного тонуса, поскольку среди лиц женского пола выявляется значительный процент подростков с симпатикотонией (37.7%).

В зависимости от половых особенностей эндокринные функции демонстрируют различный уровень адренокортикальной и анаболической активности связанной с исходным вегетативным тонусом: 1) если у подростков мужского пола с доминированием автономных механизмов вегетативной регуляции регистрируется наиболее высокий уровень кортизола и тестостерона, то у девушек ваготонического типа отмечается самый низкий уровень данных гормонов; 2) у мальчиков с преобладанием симпатических реакций в регуляции вегетативных функций наблюдается низкая гормональная активность, тогда как подростки-девочки характеризуются высоким содержанием в слюне кортизола и тестостерона.

Выявленные реципрокные функциональные взаимоотношения в процессе формирования вегетативного и эндокринного статуса, по-видимому, определяются особенностями формирования стадий полового созревания старших подростков, обусловленными половыми различиями в пубертатном периоде развития.

Проведенный анализ корреляционных связей между показателями исходного вегетативного тонуса, уровнем активности анаболических и катаболических гормонов, параметрами неспецифической резистентности позволил выделить три типа адаптивных стратегий, формирующихся у

старших подростков в процессе обучения: *трофотропный, эрготропный и сбалансированный*.

Характер тесных корреляционных связей между параметрами кардиоритма, уровнем тестостерона, кортизола, иммуноглобулина А, выявленный у мальчиков-ваготоников и лиц женского пола с доминированием адренергической активности, демонстрирующих в покое высокую активность эндокринных функций, позволяет сделать вывод о *трофотропном* характере функциональной системы адаптации, позволяющем экономизировать энергетические ресурсы и реализующемся по *гипореактивному* функциональному типу.

Напротив, при низком исходном уровне анаболических и катаболических гормонов структура функциональной системы может быть идентифицирована как *эрготропная*, формирующаяся на основе максимальной мобилизации центрально-нервных и эндокринных механизмов в процессе нагрузки по *гиперреактивному* типу. Сбалансированный тип вегето-эндокринных взаимоотношений регистрируется в большей степени у лиц эйтонического типа ВНС, характеризующегося средними значениями концентрации гормонов и отсутствием значительного числа корреляционных связей между показателями эндокринной и вегетативной регуляции.

Результаты проведенного исследования позволяют сделать вывод, что выявленные возраст-половые особенности вегетативного и гормонального обеспечения организма в подростковом возрасте могут быть использованы в качестве прогностических маркеров для оценки функционального состояния и адаптивных возможностей организма, обеспечения научного дифференцированного подхода к процессу обучения старших подростков.

Этические нормы. Все исследования проведены в соответствии с принципами биомедицинской этики, сформулированными в Хельсинкской декларации 1964 г. и ее последующих обновлениях, и одобрены локальным биоэтическим комитетом Кемеровского государственного университета (Кемерово).

