

ИЗМЕНЕНИЕ ВЕГЕТАТИВНОЙ РЕГУЛЯЦИИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА И УРОВНЯ КОРТИЗОЛА ПРИ УМСТВЕННОЙ НАГРУЗКЕ У МЛАДШИХ ПОДРОСТКОВ

И.В. Ермакова¹, О.Н. Адамовская, Н.Б. Сельверова
ФГБНУ «Институт возрастной физиологии
Российской академии образования» г. Москва

Проведен анализ изменений показателей сердечно-сосудистой и гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой систем при срочной адаптации к умственной нагрузке у младших подростков. Установлено, что характер и выраженность изменений вариабельности ритма сердца и уровня кортизола при выполнении обратного счета в уме зависит от возрастных, половых и, в большей степени, от индивидуальных особенностей: исходного уровня и направленности изменения вегетативного баланса и концентрации кортизола, психоэмоционального статуса.

Ключевые слова: подростки, вариабельность ритма сердца, кортизол, умственная нагрузка, срочная адаптация.

Change in autonomic regulation of heart rate and cortisol level in young adolescents performing cognitive tasks. *The paper presents the analysis of changes in cardiovascular and hypothalamic-pituitary-adrenal systems under the condition of urgent adaptation to mental stress in young adolescents. It was found out that the nature and the intensity of changes in heart rate variability and cortisol levels when mentally counting down numbers depends on age, sex, and mostly on individual features, such as initial level and later change of vegetative balance and cortisol concentration, and psychoemotional status.*

Keywords: adolescents, heart rate variability, cortisol, mental workload, short-term adaptation.

Умственная деятельность включает приём и переработку информации, требует напряжения внимания, памяти, активизации мыслительного процесса и сопровождается изменением функционального состояния различных систем организма человека [18; 21; 25; 32]. Изучение функционального состояния организма подростков при интеллектуальной деятельности представляет большой научно-практический интерес в виду гетерохронности развития и индивидуального темпа биологического созревания организма [13; 20], а также в связи с внедрением новых образовательных программ, связанных с повышением объема умственной нагрузки, интенсификацией и компьютеризацией процесса обучения.

Известно, что нервная вегетативная и эндокринная системы выполняют интегративную роль по обеспечению процессов адаптации человека. Поэтому изменения активности сердечно-сосудистой и гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой систем при умственной деятельности являются не только показателями ментального стресса, но и следствием адаптационной перестройки всего организма [2; 6]. Успешность адаптации детей и подростков к умственной нагрузке зави-

Контакты: ¹Ермакова И.В. – E-mail: <ermek61@mail.ru>

сит от многих факторов: возраста, пола, состояния здоровья, личностных качеств, типологических особенностей, уровня адаптационного потенциала [3; 7; 14; 15; 17; 23]. Между тем, доступные нам литературные сведения о влиянии умственной нагрузки на реактивность сердечно-сосудистой системы и гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой оси у подростков в зависимости от биологического возраста, пола, адаптивных возможностей отсутствуют.

В связи с этим, целью настоящего исследования явилось изучение возрастных, половых, индивидуальных особенностей вегетативного и гормонального обеспечения умственной деятельности у младших подростков.

ОРГАНИЗАЦИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В исследовании приняли участие 150 детей обоего пола, учащиеся 3-6 классов школ г. Москва, 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. Исследование проводилось в первой половине дня, в период наибольшей активности физиологических функций. Родители всех детей, принимавших участие в обследовании, дали письменное информированное согласие.

Врач-эндокринолог, д.м.н. Н.Б. Сельверова во время медицинского осмотра оценивала по авторской методике [10] половое развитие детей, по результатам которого были сформированы группы мальчиков и девочек, относящиеся к I (допубертатной), II (гипофизарной) и III (гонадной) стадии пубертата. Наполняемость каждой группы с учетом стадии полового созревания и пола составляла не менее 25 человек.

С целью анализа variability ритма сердца проводилась регистрация ЭКГ во II стандартном отведении с помощью прибора Поли-Спектр-12 (Иваново, 2002). Запись ЭКГ осуществлялась в положении исследуемого сидя в покое (фон, 5 минут) и при умственной нагрузке (5 минут).

Анализ variability ритма сердца проводился в соответствии с методическими рекомендациями, разработанных группой российских авторов [5] и стандартом Европейского общества кардиологов и Северо-Американского общества электростимуляции и электрофизиологии [34].

Для изучения автономной нервной регуляции сердечного ритма (СР) использовался метод временного и спектрального анализа variability сердечного ритма (BCP).

