

ФИЗИОЛОГИЯ ВЫСШЕЙ НЕРВНОЙ
(КОГНИТИВНОЙ) ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА

УДК 612.821

ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ ПОДРОСТКОВ 15–16 ЛЕТ
ПРИ КОГНИТИВНЫХ НАГРУЗКАХ РАЗНОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ

© 2022 г. И. А. Криволапчук^{1,*}, М. Б. Чернова¹, В. В. Мышьяков²

¹Институт возрастной физиологии РАО, Москва, Россия

²УО “Гродненский государственный университет им. Янки Купалы”, Гродно, Беларусь

*e-mail: i.krivolapchuk@mail.ru

Поступила в редакцию 01.06.2021 г.

После доработки 14.07.2021 г.

Принята к публикации 05.10.2021 г.

Цель исследования – выявить типологические и индивидуальные особенности функционального состояния мальчиков 15–16 лет в условиях когнитивных нагрузок разной степени напряженности.

Методы. В исследовании принимали участие здоровые подростки 15–16 лет ($n = 146$). Изучение ФС проводили в четырех экспериментальных ситуациях: “спокойное бодрствование”, “мобилизационная готовность”, “нагрузка с комфортной скоростью”, “нагрузка с максимальной скоростью”. Регистрировали: ω -потенциал, сердечный ритм, артериальное давление крови. Определяли эффективность деятельности, уровень тревожности и мотивации.

Результаты. Установлено, что у большинства подростков мужского пола 15–16 лет в условиях мобилизационной готовности, а также при выполнении когнитивной нагрузки с комфортной и максимальной скоростью происходит повышение уровня общей активации центральной нервной системы, возрастание напряжения регуляторных систем и сдвиг вегетативного баланса в сторону преобладания активности симпатического отдела вегетативной нервной системы, усиление центральных влияний на сердечный ритм, стимуляция системной гемодинамики, возрастание уровня ситуативной тревожности.

С учетом особенностей динамики функционального состояния в рассматриваемых экспериментальных ситуациях выделены два типа вегетативных реакций на когнитивную нагрузку – реагирование по симпатическому и парасимпатическому типам. При работе с комфортной скоростью первый комплекс вегетативного реагирования встречается в 54%, а второй – в 19% случаев. Все остальные случаи представляют собой комбинации рассмотренных типов вегетативного реагирования. При работе с максимальной скоростью комплекс реакций по симпатическому типу был доминирующим видом реагирования, обнаруженным более чем у 85% испытуемых.

Заключение. Выявлены существенные индивидуальные различия по степени выраженности изменений показателей, характеризующих состояние различных функциональных систем. Показано, что изменениям функционального состояния подростков при когнитивной нагрузке соответствуют устойчивые паттерны психофизиологических реакций.

Ключевые слова: когнитивная нагрузка, комфортная и максимальная скорость работы, функциональное состояние, типы вегетативного реагирования, паттерны психофизиологических реакций

DOI: 10.31857/S0044467722020071

Изменения функционального состояния (ФС) организма человека в процессе когнитивной деятельности зависят от целого ряда факторов, среди которых наиболее существенное влияние на его динамику оказывает степень напряженности выполняемых нагру-

зок. Сегодня очевидно, что вопросы влияния социальных стрессоров и когнитивных нагрузок различной напряженности на ФС детей и подростков требуют детального изучения. В соответствии с имеющимися данными, пристальное внимание следует уделить

онтогенетическому аспекту рассматриваемой проблемы (Quas et al., 2014; Boyce, 2016; Ellis et al., 2017; Coulombe et al., 2019; Johnson et al., 2019; Lin et al., 2021). Это обусловлено тем, что выявление возрастных, типологических и индивидуальных особенностей ФС при когнитивных нагрузках имеет большое значение для раскрытия психофизиологических механизмов и стратегий адаптации человека к современной информационно насыщенной социальной среде.

Особый интерес в этом отношении представляют исследования ФС подростков — учащихся старших классов в условиях когнитивных нагрузок разной степени напряженности. Бурные физиологические изменения, происходящие в подростковом возрасте, и социальные перемены, сопровождающие переход в старшую школу, требуют значительной психофизиологической адаптации (Физиология подростка, 1988; Крайг, 2007). Выделяют социальные факторы риска, способствующие развитию в этот период у подростков депрессии, тревожности и стрессовых реакций. Это негативный образ тела, повышенная рефлексия о своем будущем, семейные проблемы, недостаточная популярность среди сверстников, низкая академическая успеваемость (Ремшмидт, 1994; Крайг, 2007). Кроме того, старшие подростки испытывают существенные информационные и эмоциональные перегрузки, связанные с необходимостью усвоения больших объемов значимой учебной информации, интенсивным использованием цифровых технологий в повседневной жизни, усиленной подготовкой к сдаче экзаменов (Pascos et al., 2020; Lin et al., 2021).

В качестве важнейших измерений индивидуальности, имеющих отношение к феномену функционального состояния, рассматриваются фоновый уровень активации физиологических систем и реактивность (Эверли, 2013; Boyce, 2016; Roos et al., 2018; Coulombe et al., 2019; Johnson et al., 2019; Espin et al., 2019). Эти, наиболее общие, показатели ФС тесно связаны с активностью модулирующих систем мозга, обеспечивающих приспособляемость организма к постоянно изменяющимся условиям окружающей среды (Данилова, 2012; Petersen et al., 2012; Мачинская, 2015; van Oort et al., 2017). В ряде работ показано, что у старших подростков отмечаются прогрессивные изменения механизмов произвольной регуляции и организации деятельности (Физиология подростка, 1988; Разви-

тие мозга и формирование..., 2009; Горев и др., 2018). Эти изменения, оказывая благоприятное влияние на ФС организма, могут обуславливать снижение избыточного эмоционального напряжения, способствовать повышению эффективности когнитивной деятельности и устойчивости к стрессу (Горев и др., 2018). Вместе с тем анализ имеющихся данных показал, что существует дефицит исследований, посвященных поиску индивидуальных различий у подростков 15–16 лет по параметрам активированности и психофизиологической реактивности в условиях напряженных когнитивных нагрузок.

Цель исследования — выявить индивидуальные особенности функционального состояния мальчиков 15–16 лет в условиях когнитивных нагрузок разной степени напряженности.

МЕТОДИКА

В экспериментальном рандомизированном исследовании принимали участие мальчики 15–16 лет ($n = 146$), отнесенные по состоянию здоровья к основной медицинской группе. Средний возраст испытуемых составил 15.5 ± 0.04 лет. Исследование, организованное с учетом требований Хельсинкской декларации, было одобрено этическим комитетом ИВФ РАО (протокол № 1 от 24 мая 2021 г.). Родители дали письменное согласие на основе полной информации на участие их ребенка в обследовании. Испытуемые не имели противопоказаний для выполнения тестовых нагрузок, не употребляли продуктов и лекарств, содержащих кофеин, менее чем за 2 ч до начала обследования.

В качестве тестовой когнитивной нагрузки использовали протокол работы с буквенными таблицами Анфимова. Задание состояло в зрительном поиске на экране и идентификации определенных целевых стимулов, имеющих одинаковую встречаемость по всей таблице. Испытуемым предлагалось выделять подчеркиванием “основные” целевые стимулы, за исключением тех случаев, когда перед ними стояли “дополнительные” целевые стимулы. Сочетания основных и дополнительных целевых стимулов отдельно выделялись цветом. По итогам выполнения тестового задания определяли показатель скорости работы (А), характеризующий общее количество просмотренных знаков — целевых и нецелевых стимулов. Рассчитывали также ко-

эффицент продуктивности (Q), учитывающий количество просмотренных знаков и допущенные ошибки (Антропова, 1984).

Изучение ФС испытуемых проводили в четырех экспериментальных ситуациях: “спокойное бодрствование”; “мобилизационная готовность” (МГ); “выполнение информационной нагрузки с комфортной скоростью” (автотемп – АТ); “выполнение информационной нагрузки с максимальной скоростью” (максимальный темп – МТ). За 2–3 мин до начала выполнения заданий вводилась общая инструкция и подавалась команда “приготовились!”. Состояние мобилизационной готовности оценивалось после введения этой команды. Затем непосредственно перед выполнением первого задания испытуемым сообщалось, что они должны безошибочно работать с “удобной” скоростью, а перед реализацией второго им давалась инструкция, содержащая требование безошибочно работать с максимально возможной скоростью. В качестве “наказания” независимо от результативности выполнения тестового задания применялись стандартный набор порицающих замечаний и сильный звук. “Наказание” использовалось для индуцирования состояния эмоционального напряжения.

