

**Российская академия образования
Институт возрастной физиологии**



НОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

№ 4(45) 2015

Выходит с 2001 г.

Периодичность издания - 4 номера в год
Свидетельство о регистрации ПИ № 77-13217 от 29 июля 2002 г.

Главный редактор

Безруких Марьяна Михайловна

Заместитель главного редактора

Сонькин Валентин Дмитриевич

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Догадкина С.Б., к.б.н.

(ответственный секретарь)

Криволапчук И.А., д.б.н.

Адамовская О.Н., к.б.н.

Курганский А.В., к.б.н.

Мачинская Р.И., д.б.н.

Параничева Т.М., к.б.н.

Сельверова Н.Б., д.м.н.

Филиппова Т.А., к.б.н.

Шумейко Н.С., к.б.н.

Безобразова В.Н., к.б.н.

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Безруких М.М., д.б.н., акад. РАО

Фарбер Д.А., д.б.н., акад. РАО

Сонькин В.Д., д.б.н., проф.

Тамбовцева Р.В., д.б.н., проф.

Криволапчук И.А., д.б.н.

Рыбаков В.П., д.м.н.

Макеева А.Г., к.пед.н.

Полянская Н.В., к.м.н.

Рублева Л.В., к.б.н.

Соколов Е.В., к.б.н.

СОСТАВИТЕЛЬ

Догадкина С.Б.

В статьях журнала представлена новая информация, отражающая результаты исследований в области возрастной физиологии, морфологии, биохимии, психофизиологии, антропологии, физического воспитания и культуры здоровья. В журнале публикуются работы, выполненные на животных, и результаты исследования детей.

Для специалистов в области возрастной морфологии, физиологии, психофизиологии, физического воспитания, школьной гигиены и педагогики.

Журнал включен в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертации на соискание ученой степени доктора и кандидата наук (редакция март 2010, декабрь 2015 года)

ВНИМАНИЕ!!!

Журнал распространяется:

- через каталог «Роспечать» (подписной индекс 48656)
- путем прямой редакционной подписки

Почтовый адрес редакции: 119121 Москва, ул. Погодинская, д. 8, корп. 2, тел./факс (499) 245-04-33; тел. (495) 708-36-83; E-Mail: almanac@mail.ru

Альманах «Новые исследования» - М.: Институт возрастной физиологии, 2015, № 4(45). - 128 с.