Показатели временного анализа BCP:

RRNN, мс – средняя длительность интервалов RR; SDNN, мс – стандартное отклонение величин нормальных интервалов RR за рассматриваемый временной отрезок; RMSSD, мс – квадратный корень из суммы квадратов разностей величин последовательных интервалов NN, отражает активность парасимпатического звена автономной нервной регуляции. Аналогичную информацию можно получить по показателю pNN50, который выражает в % число разностных значений больше чем 50 мс. CV, % – коэффициент вариации ($CV = SDNN/RRNN * 100\%$), по физиологическому смыслу аналогичен показателю SDNN.

Показатели спектрального анализа BCP:

HF ($мс^2$, п.у., %) – мощность спектра в диапазоне высоких частот (0,15-0,4 Гц), согласно существующим представлениям, парасимпатическая активность является основной составляющей высокочастотной (high frequency – HF) компо-

нента спектра. Вагусная активность является основной составляющей высокочастотного компонента. Это хорошо отражается показателем мощности дыхательных волн СР в абсолютных цифрах и в виде относительной величины (в % от суммарной мощности спектра).

LF (мс^2 , п.у., %) – мощность низкочастотного компонента (0,04-0,15Гц) – характеризует состояние симпатического отдела вегетативной нервной системы.

VLF (мс^2 , %) – мощность очень низкочастотных колебаний (0,05-0,015 Гц) – характеризует влияние высших вегетативных центров на сердечно-сосудистый подкорковый центр, отражает состояние нейрогуморального и метаболического уровней регуляции, может использоваться как надежный маркер степени связи автономных (сегментарных) уровней регуляции кровообращения с надсегментарными, в том числе с гипофизарно-гипоталамическим и корковым уровнем.

TP (мс^2) - общая мощность спектра (полный спектр частот) - определяется как сумма мощностей в диапазонах HF, LF и VLF.

По данным спектрального анализа сердечного ритма индекс вагосимпатического взаимодействия LF/HF – характеризует баланс симпатических и парасимпатических влияний в автономную регуляцию сердечного ритма.

Тест «счёт в уме» применяли как стандартизированный лабораторный стресстест, вызывающий измеряемые физиологические изменения [28]. Длительность теста составляла 5 минут, в течение которых испытуемый вычитал из 400 число 7. Если он совершал ошибку или не отвечал, тест повторялся сначала.

Для оценки реакции функционального состояния гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой системы (ГГНС) при умственной деятельности определяли концентрацию кортизола в слюне в состоянии относительного покоя – фон и сразу после выполнения теста (с интервалом 2-3 мин) – нагрузка. Пробы слюны до проведения анализа хранили в морозильной камере при температуре -20°C . Концентрацию кортизола определяли иммуноферментным методом с помощью стандартных диагностических наборов фирмы DRG International, Inc. на ИФА-анализаторе «Stat Fax 2100» и выражали в нг/мл. Все анализы были сделаны в соответствии с протоколом наборов, контрольные показатели были в рамках принятых пределов.

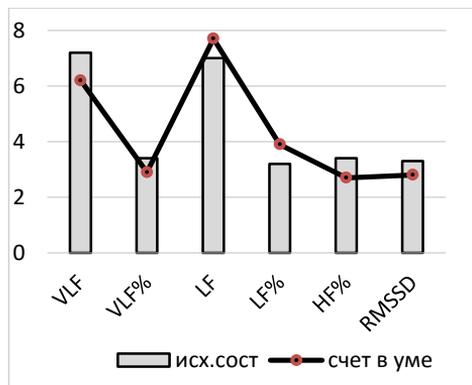
Статистическая обработка включала: приближение распределения значений показателей ВСР и кортизола к нормальному с помощью логарифмического преобразования, нахождение тесноты статистической связи между показателями (коэффициент корреляции Пирсона). Статистическая значимость различий оценивалась по t-критерию Стьюдента для независимых и попарно сопряженных выборок при условии нормального распределения, определяемого по значениям асимметрии и эксцесса.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

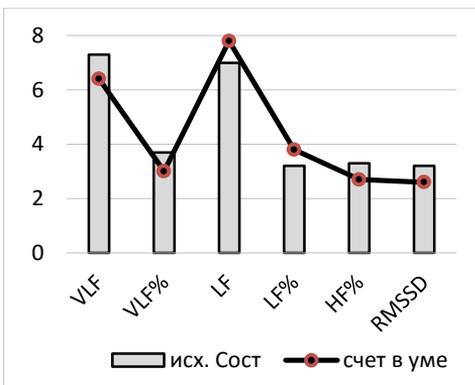
У всех подростков независимо от биологического возраста и пола при выполнении умственной нагрузки выявлено смещение вегетативного баланса в сторону усиления симпатических влияний на СР (δ LF/HF = $0,75 \pm 0,17$). Однако анализ значений показателей ВСР у испытуемых при выполнении функциональной пробы позволил выявить ряд возрастных и половых особенностей (рис. 1).