В процессе тестирования испытуемые находились в положении сидя, они не были знакомы с предлагаемыми им экспериментальными ситуациями. Продолжительность каждой экспериментальной ситуации и интервалов отдыха между тестовыми нагрузками составляла 2 мин.

Регистрация ω -потенциала (ОП), характеризующего ФС ЦНС, осуществлялась по методике В.А. Илюхиной (Илюхина, 2013) посредством портативной установки с высоким входным сопротивлением (100 МОм), предназначенной для исследования сверхмедленных биопотенциалов головного мозга. В покое на основании начальных значений ω -потенциала оценивали уровень активации ЦНС в состоянии активного бодрствования, определяли знак и величину ОП после выхода на плато, рассчитывали время спонтанной релаксации, оценивали реактивность в условиях когнитивной нагрузки (Илюхина, 2013).

Для выявления степени напряженности регуляторных систем использовали вариационный анализ сердечного ритма по методике Р.М. Баевского с помощью автоматизированного комплекса “Варикард 2.51” на базе

персонального компьютера. Во всех рассматриваемых экспериментальных ситуациях изменения длительности R-R-интервалов анализировались в условиях стационарного процесса (Баевский и др., 2002). Рассчитывали среднюю продолжительность R-R-интервала (RRNN), моду (M_0), амплитуду моды (AM_0), разброс кардиоинтервалов ($M \times DM_n$), среднеквадратическое отклонение (SDNN), стресс-индекс (SI) (Баевский и др., 2002). Наряду с этим определяли пиковую частоту сердечных сокращений (ЧСС).

Артериальное давление крови регистрировали аускультативным методом Н.С. Короткова, применяя адекватную возрасту детскую манжету. При измерении систолического (СД) и диастолического (ДД) артериального давления учитывали рекомендации Society for Psychophysical Research (Shapiro et al., 1996). На основании проведенных измерений рассчитывали вегетативный индекс Кердо (ВИК), двойное произведение (ДП), среднее давление (САД), индекс Мызникова (ИМ), индекс функциональных изменений (ИФИ).

С помощью 8-цветового теста М. Люшера определяли уровень ситуативной тревожности (СТ) (Собчик, 2012).

Мотивацию изучали методом шкалированной самооценки на основе подхода, предложенного Т.В. Дембо – С.Я. Рубинштейн.

Детально методика исследования описана в ранее опубликованных работах (Криволапчук, Чернова, 2020).

Результаты статистической обработки представлены в виде средних значений показателей и средней ошибки ($M \pm m$), средних значений разности между выборками с попарно связанными вариантами и их средней ошибки ($d \pm m$). Статистическую значимость различий определяли на основе расчета t-критерия Стьюдента для связанных выборок. Различия считались значимыми при $p < 0.05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Зависимость функционального состояния от условий деятельности

Анализ результатов исследования показал, что при мобилизационной готовности после введения общей инструкции у испытуемых наблюдались существенные ($p_s < 0.05–0.001$) изменения рассматриваемых показателей ФС по сравнению с состоянием спокойного бодрствования. При этом одни показатели

Таблица 1. Психофизиологические показатели функционального состояния мальчиков 15–16 лет в условиях покоя и мобилизационной готовности
Table 1. Psychophysiological indicators of the functional state of boys 15–16 years old in conditions of rest and mobilization readiness

Показатель	Состояние покоя	Мобилизационная готовность		
		А	С	
	М ± m	М ± m	d ± m	%
ОП, мВ	18.71 ± 1.32	40.13 ± 1.52	21.42 ± 1.63***	114.5
RRNN, мс	805.7 ± 23.8	742.4 ± 14.6	–63.3 ± 12.3***	–7.86
Мо, мс	828.2 ± 24.1	758.1 ± 12.2	–70.1 ± 11.8***	–8.46
МхDMn, мс	283.9 ± 14.3	230.24 ± 13.2	–53.66 ± 11.4***	–18.9
АМо, %	36.12 ± 1.55	43.46 ± 1.87	7.34 ± 1.31***	20.32
SI, отн. ед.	108.63 ± 16.69	175.12 ± 15.4	66.49 ± 16.82***	61.21
SDNN, мс	69.8 ± 3.9	41.8 ± 2.1	–28.5 ± 3.1***	–40.8
ЧСС, уд/мин	76.91 ± 1.45	89.7 ± 1.41	12.79 ± 1.27***	16.63
СД, мм рт. ст.	122.25 ± 1.63	131.01 ± 1.72	8.76 ± 1.05***	7.17
ДД, мм рт. ст.	73.72 ± 1.49	82.69 ± 1.38	8.97 ± 1.01***	12.17
САД, мм рт. ст.	89.64 ± 1.45	98.49 ± 1.20	8.85 ± 0.94***	9.87
ДП, отн. ед.	96.41 ± 2.70	117.42 ± 2.25	21.01 ± 2.39***	21.79
ИМ, отн. ед.	128.37 ± 1.97	141.01 ± 3.95	12.64 ± 3.21***	9.85
ВИК, отн. ед.	0.07 ± 0.02	0.20 ± 0.02	0.13 ± 0.03***	42.86
ИФИ, отн. ед.	5.73 ± 0.04	5.98 ± 0.04	0.25 ± 0.04***	4.36
СТ, баллы	2.14 ± 0.36	2.89 ± 0.42	0.75 ± 0.31*	35.05
Мотивация, мм	–	72.1 ± 2.2	–	–

Примечание: А – абсолютное значение показателя, С – сдвиг показателя по отношению к состоянию спокойного бодрствования, *, **, *** – статистическая значимость сдвига при $p < 0.05, 0.01, 0.001$ соответственно.

Note: A – absolute value of the indicator, C – shift of the indicator in relation to the state of calm wakefulness, *, **, *** – statistical significance of the shift at $p < 0.05, 0.01, 0.001$, respectively.

возрастали, а другие, наоборот, снижались (табл. 1).

В условиях мобилизационной готовности величина ω -потенциала в 98% случаев возрастала. Максимальное увеличение данного показателя происходило на 15–30 с после введения стимулирующей инструкции. Средние значения ОП достигали 40.13 ± 1.52 мВ. Время спонтанной релаксации составляло 3.4 ± 0.1 мин, а величина сдвига по сравнению с уровнем плато – 21.42 ± 1.63 (114.5%, $p < 0.001$; $t = 13.1$; $k = 145$). Выраженные сдвиги ОП при мобилизационной готовности указывают на избыточное напряжение корково-стволовых и лимбико-ретикулярных механизмов регуляции ФС, характерное для стадии тревоги общего адаптационного синдрома на фоне высокого уровня мотивации деятельности (Илюхина, 2013).

После введения мобилизующей инструкции происходили также существенные

изменения вегетативных, поведенческих и субъективных показателей ФС (см. табл. 1). Анализ сдвигов этих показателей позволил установить, что у подавляющего большинства подростков мобилизующая инструкция вызывала изменения активационных процессов: наблюдались статистически значимое ($p_s < 0.05–0.001$) увеличение SI, АМо, ЧСС, СД, ДД, САД, ДП, ИМ, ВИК, ИФИ, СТ и уменьшение RRNN, Мо, МхDMn, SDNN (см. табл. 1). Изменения показателей сердечного ритма, центральной гемодинамики, интегральных параметров вегетативного обеспечения деятельности и адаптационных возможностей организма указывают на существенное повышение уровня неспецифической активации и напряжение механизмов вегетативной регуляции ФС. По-видимому, в ситуации прагматической неопределенности, когда неясно, сколько ресурсов может срочно понадобиться организму, изменения ФС, как правило, носят избыточный характер.