СОДЕРЖАНИЕ

ВОЗРАСТНАЯ ФИЗИОЛОГИЯ

| | |
|--|-----|
| ОСОБЕННОСТИ МОЗГОВОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОЛЬНОГО ВНИМАНИЯ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЦЕЛОСТНОГО ОПОЗНАНИЯ У ПОДРОСТКОВ 12-13 ЛЕТ Фарбер Д.А., Петренко Н.Е. | 4 |
| СООТНОШЕНИЕ МИКРОСТРУКТУРНЫХ КОМПОНЕНТОВ В РАЗНЫХ ОБЛАСТЯХ КОРЫ БОЛЬШОГО МОЗГА У ДЕТЕЙ И ПОДРОСТКОВ Цехмистренко Т.А., Васильева В.А., Шумейко Н.С. | 18 |
| ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ ДЕТЕЙ 12-13 ЛЕТ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ КОГНИТИВНЫХ ЗАДАНИЙ Криволапчук И.А., Чернова М.Б., Савушкина Е.В. | 24 |
| ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕАЛИЗАЦИИ КОГНИТИВНОЙ НАГРУЗКИ ШКОЛЬНИКАМИ 12-13 ЛЕТ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УРОВНЯ ДВИГАТЕЛЬНОЙ ПОДГОТОВЛЕННОСТИ Криволапчук И.А., Чернова М.Б., Савушкина Е.В., Баранцев С.А., Полянская Н.В. | 33 |
| ВОЗРАСТНЫЕ И ПОЛОВЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПСИХИЧЕСКОГО ЗДОРОВЬЯ ДЕТЕЙ 12-13 ЛЕТ Параничева Т.М., Тюрина Е.В., Макарова Л.В., Лукьянец Г. Н., Лезжова Г.Н., Орлов К.В. | 40 |
| СЛОЖНОСТЬ ОБРАБОТКИ ОБРАЗОВ В УСЛОВИЯХ ЗРИТЕЛЬНОГО ПОИСКА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЭЛЕМЕНТОВ, СОСТАВЛЯЮЩИХ ЦЕЛОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ Хрянин А.В., Безруких М.М. | 58 |
| КОМПЛЕКСНОЕ ИЗУЧЕНИЕ АВТОНОМНОЙ НЕРВНОЙ РЕГУЛЯЦИИ, ЦЕНТРАЛЬНОГО И ПЕРИФЕРИЧЕСКОГО ОТДЕЛОВ КРОВООБРАЩЕНИЯ И СТЕРОИДОГЕНЕЗА (ПО ДАННЫМ ДГЭА) В ПРОЦЕССЕ АДАПТАЦИИ К НАГРУЗКАМ У ПОДРОСТКОВ 13 ЛЕТ Шарапов А.Н., Сельверова Н.Б., Рублева Л.В., Кмить Г.В., Догадкина С.Б., Безобразова В.Н., Ермакова И.В. | 74 |
| ОСОБЕННОСТИ ГЕМОДИНАМИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ МЫШЕЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ У ДЕТЕЙ И ПОДРОСТКОВ. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ. Васильева Р.М. | 90 |
| ИЗМЕНЕНИЕ ВЕГЕТАТИВНОЙ РЕГУЛЯЦИИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА И УРОВНЯ КОРТИЗОЛА ПРИ УМСТВЕННОЙ НАГРУЗКЕ У МЛАДШИХ ПОДРОСТКОВ Ермакова И.В., Адамовская О.Н., Сельверова Н.Б. | 105 |

ФИЗИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ И БИОРИТМОЛОГИЧЕСКИЕ
ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОДРОСТКОВ 12-13 ЛЕТ,
ЗАНИМАЮЩИХСЯ СПОРТИВНЫМ ПЛАВАНИЕМ

Колесов А.Д., Орлова Н.И., Пронина Т.С., Сонькин В.Д. 118

ОСОБЕННОСТИ МОЗГОВОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОЛЬНОГО ВНИМАНИЯ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЦЕЛОСТНОГО ОПОЗНАНИЯ У ПОДРОСТКОВ 12-13 ЛЕТ

Д.А. Фарбер, Н.Е. Петренко¹
ФГБНУ «Институт возрастной физиологии
Российской академии образования», Москва

У детей 12-13 лет изучались показатели функциональной организации мозга в период подготовки к когнитивной деятельности и её выполнения. Анализ показателей формирования внутрикоркового взаимодействия в процессе преднастройки к целостному опознанию неполных изображений у детей трёх возрастных групп: 10-11, 11-12 и 12-13 лет выявил динамику мозговой организации произвольного внимания и её специфику в 12-13 лет.

Установлено, что в течение предподросткового возраста происходят неоднородные изменения степени и характера участия регуляторных систем в мозговой организации произвольного внимания. К 12-13 годам вследствие прогрессивного созревания дорзолатеральной префронтальной коры возрастает влияние системы избирательной регуляции. Возрастает дифференцированность и полусферная специализация формирующихся при произвольном внимании функциональных объединений корковых областей. На поведенческом уровне снижается импульсивность принятия решения. Положительная направленность организации произвольного внимания и его влияние на эффективность выполнения заданий нивелируется негативными изменениями активности структур мотивационной регуляторной системы. В 12-13 лет существенно снижается степень вовлечения вентролатеральной префронтальной коры в организацию произвольного внимания. Дефицитарность мотивационного компонента внимания отрицательно влияет на успешность выполнения когнитивного задания: у детей 12-13 лет, несмотря на снижение импульсивности принятия решений, число ошибочных ответов по сравнению с детьми 11-12 лет значимо не изменяется.