Так, у всех детей на I стадии полового созревания при выполнении умственной нагрузки отмечается уменьшение значений показателей, характеризующих

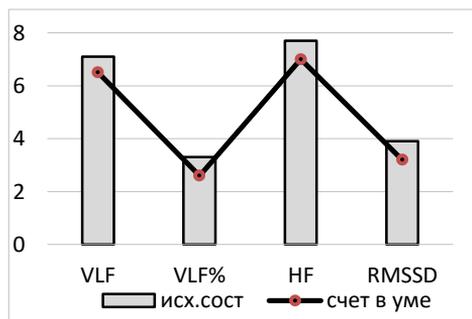
активность парасимпатического отдела ВНС (RMSSD, мс; HF %) и центральных влияний на сердечный ритм (VLF, мс²; VLF %), с одновременным увеличением значений параметров, отражающих активность симпатического отдела ВНС (LF, мс²; LF%).



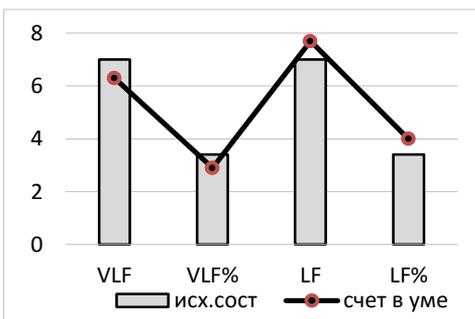
мальчики, I стадия



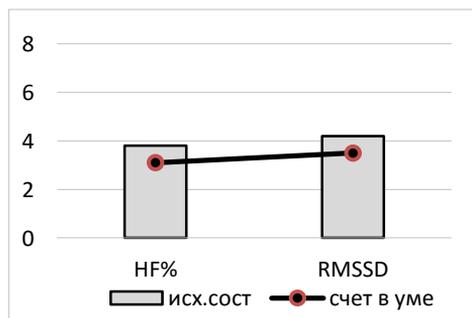
девочки, I стадия



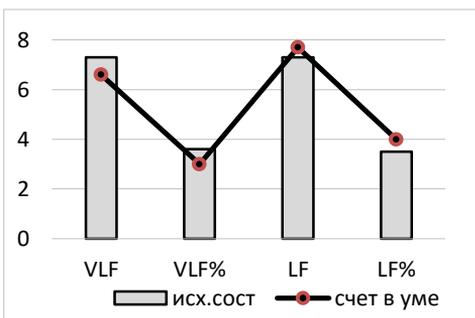
мальчики, II стадия



девочки, II стадия



мальчики, III стадия



девочки, III стадия

Рис. 1. Динамика показателей variability ритма сердца (ln) у подростков на начальных стадиях пубертата при выполнении умственной нагрузки (при $p < 0,05$).

У всех подростков на II стадии пубертата при счете в уме выявлено снижение центральных влияний на сердечный ритм (уменьшение значений VLF, мс²; VLF %). У мальчиков снижается вклад парасимпатических влияний на СР (уменьшаются значения RMSSD, мс; HF, мс²), а у девочек – усиливаются симпатические влияния на СР (увеличиваются значения LF, мс²; LF %).

Наибольшая стабильность показателей ВСР при умственной деятельности выявлена у мальчиков на III стадии полового созревания, смещение вегетативного баланса у них происходит за счет снижения активности парасимпатического отдела ВНС (уменьшаются значения RMSSD, мс; HF %). У девочек на III стадии отмечены аналогичные изменения, как и у девочек на II стадии пубертата.

Направленность изменений параметров вегетативной нервной регуляции сердечного ритма при выполнении счета в уме в изучаемых группах оказалась одинаковой, но функциональная проба вызывала более значительные изменения временных и спектральных показателей ВСР у подростков на I стадии пубертата по сравнению со сверстниками II и III стадии. Наименьшие сдвиги показателей ВСР наблюдаются у мальчиков на III стадии полового созревания.