Таблица 2. Сдвиги ($d \pm m$) показателей функционального состояния при работе с комфортной и максимальной скоростью по сравнению с мобилизационной готовностью
Table 2. Shifts ($d \pm m$) of indicators of the functional state when working with a comfortable and maximum speed in comparison with mobilization readiness

Показатель	Мобилизационная готовность	Работа с комфортной скоростью	Работа с максимальной скоростью
	$M \pm m$	$d \pm m$	$d \pm m$
ОП, мВ	40.13 ± 1.52	-1.35 ± 1.52	2.70 ± 1.41
RRNN, мс	742.4 ± 14.6	53.22 ± 13.6***	-57.56 ± 15.3***
Мо, мс	758.1 ± 12.2	50.55 ± 12.4***	-64.9 ± 17.1***
МхDMп, мс	230.24 ± 13.2	-15.16 ± 10.5**	-41.45 ± 12.9**
АМо, %	43.46 ± 1.87	-4.27 ± 1.53**	-1.89 ± 1.22
SI, отн. ед.	175.12 ± 15.4	-17.18 ± 14.8	31.65 ± 18.6
SDNN, мс	41.8 ± 2.1	31.9 ± 4.9***	15.7 ± 2.08***
ЧСС, уд/мин	89.7 ± 1.41	-4.38 ± 1.25***	-1.65 ± 1.15
СД, мм рт. ст.	131.01 ± 1.72	-4.45 ± 1.21***	1.52 ± 1.18
ДД, мм рт. ст.	82.69 ± 1.38	-7.58 ± 1.33***	-1.86 ± 1.36
САД, мм рт. ст.	98.49 ± 1.20	-6.03 ± 1.15***	-0.58 ± 1.18
ДП, отн. ед.	117.42 ± 2.25	-5.78 ± 2.12**	5.68 ± 3.09
ИМ, отн. ед.	141.01 ± 3.95	5.49 ± 2.55*	-1.64 ± 2.01
ВИК, отн. ед.	0.20 ± 0.02	-0.08 ± 0.03**	-0.07 ± 0.04
ИФИ, отн. ед.	5.98 ± 0.04	-0.10 ± 0.04*	-0.01 ± 0.04
СТ, баллы	2.89 ± 0.42	-0.13 ± 0.21	-0.01 ± 0.21
Мотивация, мм	72.1 ± 2.2	-6.8 ± 1.7***	7.5 ± 2.6**

Примечание: *, **, *** – статистическая значимость сдвига при $p < 0.05, 0.01, 0.001$ соответственно.
Note: *, **, *** – statistical significance of the shift at $p < 0.05, 0.01, 0.001$, respectively.

Показатели эмоционально-мотивационной сферы обследуемых, полученные при мобилизационной готовности, доказывают наличие у них выраженной психической напряженности. На это, в частности, указывают высокие уровни мотивации и ситуативной тревоги по тесту Люшера (см. табл. 1). В целом анализ полученных результатов показал, что у подавляющего большинства школьников введение мобилизующей инструкции вызывало выраженные изменения активационных процессов на фоне высокого уровня мотивации.

При выполнении когнитивной нагрузки с комфортной скоростью по сравнению с состоянием мобилизационной готовности отмечалось уменьшение изменений рассматриваемых показателей (табл. 2). Последнее указывает на снижение уровня неспецифической активации ЦНС, сдвиг вегетативного баланса в сторону уменьшения активности симпатического отдела ВНС и некоторое ослабление центральных регуляторных влияний на сердечный ритм. Однако по сравнению со спокой-

ным бодрствованием сдвиги большинства показателей ФС при работе с комфортной скоростью хотя и были меньше, чем при мобилизационной готовности, но также носили статистически значимый ($p_s < 0.05–0.001$) характер (табл. 3). Выявленные в этих условиях особенности ФС, вероятно, обусловлены высокой активностью подсистемы продуктивной активации, связанной с ориентировочно-исследовательским поведением (Данилова, 2012).

Когнитивная нагрузка, реализуемая с максимальной скоростью при наличии дефицита времени и угрозы “наказания”, вызвала нарастание сдвигов изучаемых физиологических, поведенческих и субъективных показателей ФС. При работе в режиме максимального темпа по сравнению со спокойным бодрствованием происходили наиболее выраженные ($p_s < 0.05–0.001$) изменения ω -потенциала, SI, АМо, ЧСС, СД, ДД, САД, ДП, ИМ, ИФИ, RRNN, Мо, МхDMп, SDNN, СТ и уровня мотивации деятельности (табл. 3). Сравнение сдвигов при выполнении тесто-

Таблица 3. Психофизиологические изменения функционального состояния мальчиков 15–16 лет в условиях когнитивной нагрузки разной степени напряженности**Table 3.** Psychophysiological changes in the functional state of 15–16-year-old boys under conditions of cognitive load of varying degrees of tension

Показатель	Работа с комфортной скоростью			Работа с максимальной скоростью		
	A	C		A	C	
	M ± m	d ± m	%	M ± m	d ± m	%
ОП, мВ	38.78 ± 1.93	20.07 ± 1.35***	107.3	42.83 ± 1.68	24.12 ± 1.75***	128.9
RRNN, мс	795.62 ± 18.1	–10.08 ± 12.8	–1.25	684.84 ± 17.81	–120.86 ± 15.20***	–15.00
Mo, мс	808.65 ± 16.1	–19.55 ± 8.9*	–2.36	693.20 ± 20.65	–135.00 ± 14.2***	–16.32
MxDMn, мс	215.08 ± 15.5	–21.22 ± 10.3*	–7.74	188.79 ± 11.79	–95.11 ± 11.6***	–33.5
АМо, %	39.19 ± 1.75	3.07 ± 1.24*	8.50	41.57 ± 1.43	5.45 ± 1.02***	15.09
SI, отн. ед.	157.94 ± 18.23	49.31 ± 17.07**	45.39	206.77 ± 15.32	98.14 ± 17.1***	90.34
SDNN, мс	73.72 ± 4.1	3.92 ± 1.61*	5.62	56.87 ± 3.9	–12.93 ± 3.1***	–18.52
ЧСС, уд/мин	85.32 ± 1.88	8.41 ± 1.72***	10.93	88.05 ± 1.42	11.14 ± 1.84***	14.49
СД, мм рт. ст.	126.56 ± 1.65	4.31 ± 1.37**	3.53	132.53 ± 1.52	10.28 ± 1.15***	8.41
ДД, мм рт. ст.	75.11 ± 1.45	1.39 ± 1.24	1.89	80.83 ± 1.41	7.11 ± 1.14***	9.65
САД, мм рт. ст.	92.46 ± 1.23	2.82 ± 1.18*	3.15	97.91 ± 1.28	8.27 ± 1.13***	9.23
ДП, отн. ед.	111.64 ± 3.95	15.23 ± 2.89***	15.80	123.17 ± 3.22	26.76 ± 2.74***	27.76
ИМ, отн. ед.	146.57 ± 3.28	18.20 ± 5.01***	14.18	139.37 ± 3.54	11.00 ± 3.14***	8.57
ВИК, отн. ед.	0.12 ± 0.02	0.04 ± 0.02*	50.00	0.13 ± 0.03	0.05 ± 0.02*	62.50
ИФИ, отн. ед.	5.88 ± 0.04	0.15 ± 0.03***	2.62	5.97 ± 0.04	0.24 ± 0.04***	4.19
СТ, баллы	2.76 ± 0.39	0.62 ± 0.30*	28.97	2.89 ± 0.39	0.75 ± 0.34*	35.05
Мотивация, мм	65.3 ± 1.8	–6.8 ± 1.9***	–9.43	79.6 ± 2.0	7.5 ± 1.9***	10.40
А, знаки	253.54 ± 14.74			272.04 ± 14.03	18.50 ± 7.81*	7.30
Q, отн. ед.	16.92 ± 0.95			10.95 ± 0.91	–5.97 ± 1.06***	–35.29

Примечание: А – абсолютное значение показателя, С – сдвиг показателя по отношению к состоянию спокойного бодрствования, *, **, *** – статистическая значимость сдвига при $p < 0.05, 0.01, 0.001$ соответственно.

Note: A – absolute value of the indicator, C – shift of the indicator in relation to the state of calm wakefulness, *, **, *** – statistical significance of the shift at $p < 0.05, 0.01, 0.001$, respectively.

вой когнитивной нагрузки с максимальной скоростью и при мобилизационной готовности выявило близость средних значений большинства показателей ФС (см. табл. 2). Исключение составляют статистически значимые различия ($p_s < 0.05–0.001$) в отношении RRNN, Mo, MxDMn и уровня мотивации (см. табл. 2). Выявленные в этих условиях особенности ФС, по-видимому, обусловлены избыточным повышением активности модулирующей системы мозга за счет нарастания относительного вклада подсистемы непродуктивной активации, связанной с “оборонительным поведением”, тревожностью и стрессом (Данилова, 2012).