Ключевые слова: регуляторные системы мозга, произвольное внимание, мотивационный компонент внимания, префронтальная кора, электроэнцефалограмма, функциональная организация мозга, связанные с событием потенциалы, зрительное опознание.

Brain organization of voluntary attention in adolescences aged 12-13 affects incomplete image recognition. We studied functional brain organization during the preparation to the cognitive task and along its performance in children aged 12-13. A comparative analysis of cortico-cortical interactions during the preparation to incomplete image recognition in children aged 10-11, 11-12 and 12-13 showed the dynamics of brain organization of voluntary attention and its specificity in 12-13-year-old children.

It was found that the involvement of executive systems into the brain organization of voluntary attention is changing ambiguously along the pre-teen years. The fact that the dorsolateral prefrontal cortex (PFC) becomes more mature to the age of 12-13 leads to a greater involvement of the executive system. Functional cortico-cortical con-

Контакты:¹ Петренко Н.Е. – E-mail: develop.physiol@inbox.ru

nectivity formed during voluntary attention performance becomes more differentiated and hemispherical specialized. Behavioral data shows a decrease in impulsive decision-making. However, positive changes in the development of voluntary attention and its influence on the task performance are overshadowed by the decreased activity of the motivational modulatory system. The ventrolateral PFC becomes significantly less involved into the processes of voluntary attention to the age of 12-13. Lower level of the motivational component of attention negatively affects cognitive performance: children aged 12-13 did not show any significant differences in task performance, as compared with children aged 11-12, despite of the fact that they show a decrease in impulsive decision-making.

Key words: *brain executive systems, voluntary attention, motivational component of attention, PFC, EEG, functional brain organization, ERPs, incomplete image recognition.*

Возрастные и индивидуальные особенности произвольного внимания определяют возможности школьника в процессе преднастройки к выполнению когнитивных заданий и организации учебной деятельности. Ранее было показано, что постепенное и гетерохронное созревание регуляторных структур мозга в дошкольном и младшем школьном возрасте определяют прогрессивное развитие механизмов произвольного внимания на этом этапе развития [2; 3; 8].

Однако с наступлением пубертатного периода эта прогрессивная тенденция сменяется неоднозначными изменениями в развитии регуляторных систем разного уровня. На раннем этапе полового созревания в организме происходят изменения, связанные с активизацией нейрогормональных функций гипоталамуса [6], выделением гормонов, неоднозначно влияющих на созревание структур мозга, в том числе и высших регуляторных центров произвольного внимания и произвольной регуляции деятельности [17].

Современные методы изучения морфологической и функциональной организации мозговых процессов позволили получить новые и важные данные о структуре нейронов и их связей, обеспечивающих системную организацию когнитивной деятельности в этом возрасте. Показано, что существенные изменения происходят в префронтальной коре [9; 19-22]. Особенностью ее созревания на рассматриваемом этапе развития является разная динамика формирования нейронов и их связей в разных ее зонах [10]. Неравномерность развития связей префронтальной коры с другими структурами мозга обуславливает специфику их объединения в функциональные системы, складывающиеся в процессе когнитивной деятельности [13]. Показана также одновременность созревания префронтальной коры и глубинных структур мозга, связанная с неоднозначным влиянием половых гормонов на их развитие [17]. Под влиянием половых гормонов, выделяющихся на начальной стадии полового созревания, наиболее интенсивные изменения происходят в лимбической и вентро-стриарной системах, что приводит к существенным изменениям механизмов мотивационно-эмоциональной регуляции [21; 22].