Известно, что изменение мощности спектра в VLF-диапазоне отражает мобилизацию энергетических и метаболических резервов во время когнитивной деятельности. При увеличении мощности VLF в ответ на нагрузку говорят о гипердаптивной реакции, при ее снижении – о постнагрузочном энергодефиците [5]. В ситуации тревоги и стресса мощность VLF-компонента спектра уменьшается [16]. Таким образом, отмеченное у всех подростков (за исключением мальчиков III стадии) уменьшение центральных влияний на СР при выполнении счета в уме свидетельствует о психоэмоциональном напряжении испытуемых и повышении активности надсегментарных структур мозга. Известно, что в состоянии оптимального напряжения регуляторных систем регуляция кардиоритмом осуществляется с минимальным участием высших уровней управления, и только в условиях стресса или выраженной функциональной нагрузки управление сердечным ритмом переходит к вышележащим нервным центрам [4].

Во время нагрузки парасимпатические эффекты на синусовый узел должны ослабляться для реализации симпатических влияний [8]. Отмеченное уменьшение парасимпатических влияний на СР во время арифметического теста у мальчиков на II-III стадии пубертата свидетельствует об активации симпатических влияний на СР в процессе умственной деятельности, проявляющееся достоверным увеличением значений LF/HF и направлено на создание более экономичного режима работы сердца, что соответствует задачам и возможностям парасимпатической нервной системы.

Необходимо отметить, что мальчики на II-III стадии полового созревания до нагрузки отличались исходно высокой активностью *n.vagus*. Поливагусная теория S. Porges раскрывает роль парасимпатической нервной системы в биологическом созревании организма, регуляции внимания, эмоций и социальной адаптации [31]. Известно, что у детей с высоким вагусным тоном отмечается сниженная реактивностью симпатической нервной системы [36].

Повышение симпатических влияний у девочек на II-III стадии полового созревания в условиях эмоционального напряжения обуславливает адаптивную функциональную перестройку организма. Полученные нами данные об увеличении тонуса симпатического отдела ВНС у подростков во время выполнения счета в уме согласуются с результатами исследований, выявивших усиление симпати-

ческих модулирующих воздействий на СР у детей во время умственной нагрузки [7; 11; 12; 14; 23].

Исходное состояние ГГНС и её реактивность в ответ на умственную нагрузку оценивали по концентрации кортизола в слюне. В целом по группе уровень кортизола до теста был равен $1,45 \pm 0,03$ нг/мл. Значение изучаемого показателя не различались между полами ($1,45 \pm 0,03$ нг/мл у мальчиков и $1,46 \pm 0,05$ нг/мл у девочек). Не удалось обнаружить достоверных различий фоновой концентрации гормона у представителей обоих полов в зависимости от стадии пубертата. Среднее значение концентрации кортизола у всех испытуемых в ответ на счёт в уме составило $1,43 \pm 0,03$ нг/мл. Таким образом, в целом по группе умственная нагрузка не вызвала реакции со стороны ГГНС и уровень кортизола оставался неизменным. Как и в фоне, мы не наблюдали различий по уровню гормональной реакции на тест между мальчиками и девочками ($1,41 \pm 0,04$ нг/мл и $1,46 \pm 0,04$ нг/мл, соответственно). Анализ данных с учётом биологического возраста детей выявил значимую реакцию на счёт в уме (снижение уровня кортизола) только у мальчиков на III стадии полового созревания ($p < 0,05$). Между тем, обнаружили высокую степень сопряженности исходной концентрации гормона с уровнем, измеренным после нагрузки ($r = 0,85$ у мальчиков, $r = 0,79$ у девочек; $p < 0,01$).

Литературные сведения о реакции ГГНС на умственную нагрузку у детей и подростков довольно противоречивы. Известно, что подросткам свойственна повышенная стресс-реактивность, при этом, у девочек она больше, чем у мальчиков. Однако одни авторы указывают на отсутствие половых различий как исходного уровня, так и реакции кортизола на Трирский социальный стресс-тест (TSST) у 9-12-летних детей [26; 37], другие отмечают значимое увеличение уровня гормона в ответ на устный счёт во время TSST у 7-12-летних детей по сравнению с 13-20-летними испытуемыми [24]. Известно, что реактивность ГГНС зависит не только от возраста участников, но и от интенсивности и длительности стресса [29]. Счёт в уме – «мягкий» и кратковременный компонент TSST, поэтому и эндокринная реакция на него не была такой выраженной, как отмечают другие исследователи [24; 26; 33; 37]. Выявленное достоверное снижение кортизола при умственной нагрузке у мальчиков на III стадии пубертата, вероятно, связано с исходно высокой концентрацией кортизола, которая характеризуется постепенным нарастанием с возрастом [10].