Оценка эффективности выполнения когнитивных заданий показала, что она заметно модифицируется при различных режимах работы. При этом количественные и каче-

ственные параметры деятельности могут изменяться разнонаправленно. В частности, установлено, что при работе в максимальном темпе по сравнению с работой с комфортной скоростью количество просмотренных знаков увеличивается, а коэффициент продуктивности в большинстве случаев уменьшается ($p_s < 0.05–0.001$). При втором режиме работы отмечается увеличение психофизиологических “затрат” на переработку значимой информации, причем это происходит как за счет нарастания вегетативных сдвигов, так и за счет снижения продуктивности выполнения задания. Последнее согласуется с представлением, что зависимость эффективности деятельности от уровня стресса имеет криволинейный характер и в графическом виде описывается инвертированной U-образной кривой (AbuAlRub, 2004; Luksys et al., 2011;

Starcke et al., 2016; Shimazu et al., 2018; Chin et al., 2019).

Динамика рассматриваемых показателей эмоционально-мотивационной сферы в разных экспериментальных ситуациях характеризовалась сходной направленностью изменений. Так, уровень тревожности по сравнению с условиями покоя значительно возрастал в ситуации “мобилизационная готовность” (см. табл. 1), затем несколько снижался в ситуации “работа с комфортной скоростью” и снова увеличивался в ситуации “работа с максимальной скоростью” (см. табл. 2–3). Сходные изменения выявлены и в отношении показателей мотивации: в ситуации “работа с комфортной скоростью” величина показателя мотивации снижалась, по сравнению с условиями мобилизационной готовности, и снова увеличивалась в ситуации “работа с максимальной скоростью” (см. табл. 2–3). При более высоком уровне мотивации, как правило, отмечались и более выраженные изменения ω -потенциала, вегетативных показателей ФС и ситуативной тревожности.

Индивидуальные особенности изменения функционального состояния при смене когнитивной нагрузки

В ходе дальнейшей работы выявлены два типа вегетативного реагирования на когнитивную нагрузку: симпатический и парасимпатический (рис. 1). Эти типы вегетативных реакций отличаются прежде всего по направленности сдвигов физиологических, поведенческих и субъективных показателей ФС при выполнении тестовых заданий в условиях функционального комфорта по сравнению с условиями мобилизационной готовности (см. рис. 1). При работе с комфортной скоростью первый комплекс вегетативного реагирования встречается в 54%, а второй – в 19% случаев. Все остальные случаи представляют собой комбинации рассмотренных типов вегетативного реагирования. При работе с максимальной скоростью комплекс реакций по симпатическому типу явился доминирующим видом реагирования, обнаруженным более чем у 85% испытуемых. Оставшиеся случаи представляют собой комбинации симпатического и парасимпатического типов вегетативного реагирования.

На рис. 1 (а, б, в) в качестве примера приведена динамика изменений трех информативных физиологических показателей в рас-

сматриваемых экспериментальных ситуациях у двух подростков с разными типами реагирования. У испытуемого с симпатическим типом реакции отмечался высокий уровень вегетативных сдвигов (Δ ЧСС, Δ САД, Δ ДП) как в условиях мобилизационной готовности, так и в условиях тестовых когнитивных нагрузок. У испытуемого с парасимпатическим типом реакции во всех экспериментальных ситуациях наблюдались менее выраженные сдвиги рассматриваемых показателей. Различия между ними были наиболее существенными при выполнении работы с комфортной скоростью. При этом у подростка с парасимпатическим типом вегетативные сдвиги при нагрузке в режиме автотемпа были существенно ниже по сравнению с состоянием мобилизационной готовности и работой с максимальной скоростью. Важно отметить: процессы восстановления после когнитивных нагрузок у испытуемых с парасимпатическим типом завершались быстрее (см. рис. 1). В целом при симпатическом типе вегетативных реакций в начале выполнения тестового задания с комфортной скоростью отмечались пиковые сдвиги рассматриваемых показателей ФС, затем эти показатели несколько снижались и стабилизировались на новом уровне. Подчеркнем, что пиковые сдвиги ФС при выполнении тестового задания были сопоставимы со сдвигами в условиях мобилизационной готовности или могли несколько превышать их. В то же время средние сдвиги за период работы были ниже. Важно подчеркнуть, что при симпатическом типе вегетативного реагирования пиковые сдвиги психофизиологических показателей по мере перехода от состояния спокойного бодрствования к работе в максимальном темпе, как правило, удерживались на высоком уровне (см. рис. 1).

У испытуемых с парасимпатическим типом вегетативного реагирования изменения показателей ФС при выполнении заданий были менее выражены, чем при мобилизационной готовности (см. рис. 1, 2). При данном типе вегетативного реагирования в условиях работы с комфортной скоростью отмечались меньшие пиковые и средние значения большинства из рассматриваемых показателей по сравнению с состоянием мобилизационной готовности. В отдельных случаях психофизиологические показатели ФС снижались ниже фоновых значений. Важно отметить, что при парасимпатическом типе реагирова-

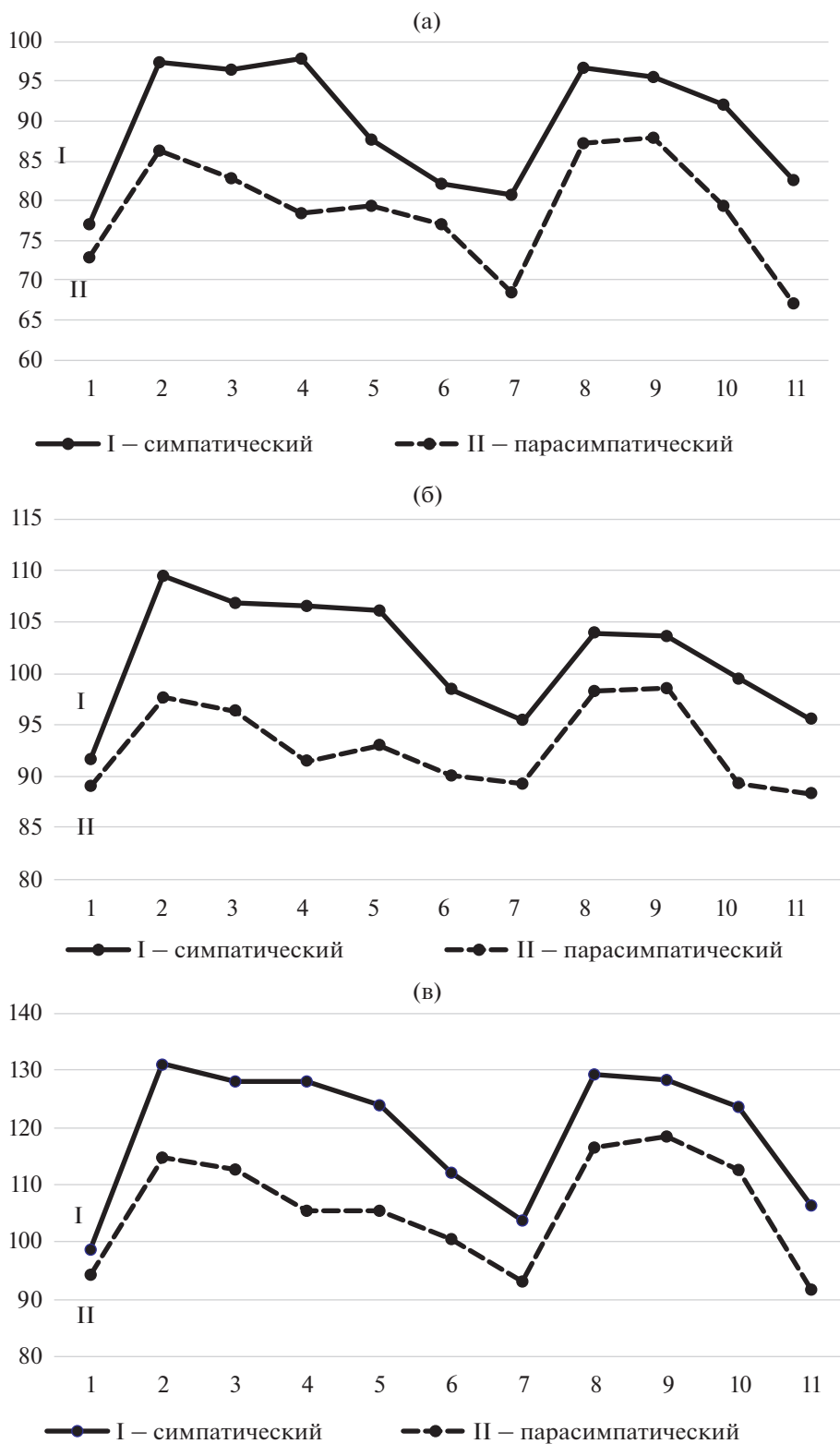


Рис. 1. Динамика показателей функционального состояния подростков 15–16 лет с симпатическим (I) и парасимпатическим (II) типами вегетативного реагирования.