Информированное согласие. Каждый участник исследования представил добровольное письменное информированное согласие, подписанное им после разъяснения ему потенциальных рисков и преимуществ, а также характера предстоящего исследования.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией данной статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Казин Э.М., Касаткина Н.Э., Абаскалова Н.П. и др.* Школьная адаптация подростков с различным типом вегетативной регуляции и проблемы формирования безопасного и здорового образа жизни обучающихся (методологические и организационно педагогические аспекты) // Валеология. 2015. № 1. С. 42.
2. *Lim H.J., Chung S.S., Joung K.H.* Factors of depressive symptoms among elementary, middle, and high school students // Arch. Psychiatr. Nurs. 2016. V. 30. № 3. P. 302.
3. *Ушаков И.Б.* Адаптационный потенциал человека // Вестник РАМН. 2004. № 3. С. 8.
4. *Глебов В.В., Даначева М.Н.* Психофизиологическая оценка адаптационных процессов учащихся средней школы, проживающих в разных условиях среды столичного мегаполиса. М.: Российский университет дружбы народов (РУДН), 2018. 146 с.
5. *Тарасова О.Л., Казин Э.М., Федоров А.И. и др.* Комплексная оценка нейродинамических и вегетативных показателей у подростков: возрастные, гендерные и типологические особенности // Физиология человека. 2017. Т. 43. № 1. С. 45.
Tarasova O.L., Kazin E.M., Fedorov A.I. et al. Integrated assessment of neurodynamic and autonomic indicators in adolescents: age-specific, gender-specific, and typological characteristics // Human Physiology. 2017. V. 43. № 1. P. 37.
6. *Ермакова И.В., Адамовская О.Н., Сельверова Н.Б.* Особенности физического развития, гормонального статуса, вегетативной нервной регуляции сердечного ритма и психоэмоционального состояния подростков на IV–V стадии пубертата // Новые исследования. 2017. № 1(50). С. 32.
7. *Баевский Р.М., Иванов Г.Г.* Вариабельность сердечного ритма: теоретические аспекты и возможности клинического применения // Ультразвуковая и функциональная диагностика. 2001. № 3. С. 106.
8. *Шлык Н.И.* Сердечный ритм и тип регуляции у детей, подростков и спортсменов. Ижевск: Изд-во “Удмуртский университет”, 2009. 259 с.
9. *Ozgocer T., Yildiz S., Ucar C.* Development and validation of an enzyme-linked immunosorbent assay for detection of cortisol in human saliva // J. Immunoassay Immunochem. 2017. V. 38. № 2. P. 147.
10. *Thomas L.* Labor und Diagnose. Indikation und Bewertung von Laborbefunden für die medizinische Diagnostik. 2012. Auflage 8. V. 2. P. 2360.
11. *Tietz N.W.* Textbook of clinical chemistry. Philadelphia: Saunders, 1986. P. 1388.
12. *Valdimarsdottir H.B., Stone A.A.* Psychosocial factors and secretory immunoglobulin A // Crit. Rev. Oral Biol. Med. 1997. V. 8. № 4. P. 461.
13. *Kashdan E., Duncan D., Parnell A., Schattler H.* Mathematical methods in systems biology // Math. Biosci. Eng. 2016. V. 13. № 6.
<https://doi.org/10.3934/mbe.2016061>
14. *Абакумова Л.В., Хренкова В.В., Рогинская А.А., Якушева Е.Н.* Оценка и прогноз успешности адаптации обучающихся по показателям вариабельности