Известно, что индивидуумы на предъявление одной и той же нагрузки реагируют по-разному, т.е. здоровая популяция не является однородной [22]. Поэтому при анализе реакции вегетативной, сердечно-сосудистой и эндокринной систем на любую нагрузку, необходимо учитывать как исходный уровень, так и направленность реакции, которая сопровождает адаптивные процессы.

Индивидуальный анализ направленности изменения показателя вегетативного баланса (δ LF/HF) до и после умственной нагрузки позволил разделить всех детей на 2 группы: у испытуемых, вошедших в группу А (70,5 % от общего числа испытуемых) – отмечался положительный прирост показателя LF/HF, у подростков группы Б (29,5 % испытуемых) наблюдался отрицательный прирост показателя LF/HF при выполнении функциональной пробы. Отсутствие половых различий внутри групп А и Б позволило объединить мальчиков и девочек в одну группу.

В исходном состоянии у испытуемых группы А отмечается высокая активность автономной регуляции сердечного ритма и преобладание парасимпатических воздействий на ритм сердца, а у детей группы Б в регуляции СР преобладают

центральные влияния. Выявленные различия вегетативной нервной регуляции сердечного ритма между группами свидетельствуют о том, что в состоянии покоя дети группы Б по сравнению с испытуемыми группы А характеризуются большим напряжением механизмов регуляции сердечного ритма [4] и сниженными функциональными резервами организма [1].

Динамика показателей variability ритма сердца у подростков группы А и Б при выполнении счета в уме представлена на рис. 2. У испытуемых группы А при выполнении умственной нагрузки отмечается снижение центральных влияний на сердечный ритм (VLF, мс², VLF %), усиливаются симпатические влияния на СР (LF, мс², LF %, LF/HF), уменьшается активность парасимпатического отдела вегетативной нервной системы (HF, мс², HF%). У подростков группы Б отмечается смещение вегетативного баланса в сторону усиления парасимпатических влияний на сердечный ритм (снижается LF/HF, повышаются значения HF, мс², HF %), уменьшаются центральные влияния на сердечный ритм (VLF, мс²; VLF %).

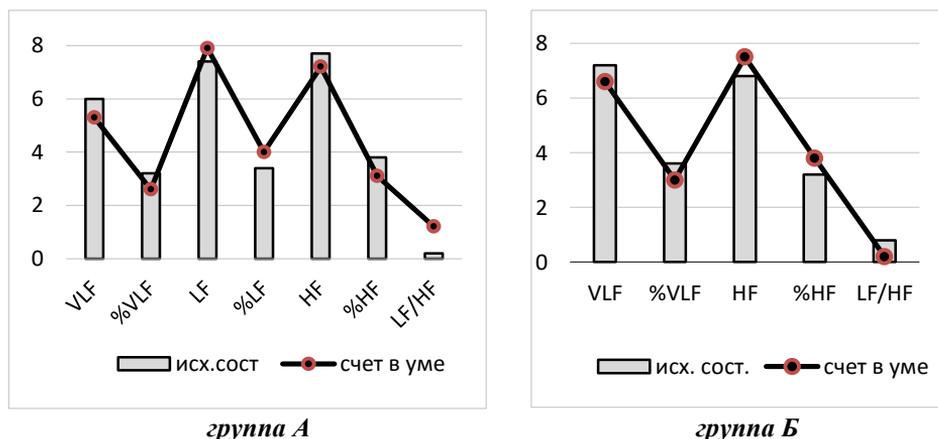


Рис. 2. Динамика показателей variability ритма сердца (ln) у подростков групп А и Б при выполнении счета в уме (при $p < 0,05$)

Изучение функционального состояния ГГНС до и после умственной нагрузки у подростков в зависимости от направленности изменения показателя вегетативного баланса (δ LF/HF) позволило установить, что исходный уровень кортизола в группе А был выше, чем в группе Б, хотя различие не было статистически значимым (табл. 1). Счёт в уме у представителей этих групп вызывал разнонаправленную гормональную реакцию: в группе А после нагрузки происходило значимое снижение уровня кортизола ($\delta = -0,04 \pm 0,02$; $p < 0,05$), а в группе Б наблюдался противоположный результат ($\delta = 0,06 \pm 0,03$; $p < 0,05$).