Примечание: (а) – частота сердечных сокращений (ЧСС), уд/мин; (б) – среднее артериальное давление (САД), мм рт. ст.; (в) – двойное произведение (ДП), отн. ед.

Цифры под шкалой абсцисс обозначают показатели функционального состояния в условиях покоя (1), на начальном и завершающем этапах экспериментальных ситуаций (2–11); 2, 3 – мобилизационная готов-

ность; 4, 5 – реализация когнитивной нагрузки в режиме автотемпа; 6, 7 – период восстановления после нагрузки в режиме автотемпа; 8, 9 – реализация нагрузки в режиме максимального темпа; 10, 11 – период восстановления после нагрузки в режиме максимального темпа.

Fig. 1. Dynamics of indicators of the functional state of adolescents 15–16 years old with sympathetic (I) and parasympathetic (II) types of autonomic response.

Note: (a) – heart rate (HR), beats/min; (б) – mean arterial pressure (MAP), mm. Hg.; (в) – double product (DP), rel. units

The numbers under the abscissa scale indicate the indicators of the functional state at rest (1), at the initial and final stages of experimental situations (2–11): 2, 3 – mobilization readiness; 4, 5 – implementation of cognitive load in auto-tempo mode; 6, 7 – recovery period after loading in auto-tempo mode; 8, 9 – implementation of the load at the maximum rate; 10, 11 – the period of recovery after cognitive load at the maximum rate.

ния в состоянии мобилизационной готовности наблюдались выраженные изменения вегетативных показателей ФС по сравнению с состоянием спокойного бодрствования. При этом в условиях работы с комфортной скоростью проявлялись четкая тенденция снижения сдвигов этих показателей по сравнению с ситуацией мобилизационной готовности и последующее их увеличение при работе с максимальной скоростью (см. рис. 1, 2). И, наконец, у испытуемых с симпатическим типом абсолютные значения показателей ФС во всех рассматриваемых экспериментальных ситуациях были выше, чем у подростков с парасимпатическим типом вегетативного реагирования. Эта группа испытуемых по данным омегаметрии также характеризовалась более длительной спонтанной релаксацией.

Дальнейший анализ полученных результатов показал, что в рамках выделенных типологических особенностей у мальчиков 15–16 лет наблюдаются выраженные индивидуальные различия в характере реагирования различных функциональных систем на когнитивную нагрузку. Высокий уровень сдвигов показателей ФС, относящихся к одной функциональной системе, как правило, сочетается с низкими и средними уровнями реакций со стороны переменных, связанных с другими системами. У небольшого процента испытуемых наблюдаются только высокие, средние или только низкие уровни реактивности в отношении показателей, связанных с различными функциональными системами. На рис. 2 (А, В, С, D, E, F) представлены соотношения уровней показателей ФС у шести подростков, характеризующихся различной

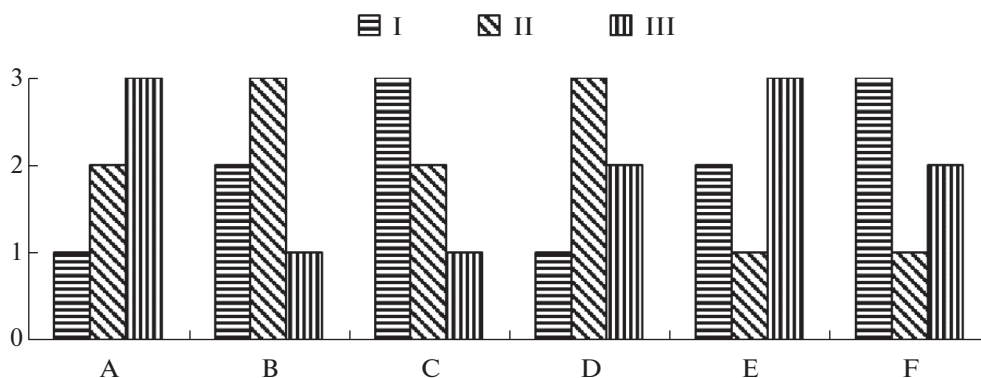


Рис. 2. Соотношения уровней ω -потенциала (I), среднего давления крови (II) и средней продолжительности RR-интервала (III) у шести испытуемых при выполнении когнитивной нагрузки в максимальном темпе. 1 – низкий, 2 – средний, 3 – высокий уровень показателя.

Примечание: А, В, С, D, E, F – специфические устойчивые паттерны психофизиологических ответов на когнитивную нагрузку.

Fig. 2. The ratios of the levels of the ω -potential (I), the average blood pressure (II) and the average duration of the RR-interval (III) in six subjects when performing the cognitive load at the maximum pace. 1 – low, 2 – medium, 3 – high level of the indicator.

Note: A, B, C, D, E, F are specific stable patterns of psychophysiological responses to cognitive load.

степенью выраженности изменений в отдельных функциональных системах: в сверхмедленной информационно-управляющей системе ЦНС, системах регуляции сердечного ритма и артериального давления крови. Как видно, испытуемый А в условиях тестовой нагрузки отличается низкими величинами ω -потенциала, средними – RRNN, высокими – САД. У испытуемого В наблюдались средние значения ω -потенциала, наиболее высокие значения продолжительности RR-интервала, низкие величины САД. Испытуемый С характеризовался наиболее существенными сдвигами ω -потенциала, средними – показателями сердечного ритма, низкими – артериального давления крови. Испытуемый D отличался низкой реактивностью ω -потенциала в сочетании с высоким уровнем показателей сердечного ритма и средним уровнем прироста показателей артериального давления крови. Встречались и другие паттерны активности рассматриваемых систем при реализации описанных выше моделей когнитивной нагрузки (см. рис. 2, паттерны Е, F).

Таким образом, определенному уровню активации ЦНС, формирующему ФС подростков 15–16 лет, соответствуют специфические устойчивые паттерны психофизиологических реакций, проявляющиеся как в условиях мобилизационной готовности, так и в условиях когнитивных нагрузок.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В связи с полученными данными возникает важный вопрос о влиянии мобилизирующих инструкций на выраженность психофизиологических реакций в ситуации мобилизационной готовности. Хорошо известно, что даже малозаметные изменения инструкции на фоне сохранения неизменными всех параметров стимульного ряда могут оказывать существенное влияние на уровень психической напряженности (Франкенхойзер, 1970). Результаты исследования дают основание предполагать, что стрессовая реакция у школьников 15–16 лет при мобилизационной готовности может актуализироваться на основе защитных процессов, порождаемых угрозой. В рассматриваемом контексте под угрозой понимается состояние ожидания субъектом нежелательного, вредоносного влияния стимулов определенного вида (Everly et al., 2013). Негативные свойства стимула оцениваются по продолжительности и интенсивности воз-

действия, степени неопределенности ситуации и наличия у индивида ресурсов, необходимых для преодоления такого воздействия (Everly et al., 2013; Roos et al., 2018). Символическое значение “вредоносного” будущего воздействия определяется совокупностью когнитивных процессов (Everly et al., 2013; van Oort et al., 2017; Johnson et al., 2019).