- сердечного ритма // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2015. № 4. С. 14.
15. *Galeev A.R., Igisheva L.N., Kazin E.M.* Variability of heart rate in healthy children in the age of 6-16 years // *Физиология человека*. 2002. Т. 28. № 4. С. 54.
Galeev A.R., Igisheva L.N., Kazin E.M. Heart Rate Variability in Healthy Six- to Sixteen-Year-Old Children // *Human Physiology*. 2002. V. 28. № 4. P. 428.
 16. *Баевский Р.М., Берсенева Е.Ю., Берсенева И.А.* Медленные волны сердечного ритма как индикатор возрастного развития детей и подростков / Медленные колебательные процессы в организме человека: Сб. материалов III Симпозиума и Школы. Новокузнецк: Изд. НИИ КПП ПЗ СО РАМН, 2001. С. 105.
 17. *Shahrestani S., Stewart E.M., Quintana D.S. et al.* Heart rate variability during adolescent and adult social interactions: a meta-analysis // *Biol. Psychol.* 2015. V. 105. P. 43.
 18. *Belda X., Fuentes S., Daviu N. et al.* Stress-induced sensitization: the hypothalamic-pituitary-adrenal axis and beyond // *Stress*. 2015. V. 18. № 3. P. 269.
 19. *Варич Л.А., Федоров А.И., Немолочная Н.В., Блинова Н.Г.* Взаимосвязь психофизиологических показателей и уровня кортизола подростков, обучающихся в условиях лицея-интерната // Вестник Новосибирского государственного педагогического университета. 2018. Т. 8. № 5. С. 230.
 20. *Ford A.H., Yeap B.B., Flicker L. et al.* Prospective longitudinal study of testosterone and incident depression in older men: the health in men study // *Psychoneuroendocrinology*. 2016. V. 64. P. 57.
 21. *Vreeburg S.A., Kruijtzter B.P., van Pelt J. et al.* Associations between sociodemographic, sampling and health factors and various salivary cortisol indicators in a large sample without psychopathology // *Psychoneuroendocrinology*. 2009. V. 34. P. 1109.
 22. *McGill H.J., Anseimo V., Buchanan J., Sheridan P.* The heart is a target organ for androgen // *Science*. 1980. V. 207. № 4432. P. 775.
 23. *Villareal R.P., Woodruff A.L., Massumi A.* Gender and cardiac arrhythmias // *Tex. Heart. Inst. J.* 2001. V. 28. № 4. P. 265.
 24. *Toufexis D., Rivarola M.A., Lara H., Viau V.* Stress and the reproductive axis // *Neuroendocrinol.* 2014. V. 26. P. 573.
 25. *Stephens M.C., Mahon P.B., McCaul M.E., Wand G.S.* Hypothalamic-pituitary-adrenal axis response to acute psychosocial stress: effects of biological sex and circulating sex hormones // *Psychoneuroendocrinology*. 2016. V. 66. P. 47.
 26. *Viau V.* Functional cross-talk between the hypothalamic-pituitary-gonadaland-adrenal axes // *J. Neuroendocrinol.* 2002. V. 14. № 6. P. 506.
 27. *Harden K.P., Wrzus C., Luong G. et al.* Diurnal coupling between testosterone and cortisol from adolescence to older adulthood // *Psychoneuroendocrinology*. 2016. V. 73. P. 79.
 28. *Juster R.P., Raymond C., Desrochers A.B. et al.* Sex hormones adjust "sex-specific" reactive and diurnal cortisol profiles // *Psychoneuroendocrinology*. 2016. V. 63. P. 282.
 29. *Marceau K., Ruttle P.L., Shirtcliff E.A. et al.* Within-person coupling of changes in cortisol, testosterone, and DHEA across the day in adolescents // *Dev. Psychobiol.* 2015. V. 57. № 6. P. 654.
 30. *Жуков Д.А.* Биология поведения: гуморальные механизмы. СПб.: Речь, 2007. 443 с.
 31. *Кривошеёв С.Г., Белишева Н.К., Николаева Е.И. и др.* Концепция аллостаза и адаптация человека на севере // *Экология человека*. 2016. № 7. С. 17.
 32. *Ермакова И.В., Адамовская О.Н., Сельверова Н.Б.* Изменение вегетативной регуляции сердечного ритма и уровня кортизола при умственной нагрузке у младших подростков // *Новые исследования*. 2015. № 4(45). С. 105.
 33. *Evans B.E., Greaves-Lord K., Euser A.S. et al.* Determinants of physiological and perceived physiological stress reactivity in children and adolescents // *PLoS One*. 2013. V. 8. № 4. P. 61724.
 34. *Gunnar M.R., Wewerka S., Frenn K. et al.* Developmental changes in hypothalamus-pituitary-adrenal activity over the transition to adolescence: normative changes and associations with puberty // *Dev. Psychopathol.* 2009. V. 21. № 1. P. 69.
 35. *Doğru M.T., Basar M.M., Yuvanc E. et al.* The relationship between serum sex steroid levels and heart rate variability parameters in males and the effect of age // *Turk. Kardiyol. Dern. Ars.* 2010. V. 38. № 7. P. 459.

Age-Sex and Typological Features of Vegetative, Hormonal and Immune Status of Older Adolescents

L. A. Varich^a*, E. M. Kazin^a, N. V. Nemolochnaya^a, O. L. Tarasova^a,
A. V. Bedareva^a, I. L. Vasilchenko^a

^aKemerovo State University, Kemerovo, Russia

*E-mail: varich2002@mail.ru

Age, sexual and typological features of the organism vegetative, endocrine status and nonspecific resistance of older adolescents studying in an educational organization of boarding type are revealed. It is shown that in older adolescents there is a decrease in activity sympathetic link of vegetative functions regulation, increase of cortisol and testosterone for boys and decreasing it for girls during puberty. The dependence adolescents of indicators of vegetative and hormonal regulation with pubertal development peculiarities, expressed in eco-

nomical neuroendocrine relationships the formation during the transition to the IV stage of puberty in boys and to V stage in girls, was established. It was determined that in older adolescents the best type of autonomic regulation for boys is vagotonia, and for girls is a balanced initial autonomic tone: adolescent boys with a vagotonic type of autonomic regulation differ from peers with sympathicotonia and eitonia in increased levels of cortisol and testosterone, a fairly high level of nonspecific resistance an organism; for eitonic girls, a characteristic feature is a decrease in testosterone levels with an optimal functional state of the body. The results of the study indicate the prognostic significance of the analyzed parameters for assessing adolescents the adaptive capacity in the learning process.

Keywords: older adolescents, the stage of puberty, autonomic regulation type, cortisol, testosterone, nonspecific resistance, adaptation.