Таблица 1

*Динамика уровня кортизола в слюне у подростков
с разным типом реакции на умственную нагрузку (M±m)*

уровень кортизола (ln, нг/мл)	группа А	группа Б
исходное состояние	1,47±0,03	1,41±0,07
после умственной нагрузки	1,42±0,03а*	1,47±0,06а*

*Примечание: группа А – + δ LF/HF, группа Б – - δ LF/HF при умственной нагрузке; а – достоверность различий между фоном и нагрузкой; * – $p < 0,05$.*

Хорошо известно, что интенсивность и направленность реакции любой системы организма на стресс зависит от исходного уровня [35]. При высоком исходном уровне происходит снижение функциональной активности, при низком фоновом значении – повышение. Вегетативная и эндокринная реакция на стресс различается в зависимости психологического типа личности [9]. У типа А в стрессовых условиях происходит выброс адреналина и повышение активности симпатической нервной системы, для типа Б характерно повышение уровня кортизола и активности парасимпатической нервной системы. По данным Л.Н. Смелышевой [19] у студентов-ваготоников в ответ на экзаменационный стресс регистрируется значительный подъём уровня кортизола, у студентов-симпатотоников снижению кортизола при стрессе соответствует максимальное значение этого показателя в условиях фона. На реактивность ГГНС может оказывать влияние психоэмоциональный статус испытуемых до нагрузки. Так, у подростков группы Б субъективный уровень волнения положительно коррелировал с приростом (δ) концентрации кортизола ($r=0,51$; $p<0,01$). В литературе встречаются сведения, что самовосприятие стресса предсказывает реактивность кортизола у подростков и взрослых [24; 30].

Следовательно, более низкий исходный уровень функциональной активности ГГНС, преобладание центральный влияний на сердечный ритм и повышенное психоэмоциональное состояние подростков группы Б обеспечили более выраженную реакцию на счёт в уме по сравнению с группой А. Выявленные снижение центральных и повышение автономных влияний на ритм сердца, увеличение уровня кортизола в ответ на умственную нагрузку у подростков группы Б имеет определенный биологический смысл и способствует мобилизации функциональных резервов организма в стрессорных условиях для достижения цели.

Изучение взаимосвязи между вегетативным и гормональным обеспечением умственной деятельности с помощью корреляционного анализа позволило выявить в целом по группе отрицательную зависимость между исходной парасимпатической активностью (RMSSD, мс) с уровнем кортизола до и после умственной нагрузки ($r= - 0,27-0,2$; $p<0,01$).

У подростков группы Б обнаружена положительная связь показателя вегетативного баланса LF/HF в нагрузке с уровнем кортизола после теста ($r=0,35$; $p<0,05$) и отрицательная связь с изменением гормональной активности (δ кортизол; $r= - 0,33$; $p<0,05$). У испытуемых группы А такой взаимозависимости не наблюдалось. Из литературы известно, что соотношение LF/HF положительно коррелирует с уровнем кортизола у лиц, предпочитающих пассивную стратегию

снятия стресса [27].

ВЫВОДЫ

1. Направленность изменений параметров вегетативной нервной регуляции сердечного ритма у подростков разного биологического возраста при выполнении счета в уме оказалась одинаковой: смещение вегетативного баланса в сторону усиления симпатических влияний на СР, но более значительные изменения временных и спектральных показателей ВСР были отмечены у подростков на I стадии пубертата по сравнению со сверстниками на II и III стадиях. Менее выраженная реакция вариабельности ритма сердца при умственной нагрузке отмечена у мальчиков на III стадии полового созревания.

2. Умственная нагрузка у подростков на начальных стадиях полового созревания не вызвала достоверных изменений гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой системы и уровень кортизола оставался неизменным (за исключением мальчиков на III стадии пубертата).

3. В зависимости от направленности изменения показателя вегетативного баланса при умственной нагрузке у подростков выявлены два типа реакции: первая - повышение активности симпатической нервной системы и снижение уровня кортизола (группа А), вторая - повышение активности парасимпатической нервной системы и увеличение концентрации стресс-гормона (группа Б).

Исследование поддержано грантом РГНФ №15-06-0893а

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. Агаджанян Н.А. Проблемы адаптации и учение о здоровье / Н.А. Агаджанян, Р.М. Баевский, А.П. Берсенева - М.: Изд-во РУДН, 2006. – 284 с.

3. Антропова, М.В. Прогностическая значимость адаптационного потенциала сердечно-сосудистой системы у детей 10–11 лет / М.В. Антропова, Г.В. Бородинкина, Л.М. Кузнецова [и др.] // Физиология человека. – 2000. – Т. 26, № 1. – С. 56-61.