В рассматриваемой ситуации мобилизационной готовности под влиянием инструкции у подавляющего большинства испытуемых отмечаются поведенческие реакции защитного типа, характерные для психологического стресса, формирующиеся, по-видимому, на основе взаимодействия передних отделов неокортекса, гиппокампа, миндалина, гипоталамуса, ретикулярной формации ствола мозга (Симонов, 1987; McEwen et al., 2015; Bao et al., 2018; Bremner et al., 2019). Вентромедиальная префронтальная кора осуществляет управление активностью миндалевидного тела при стрессе. Особую роль в этом процессе играют роstralная передняя поясная кора и орбитофронтальная кора. Эти области вентромедиальной префронтальной коры взаимодействуют для адекватного тормозного контроля миндалевидного тела и эмоциональной регуляции (Andrewes et al., 2019). Произвольная регуляция аффективных аспектов поведения и социального взаимодействия реализуется с преимущественным вовлечением орбитофронтальной коры, активность которой тесно связана с субъективной оценкой происходящих событий, а также предпринимаемых действий в аспекте их соответствия целям поведения (Мачинская, 2015). Гиппокамп и миндалевидное тело на основе текущего и прошлого опыта помогают интерпретировать ситуацию как угрожающую, вызывающую стресс, влияя тем самым на приспособительные реакции (McEwen et al., 2015). Непосредственная регуляция защитного поведения осуществляется, как известно, системой миндалина – гипоталамус – симпатическая нервная система – мозговое вещество надпочечников (Лафренье, 2004; Данилова, 2012; McEwen et al., 2015). Предполагается, что ключевая роль в этом процессе принадлежит миндалине, активность которой направлена на обеспечение защитного поведения при участии вегетативных, эндокринных и соматических функций (Лафренье, 2004; McEwen, 2017). При стрессе миндалина тесно взаимодействует не только с лоб-

ной корой и гиппокампом, но и с гипоталамусом (Лафренье, 2004; McEwen, 2017). Последний, нейрогенно влияя на лимбические структуры, вызывает эмоцию тревоги и одновременно активизирует эрготропную систему мозга и симпатический отдел ВНС на периферии. В этих же временных рамках могут происходить оценка ситуации и принятие решения о необходимых действиях (Аракелов, 1995).

Материалы исследования подтверждают полученные ранее на других возрастных группах результаты, доказывающие, что выполнение когнитивной нагрузки с индивидуально комфортной скоростью, как правило, сопровождается продуктивной активацией, тогда как выполнение задания с максимальной скоростью, наоборот, осуществляется на фоне непродуктивной активации, характерной для стрессовых состояний (Криволапчук, Чернова, 2020).

Изучение ФС подростков 15–16 лет при реализации когнитивных заданий с комфортной и максимальной скоростью показало, что используемые модели нагрузок формируют у испытуемых различные комплексы психофизиологических реакций. В процессе дифференцированного анализа полученных данных были выделены два противоположно направленных комплекса вегетативного реагирования на когнитивную нагрузку в режиме автотемпа: реагирование преимущественно по симпатическому типу и реагирование по парасимпатическому типу. В этой связи уместно отметить, что различают и два типа процессов активации, вызываемых ориентировочно-исследовательским и защитным поведением. Между этими формами поведения существуют реципрокные отношения, отражающиеся, в частности, в противоположной направленности вегетативных реакций. Первые ассоциируются с функциями информационных систем мозга, а вторые – с функциями лимбической системы (Симонов, 1987; Данилова, 2012).

Существует точка зрения о наличии относительно стабильных индивидуальных различий в уровне психофизиологической реактивности (Данилова, 2012), при этом считается, что индивидуальные особенности реактивности зависят от баланса нескольких модулирующих систем мозга. Предполагается, что комбинациями вкладов различных независимо функционирующих активирующих систем пред-

определяется индивидуальная склонность человека к проявлению специфических психофизиологических реакций (Хомская, 2005; Данилова, 2012; Petersen et al., 2012; Мачинская, 2015; van Oort et al., 2017).

Наряду с этим установлено, что у подростков с симпатическим типом вегетативного реагирования уровень ситуативной тревожности выше, чем у школьников с парасимпатическим типом вегетативного реагирования. Эти сведения согласуются с данными других работ (Siess et al., 2014, Espin et al., 2019).

Полученные нами результаты показывают также, что у подростков с симпатическим типом вегетативного реагирования средний уровень мотивации деятельности выше, чем у обследуемых с парасимпатическим типом вегетативного реагирования. Мы полагаем, что особенности мотивационного возбуждения при выполнении когнитивной нагрузки могут быть одним из факторов, определяющих выраженность психофизиологических реакций у школьников 15–16 лет. Как известно, чем интенсивнее, значимее мотивы деятельности, тем большие психофизиологические изменения происходят под влиянием напряженной когнитивной нагрузки (Боднар и др., 1996). С другой стороны, показано, что выраженное снижение стрессовой реактивности может быть связано с нарушениями поведения, требующего мотивации (Henderson et al., 2019). В дальнейших исследованиях необходимо детально оценить роль фактора мотивации в формировании психофизиологических изменений ФС подростков при интенсивной когнитивной нагрузке.

Результаты исследования об относительной независимости изменений активности разных функциональных систем, определяющих индивидуальные паттерны психофизиологических ответов у подростков 15–16 лет при напряженной деятельности, согласуются с данными научной литературы. Выявлены три основных типа реакций на когнитивную нагрузку, два из которых характеризуются противоположно направленными изменениями сердечного ритма и артериального давления крови, а третий – однонаправленными сдвигами этих показателей (Compagnone et al., 1999). Установлено, что индивидуальные различия в физиологических реакциях детей на психосоциальный стресс определяются прежде всего особенностями взаимодействия

симпатической и парасимпатической систем (El-Sheikh et al., 2009). На основе сопоставления активности автономной нервной системы дифференцировали четыре группы испытуемых, различающиеся по паттернам психофизиологической реактивности. В связи с тем, что у подавляющего большинства детей тип вегетативного реагирования оставался неизменным, высказано предположение о формировании индивидуального реактивного стереотипа на ранних этапах онтогенеза (Salomon et al., 2000).

Показано, что индивидуальные различия в психофизиологической реактивности и восприимчивости детей к положительным или отрицательным социальным условиям проявляются на различных иерархически упорядоченных уровнях биологической организации человека (Воусе, 2016). В целом предполагается, что избыточная психофизиологическая реактивность отражает относительный дефицит способности к саморегуляции и приводит к повышенной чувствительности к воздействию социальных факторов. Поэтому люди с высокой реактивностью проявляют либо исключительную уязвимость (тип “орхидеи”), либо исключительную устойчивость (тип “одуванчики”), в зависимости от уровня стресса и условий, характеризующих окружающую социальную среду (Воусе, 2016). Относительно недавно для улучшения понимания эволюционного развития индивидуальных различий в стрессовой реактивности предложена модель адаптивной калибровки (*adaptive calibration model*) (Del Giudice et al., 2011). В рамках данной модели идентифицировано четыре паттерна фоновой активации и реактивности ВНС на стрессовую задачу. Выделенные паттерны в значительной степени связаны с разными уровнями семейного стресса (Del Giudice et al., 2011). На этой основе описаны 4 типа индивидуальности, названные “условно чувствительные” (*sensitive*), “буферизированные” (*buffered*), “бдительные” (*vigilant*) и “бесстрастные” (*unemotional*). Физиологические различия между типами определялись активностью симпатической системы, в меньшей степени базальной активностью парасимпатической системы и, еще в меньшей степени, ее реактивностью (Del Giudice et al., 2011). Экспериментальная проверка ключевых положений модели адаптивной калибровки в целом подтвердила наличие четырех паттернов психофизиологических реакций у

детей и подростков (Del Giudice et al., 2012). Измерения симпатической, парасимпатической и адренокортикальной активации, а также реакции на социально-оценочный стресс и восстановление после него подтвердили таксономию четырех паттернов психофизиологической реактивности, рассматриваемых в рамках модели адаптивной калибровки (Ellis et al., 2017). Выделенные физиологические профили ассоциируются с комплексным влиянием психосоциальных факторов на развитие ребенка в различные возрастные периоды. Еще в одном исследовании у испытуемых выявлены пять профилей психофизиологических реакций, которые в значительной степени соответствовали паттернам модели адаптивной калибровки (Lin, 2020). Установлено, что данные профили взаимосвязаны с самооценкой эмоциональности и адаптивности (Lin et al., 2020). Анализ взаимодействия основных стресс-реализующих систем при выполнении разных когнитивных заданий позволил выявить шесть паттернов реакций, формирующихся в ходе онтогенеза (Quas et al., 2014). В ряде исследований определены также взаимосвязи парасимпатической и симпатической реактивности детей с просоциальным поведением (Porges, 2007; Kogan et al., 2014; Miller et al., 2017; Coulombe et al., 2019).