4. Баевский, Р.М. Оценка адаптационных возможностей организма и риск развития заболеваний / Р.М. Баевский, А.П. Берсенева. – М.: Медицина, 1997. – 236 с.

5. Баевский, Р.М. Анализ вариабельности сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем (часть 1) / Р.М. Баевский, Г.Г. Иванов, Л.В. Чирейкин [и др.] // Вестник аритмологии. – 2001. – № 24. – С. 65-86.

6. Берестнева, О.Г. Применение информационно-энтропийного подхода для исследования особенностей адаптации студентов к обучению в вузе / О.Г. Берестнева, О.В. Марухина, К.А. Шаропин // Интернет-журнал «Наукovedение». – 2013. – Т. 16, № 3. – 11 с. URL: <http://www.naukovedenie.ru>

7. Быков, Е.В. Гендерные особенности активности различных уровней нейровегетативной регуляции кардиоритма у 11-12-летних детей в ответ на умственную нагрузку / Е.В. Быков, А.В. Чипышев, Е.А. Мекешкин [и др.] // Физиология

адаптации: Мат. 2-й Всеросс. научно-практ. конф., г. Волгоград, 22–24 июня 2010 г. / Науч. ред. А.Б. Мулик. – Волгоград: Волг. науч. изд-во, 2010. – С. 365-367.

8. Вейн, А.М. Синдром вегетативной дистонии // В кн. Вегетативные расстройства: клиника, диагностика, лечение. / под ред. А.М. Вейна. - М: Мед. инф. Агентство, 1998. – С. 109-121.

9. Жуков, Д.А. Биология поведения: гуморальные механизмы // Д.А. Жуков. – СПб.: Речь, 2007. – 443 с.

10. Колесов, Д.В. Физиолого-педагогические аспекты полового созревания / Д.В. Колесов, Н.Б. Сельверова. – М.: Педагогика, 1978. – 224 с.

11. Копосова, Т.С. Вариабельность сердечного ритма при умственной нагрузке у городских и сельских школьников / Т.С. Копосова, С.Ф. Лукина, И.А. Савенкова // Вестник Северного (Арктического) фед. ун-та. - Серия: Естественные науки. – 2008. – № 1. – С. 24-30.

12. Коцан, І. Особливості варіабельності серцевого ритму в дівчат підліткового періоду з різним рівнем вегетативної регуляції / І. Коцан, Т. Качинська, С. Берлач // Науковий вісник Східноєвропейського нац. Ун-ту ім. Лесі Українки. Розділ IV. Фізіологія людини і тварин. - 2015. - № 2. - С. 127-132.

13. Криволапчук, И.А. Педагогическое сопровождение роста и развития детей в процессе физического воспитания. Сообщение II. Неравномерность и гетерохронность развития, акселерация и критические периоды / И.А. Криволапчук // Сибирский педагогический журнал. – 2015. – № 2. – С. 43-49.

14. Кузнецова, О.В. Особенности регуляции звеньев респираторно-гемодинамической системы у детей младшего школьного возраста / О.В. Кузнецова: Автореф. дисс. ... к. б. н. – М. – 2007. – 21 с.

15. Литвинова, Н.А. Роль индивидуальных психофизиологических особенностей в адаптации к умственной деятельности / Н.А. Литвинова, Э.М. Казин, С.Б. Лурье [и др.] // Вестник КемГУ. – 2011. – Т. 45, № 1. – С. 141-147.

16. Михайлов, В.М. Вариабельность ритма сердца: опыт практического применения / В.М. Михайлов. – Иваново: Ивановская гос. мед. академия, 2002. – 290 с.

17. Огарышева, Н.В. Особенности адаптации первокурсниц с разным уровнем здоровья к умственной нагрузке / Н.В. Огарышева // Вестник науки Сибири. – 2014. – V. 14, № 4. – С. 250-254.

18. Семёнова, О.А. Влияние функционального состояния регуляторных систем мозга на эффективность программирования, избирательной регуляции и контроля когнитивной деятельности у детей. Сообщение I. Нейропсихологический и электрофизиологический анализ возрастных преобразований регуляторных функций мозга в период от 9 до 12 лет / О.А. Семёнова, Р.И. Мачинская, Д.И. Ломакин // Физиология человека. – 2015. – Т. 41, № 4. – С. 5-17.

19. Смелышева Л.Н. Секреторная функция желудка и поджелудочной железы при действии эмоционального стресса / Л.Н. Смелышева: Автореф. дисс. ... д-ра мед. наук. – Тюмень. – 2007. – 56 с.