По имеющимся данным, на уровне отдельных функциональных систем существует дифференцированный региональный контроль симпатической и парасимпатической активности, вследствие чего эти системы имеют разный уровень активации. Внутри же этих систем, как правило, отмечается высокий параллелизм изменений психофизиологических показателей (Вейн, Соловьева, 2010). Подобные различия в активности отдельных систем отражают поиск оптимального паттерна активации, при котором полезный приспособительный результат достигается наиболее экономичным путем при минимальных затратах времени и ресурсов. В недавно опубликованных работах представлены данные, указывающие на некогерентную реактивность различных стресс-реализующих систем. Авторы модели когерентности/компенсации напряжений (Andrews et al., 2013; Poprelaars et al., 2019) полагают, что после начального увеличения когерентного напряжения взаимодействующие системы компен-

сируют друг друга в целях достижения оптимального ФС (Poppelaars et al., 2019).

В заключение отметим большое разнообразие у испытуемых 15–16 лет паттернов реакций на применяемые когнитивные нагрузки. Вероятно, это указывает на то, что у доминирующей функциональной системы, обеспечивающей реализацию напряженной познавательной деятельности, имеются внутренние условия для существенной модификации ее исполнительных механизмов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлено, что у подростков 15–16 лет в условиях мобилизационной готовности, выполнения когнитивной нагрузки с комфортной и максимальной скоростью наблюдаются повышение уровня общей активации ЦНС, возрастание напряжения регуляторных систем и сдвиг вегетативного баланса в сторону преобладания активности симпатического отдела ВНС, усиление центральных регуляторных влияний на сердечный ритм, стимуляция системной гемодинамики, возрастание уровня ситуативной тревожности на фоне высокой мотивации деятельности.

Полученные результаты дают основание считать, что психофизиологическая цена когнитивной нагрузки, выполняемой с комфортной скоростью, ниже, чем нагрузки, выполняемой с максимальной скоростью. Переход от первого режима работы ко второму сопровождается снижением эффективности деятельности, увеличением уровня мотивации и ситуативной тревожности, что, по-видимому, обусловлено более выраженным нарастанием активности модулирующей системы мозга за счет преобладания подсистемы непродуктивной активации, связанной с оборонительным поведением и стрессом.

Выделены два типа вегетативного реагирования на когнитивную нагрузку. Это реагирование по симпатическому и парасимпатическому типам. При работе с комфортной скоростью рассматриваемые комплексы психофизиологических реакций являются преобладающими. Все остальные случаи представляют собой комбинации этих типов вегетативного реагирования. При работе с максимальной скоростью комплекс реакций по симпатическому типу явился доминирующим видом реагирования, обнару-

женным у подавляющего большинства испытуемых.

Выявлены индивидуальные различия по психофизиологической реактивности. Показано, что у подростков 15–16 лет определенному уровню активации ЦНС, формирующему ФС, соответствуют специфические устойчивые паттерны психофизиологических ответов, проявляющиеся в условиях мобилизационной готовности и напряженных когнитивных нагрузок.

Работа поддержана грантом РФФИ (проект № 20-013-00134).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Антропова М.В.* Методические рекомендации по физиолого-гигиеническому изучению учебной нагрузки учащихся. М.: АПН СССР, 1984. 67 с.
- Араkelов Г.Г.* Стресс и его механизмы. Вестн. Моск. Университета. Серия 14: Психология. 1995. 4: 45–54.
- Баевский Р.М., Иванов Г.Г., Гаврилушкин А.П., Довгалецкий П.Я., Кукушкин Ю.А., Миронова Т.Ф., Прилуцкий Д.А., Семенов А.В., Федоров В.Ф., Флейшман А.Н., Медведев М.М., Чирейкин Л.В.* Анализ variability сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем. Вестник аритмологии. 2002. 24: 65–86.
- Боднар Э.Л., Заракровский Г.М., Чайнова Л.Д.* Мотивация как фактор формирования функционального состояния напряженности оператора. Физиология человека. 1999. 25 (3): 71–78.
- Вейн А.М., Соловьева А.Д.* Краткий анатомо-физиологический очерк. Вегетативные расстройства. Клиника, диагностика, лечение. Под ред. В.Л. Голубева. М.: ООО “Медицинское информационное агентство”. 2010. С. 15–47.
- Горев А.С., Мачинская Р.И., Фарбер Д.А.* Влияние произвольной релаксации на функциональное состояние мозга и эффективность когнитивной деятельности у мальчиков на разных этапах подросткового периода развития. Новые исследования. 2018. 2(55): 5–20.
- Данилова Н.Н.* Психофизиология. М.: Аспект Пресс, 2012. 368 с.
- Илюхина В.А.* Сверхмедленные информационно-управляющие системы в интеграции процессов жизнедеятельности головного мозга и организма. Физиология человека. 2013. 39 (3): 114–124.
- Крайг Г.* Психология развития. СПб.: Питер, 2007. 992 с.

- Криволапчук И.А., Чернова М.Б.* Функциональное состояние детей старшего дошкольного возраста и первоклассников при выполнении информационной нагрузки различной степени напряженности. *Экология человека*. 2020. 3: 31–40.
- Лафренье П.* Эмоциональное развитие детей и подростков. СПб.: Прайм – ЕВРОЗНАК, 2004. 256 с.
- Мачинская Р.И.* Управляющие системы мозга. Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова. 2015. 65. № 1: 33–60.
- Развитие мозга и формирование познавательной деятельности ребенка. Под ред. Д.А. Фарбер, М.М. Безруких. М.: Изд-во Московского психолого-социального института, 2009. 432 с.
- Ремимидт Х.* Подростковый и юношеский возраст: Проблемы становления личности. М.: Мир, 1994. 320 с.
- Симонов П.В.* Мотивированный мозг. М.: Наука, 1987. 238 с.
- Собчик Л.Н.* Метод цветочных выборов – модификация цветового теста Люшера. СПб.: Речь, 2012. 128 с.
- Физиология подростка. Под ред. Д.А. Фарбер. М.: Педагогика, 1988. 208 с.
- Франкенхойзер М.* Некоторые аспекты исследований в физиологической психологии. Эмоциональный стресс. Под ред. Л. Леви: Пер. с англ. Л., 1970: 24–35.
- Хомская Е.Д.* Нейропсихология. СПб.: Питер, 2005. 496 с.
- AbuAlRub R.F.* Job stress, job performance, and social support among hospital nurses. *J Nurs Scholarsh*. 2004. 36 (1): 73–78.
- Andrewes D.G., Jenkins L.M.* The Role of the Amygdala and the Ventromedial Prefrontal Cortex in Emotional Regulation: Implications for Post-traumatic Stress Disorder. *Neuropsychol Rev*. 2019. 29 (2): 220–243.
- Andrews J., Ali N., Pruessner J.C.* Reflections on the interaction of psychogenic stress systems in humans: the stress coherence/compensation model. *Psychoneuroendocrinology*. 2013. 38: 947–961.
- Bao A.M., Swaab D.F.* The human hypothalamus in mood disorders: The HPA axis in the center. *IBRO Rep*. 2018. 6: 45–53.
- Boyce W.T.* Differential Susceptibility of the Developing Brain to Contextual Adversity and Stress. *Neuropsychopharmacology*. 2016. 41 (1): 142–162.
- Bremner J.D., Campanella C., Khan Z., Fani N., Kashner N., Evans S., Reiff C., Mishra S., Ladd S., Nye J.A., Raggi P., Vaccarino V.* Brain mechanisms of stress and depression in coronary artery disease. *J Psychiatr Res*. 2019. 109: 76–88.
- Chin M.S., Kales S.N.* Is There an Optimal Autonomic State for Enhanced Flow and Executive Task Performance? *Front Psychol*. 2019. 10: 1716.
- Compagnone P.D., Strayer F.F.* Modes of cardiovascular regulation during middle childhood. *J Dev Behav Pediatr*. 1999. 20 (3): 137–144.
- Coulombe B.R., Rudd K.L., Yates T.M.* Children's physiological reactivity in emotion contexts and prosocial behavior. *Brain Behav*. 2019. 9 (10): e01380.
- Del Giudice M., Ellis B.J., Shirtcliff E.A.* The Adaptive Calibration Model of stress responsivity. *Neurosci Biobehav Rev*. 2011. 35 (7): 1562–1592.
- Del Giudice M., Hinnant J.B., Ellis B.J., El-Sheikh M.* Adaptive patterns of stress responsivity: A preliminary investigation. *Developmental Psychology*. 2012. 48: 775–790.
- Ellis B.J., Oldehinkel A.J., Nederhof E.* The adaptive calibration model of stress responsivity: An empirical test in the Tracking Adolescents' Individual Lives Survey study. *Dev Psychopathol*. 2017. 29 (3): 1001–1021.
- El-Sheikh M., Kouros C.D., Erath S., Cummings E.M., Keller P., Staton L.* Marital conflict and children's externalizing behavior: interactions between parasympathetic and sympathetic nervous system activity. *Monogr Soc Res Child Dev*. 2009. 74 (1): 1–79.
- Espin L., García I., Del Pino Sánchez M., Román F., Salvador A.* Effects of psychosocial stress on the hormonal and affective response in children with dyslexia. *Trends Neurosci Educ*. 2019. 15: 1–9.
- Everly G., Latin J.A.* Clinical Guide to the Treatment of the Human Stress Response. Springer, 2013. 486 p.
- John-Henderson N.A., Counts C.J., Sanders C.S., Ginty A.T.* Diminished cardiovascular stress reactivity is associated with lower levels of social participation. *J Psychosom Res*. 2019. 118: 12–16.
- Johnson A.E., Perry N.B., Hostinar C.E.* Cognitive-affective strategies and cortisol stress reactivity in children and adolescents: Normative development and effects of early life stress. *Developmental Psychobiology*. 2019. 61 (7): 999–1013.
- Kogan A., Oveis C., Carr E.W., Gruber J., Mauss I.B., Shallcross A., Impett E.A., van der Lowe I., Hui B., Cheng C., Keltner D.* Vagal activity is quadratically related to prosocial traits, prosocial emotions, and observer perceptions of prosociality. *Journal of Personality and Social Psychology*. 2014. 107 (6): 1051–1063.
- Lin B., Kidwell M.C., Kerig P.K., Crowell S.E., Fortuna A.J.* Profiles of autonomic stress responsivity in a sample of justice-involved youth: Associations with childhood trauma exposure and emotional and behavioral functioning. *Dev Psychobiol*. 2021. 63 (2): 206–225.

- Luksys G., Sandi C.* Neural mechanisms and computations underlying stress effects on learning and memory. *Curr Opin Neurobiol.* 2011. 21 (3): 502–528.
<https://doi.org/10.1016/j.conb.2011.03.003>
- McEwen B.S.* Neurobiological and Systemic Effects of Chronic Stress. *Chronic Stress* (Thousand Oaks). 2017 Jan-Dec;1:2470547017692328.
<https://doi.org/10.1177/2470547017692328>
- McEwen B.S., Bowles N.P., Gray J.D., Hill M.N., Hunter R.G., Karatsoreos I.N., Nasca C.* Mechanisms of stress in the brain. *Nat Neurosci.* 2015. 18 (10): 1353–1363.
- Miller J.G., Kahle S., Hastings P.D.* Moderate baseline vagal tone predicts greater prosociality in children. *Developmental Psychology.* 2017. 53 (2): 274–289.
- Pascoe M.C., Hetrick S.E., Parker A.G.* The impact of stress on students in secondary school and higher education. *International Journal of Adolescence and Youth.* 2020. 25: 104–112.
- Petersen S.E., Posner M.I.* The attention system of the human brain: 20 years after. *Annu Rev Neurosci.* 2012. 35: 73–89.
- Poppelaars E.S., Klackl J., Pletzer B., Wilhelm F.H., Jonas E.* Social-evaluative threat: Stress response stages and influences of biological sex and neuroticism. *Psychoneuroendocrinology.* 2019. 109:104378.
- Porges S.W.* The polyvagal perspective. *Biological Psychology.* 2007. 74 (2): 116–143.
- Quas J.A., Yim I.S., Oberlander T.F., Nordstokke D., Essex M.J., Armstrong J.M., Bush N., Obradović J., Boyce W.T.* The symphonic structure of childhood stress reactivity: patterns of sympathetic, parasympathetic, and adrenocortical responses to psychological challenge. *Dev Psychopathol.* 2014. 26 (4): 963–982.
- Roos L.E., Beauchamp K.G., Giuliano R., Zalewski M., Kim H.K., Fisher P.A.* Children’s biological reactivity to acute stress predicts concurrent cognitive performance. *Stress.* 2018. 21 (4): 347–354.
- Salomon K., Matthews K.A., Allen M.T.* Patterns of sympathetic and parasympathetic reactivity in a sample of children and adolescents. *Psychophysiology.* 2000. 37 (6): 842–849.
- Shapiro D., Jamner L.D., Lane J.D., Light K.C., Myrtek M., Sawada Y., Steptoe A.* Blood pressure publication guidelines. *Society for Psychophysical Research Psychophysiology.* 1996. 33 (1): 1–12.
- Shimazu A., Schaufeli W.B., Kubota K., Watanabe K., Kawakami N.* Is too much work engagement detrimental? Linear or curvilinear effects on mental health and job performance. *PLoS One.* 2018. 13 (12): e0208684.
- Siess J., Blechert J., Schmitz J.* Psychophysiological arousal and biased perception of bodily anxiety symptoms in socially anxious children and adolescents: a systematic review. *Eur Child Adolesc Psychiatry.* 2014. 23 (3): 127–142.
- Starcke K., Brand M.* Effects of stress on decisions under uncertainty: A meta-analysis. *Psychol Bull.* 2016. 142 (9): 909–933.
- van Oort J., Tendolkar I., Hermans E.J., Mulders P.C., Beckmann C.F., Schene A.H., Fernández G., van Eijndhoven P.F.* How the brain connects in response to acute stress: A review at the human brain systems level. *Neurosci Biobehav Rev.* 2017. 83: 281–297.

PHYSIOLOGICAL INDEXES OF FUNCTIONAL CAPACITIES IN ADOLESCENTS AGED 15–16 YEARS DURING COGNITIVE ACTIVITY OF VARIOUS LOADS

I. A. Krivolapchuk^{a,#}, M. B. Chernova^a, and V. V. Myshyakov^b

^a*Institute of Developmental Physiology, Russian Academy of Education, Moscow, Russia*

^b*Yanka Kupala State University of Grodno, Grodno, Belarus*

[#]*e-mail: i.krivolapchuk@mail.ru*

The goal of the study was to identify the typological and individual physiological features of functional capacities (FC) in boys aged 15–16 years during cognitive activity of various intensity.

Methods. The study included healthy male adolescents aged 15–16 years ($n = 146$). FC assessment was conducted in 4 experimental conditions: “calm wakefulness”, “mobilization readiness”, “exercise at a convenient rate”, “exercise at the maximum rate”. The following parameters were evaluated: ω -potential, cardiac rhythm, blood pressure. The performance of activities, levels of anxiety and motivation were also evaluated.

Results. The study showed that in mobilization readiness, as well as during cognitive exercise at a convenient or at the maximum rate, most of adolescents aged 15–16 years demonstrated an increase in the overall level of CNS activation, an increase in the regulatory system activities and a shift of the autonomous balance towards the predominance of the sympathetic nervous system, an

increase in central effects on cardiac rhythm, stimulation of systemic hemodynamics, and an increase in the level of situational anxiety.

Given the peculiarities of FC changes in the experimental situations studied, two types of autonomous responses to cognitive exercise were identified: sympathetic and parasympathetic reactions. During work at a convenient rate, the first and second types of autonomous reactions were observed in 54% and 19% cases, respectively. The rest of the cases were combinations of these two types of autonomous reactions. At the maximum rate, the sympathetic responses were the predominant type of reactions (85% of subjects).

Conclusions. There was significant interindividual variability of the degree of changes in parameters characterizing different functional systems. The study showed that adolescents aged 15–16 years had specific steady patterns of psychophysiological responses corresponding to a certain level of CNS activation and, therefore, FC in mobilization readiness and during intense cognitive exercise.

Keywords: cognitive exercise, convenient and maximum rate of activities, functional capacities, types of autonomous reactions, psychophysiological response patterns