20. Физиология развития ребенка. Руководство по возрастной физиологии / под ред. М. М. Безруких, Д. А. Фарбер. – М.: Изд-во МПСИ; Воронеж: МОДЭК, 2010. – 768 с.

21. Шквирина, О.И. Динамика функционального состояния организма подростков 12-13 лет как критерий адаптации к образовательной среде / О.И., Шкви-

рина, Л.Ф. Трохимчук, Н.Н. Хасанова // Вестник АГУ, Серия 4: Естественно-математические и технические науки. – 2014. – Т. 133, № 1. – С. 56-63.

22. Шлык, Н.И. Сердечный ритм и тип регуляции у детей, подростков и спортсменов: монография / Н.И. Шлык. – Ижевск: "Удмуртский университет", 2009. – 255 с.

23. Dieleman, G.C. 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.

24. Evans, B.E. Determinants of physiological and perceived physiological stress reactivity in children and adolescents / B.E. Evans, K. Greaves-Lord, A.S. Euser [et al.] // PLoS One. – 2013. – V 8, № 4. – e61724.

25. Gärtner, M. Frontal midline theta oscillations during mental arithmetic: effects of stress / M. Gärtner, S. Grimm, M. Bajbouj // Front. Behav. Neurosci. – 2015. – Apr 20;9:96.

26. Gunnar, M.R. Developmental changes in hypothalamus-pituitary-adrenal activity over the transition to adolescence: normative changes and associations with puberty / M.R. Gunnar, S. Wewerka, K. Frenn [et al.] // Dev. Psychopathol. – 2009. – V .21, № 1. – P. 69-85.

27. Kim, D. Application and limitation of frequency domain, LF/HF component in heart rate variability as an acute stress index / D. Kim, H. Koo, W. Lee [et al.] // Proceedings Int. Conf. Biomedical Engineering and Systems. - Prague, Czech Republic, August 14-15. – 2014. – Paper № 12. – URL: <http://www.aveatia.com>

28. Kirschbaum, C. The «Trier Social Stress Test» – a tool for investigating psychobiological stress responses in a laboratory setting // C. Kirschbaum, K.M. Pirke, D.H. Hellhammer // Neuropsychobiology. – 1993. – V. 28, № 1-2. – P. 76-81.

29. Kudielka, B.M. Differential heart rate reactivity and recovery after psychosocial stress (TSST) in healthy children, younger adults, and elderly adults: the impact of age and gender / B.M. Kudielka, A. Buske-Kirschbaum, D.H. // Int. J. Behav. Med. – 2004. – V. 11, № 2. – P. 116-121.

30. Looser, R.R. Cortisol is significantly correlated with cardiovascular responses during high levels of stress in critical care personnel / R.R. Looser, P. Metzenthin, S. Helfricht [et al.] // Psychosom. Med. – 2010. – V. 72, № 3. – P. 281-289.

31. Porges, S.W. The polyvagal theory: phylogenetic contributions to social behavior / S.W. Porges // Physiol. and Behav. – 2003. – V. 79, № 3. – P. 503-513.

32. Proskurov, E.M. Dynamic of changes in health of 10-11 years old gymnasium boys under influence of comprehensive education's load / E.M. Proskurov // Pedagogics, psychology, medical-biological problems of physical training and sports . – 2015. – № 7. – P. 39-47.

33. Sun, Y. Cortisol response to psychosocial stress in chinese early puberty girls: possible role of depressive symptoms / Y. Sun, F. Deng, Y. Liu [et al.] // Bio Med Research. Int. – 2015. – 5. – URL: <http://www.hindawi.com>

34. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. Heart Rate Variability. Standards of Measurements, Physiological interpretation, and Clinical Use // Circulation. – 1996. – № 93. – P. 1043-1065.

35. Wilder, J. Adrenalin and the law of initial value; a critical survey / J. Wilder // Exp. Med. Surg. – 1957. – V. 15, № 1. – P. 47-67.

36. Wolff, B.C. Children's vagal regulatory capacity predicts attenuated sympathetic stress reactivity in a socially supportive context: Evidence for a protective effect of the vagal system / B.C. Wolff, M.E. Wadsworth, F.H. Wilhelm F.H. [et al.] // *Dev. Psychopathol.* - 2012. - V. 24, № 2. - P. 677-689.

37. Yim, I.S. Children's and adults' salivary cortisol responses to an identical psychosocial laboratory stressor / I.S. Yim, J.A. Quas, L. Cahill [et al.] // *Psychoneuroendocrinology.* - 2010. - V. 35, № 2. - P. 241-248.