Прогрессивное созревание корковых регуляторных структур – процесс более длительный. Согласно имеющимся данным созревание префронтальной коры и ее связей с другими структурами прослеживается в течение всего восходящего онтогенеза. При этом установлена одновременность и неоднозначность воздействия половых гормонов в особенности тестостерона на дорзолатеральные и вентролатеральные зоны префронтальной коры и их контролирующих влияний.

Учитывая данные о различной роли дорзо- и вентролатеральных зон префронтальной коры в формировании разных управляющих функций [1], есть все основания считать, что особенности их функционирования в предподростковом и подростковом возрасте могут определять специфику мозговой организации произвольного внимания и его роль в эффективности когнитивной деятельности. К настоящему времени нет четких данных о возрасте появления описанных выше морфофункциональных изменений регуляторных систем, связанных с половым созреванием. Это обусловлено как индивидуальной вариативностью его темпа, так и, прежде всего, широким возрастным диапазоном анализируемых групп (например, 11-16, 12-17, 10-15 лет), включающих согласно существующей классификации [14] предподростковый (до 13 лет) и подростковый (после 13) возраст. В связи с этим нами была начата поперечное изучение особенностей функционирования дорзо- и вентролатеральных систем префронтальной коры, их вклада в мозговую организацию произвольного внимания в период подготовки к выполнению когнитивного задания – опознанию неполных изображений разного уровня фрагментации. Результаты исследования детей 10-11 и 11-12 лет выявили определенную специфику мозговой организации произвольного внимания в каждой из групп, связанную с изменяющимся в течение предподросткового возраста вкладом разных регуляторных систем префронтальной коры в формирование межкортикальных объединений на разных этапах подготовки к выполнению когнитивного задания [5]. В настоящей статье рассматриваются данные, полученные при исследовании детей 12-13 лет, – возраста, приходящегося на II и III стадии полового созревания [6].

С целью выявления динамики механизмов произвольного внимания, связанных с изменением в функционировании префронтальных регуляторных систем в статье представлены результаты совместного анализа показателей межкортикального взаимодействия дорзолатеральной и вентролатеральной префронтальных корковых зон с другими областями коры детей трех возрастных групп: 10-11, 11-12, 12-13 лет.

ОРГАНИЗАЦИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В исследовании участвовали 25 школьников 12-13 лет (12 мальчиков и 13 девочек), средний возраст $12,3 \pm 0,14$, наряду с показателями мозговой организации внимания на разных этапах подготовки к деятельности и при ее осуществлении у детей 12-13 лет анализировались данные, полученные в тех же экспериментальных условиях при исследовании 21 школьника 11-12 лет (10 мальчиков, 11 девочек, средний возраст $11,2 \pm 0,2$) и 31 школьник 10-11 лет (16 мальчиков, 15 девочек). Все дети – учащиеся общеобразовательных школ г. Москвы, имеющие нормальное зрение и без трудностей обучения и отклонений в поведении.

Испытуемым предъявлялось 16 знакомых изображений предметов и животных из стандартного набора [18] без предварительной демонстрации полных изображений. Для каждого из 16 целевых объектов последовательно предъявлялись изображения пяти уровней фрагментации от трудно опознаваемых до полных изображений. Подробно модель и временная последовательность эксперимента изложены ранее [4]. У всех испытуемых анализировались поведенческие

показатели опознания и функциональная организация мозга в предстимульные и постстимульные периоды.

В качестве поведенческих показателей использовались успешность опознания, о которой судили по числу ошибок, и порогу опознания – уровень фрагментации, на котором правильно опознавалось изображение.

В период подготовки к решению испытываемым когнитивной задачи и в процессе ее выполнения проводилась непрерывная регистрация ЭЭГ по системе 10-20% от затылочных (O1, O2), теменных (P3, P4), передневисочных (T3, T4), задневисочных (T5, T6), центральных (C3, C4) и лобных (F3, F4, F7, F8) отведений.

В качестве меры функционального взаимодействия в период преднастройки использовалась мнимая часть комплексной функции когерентности $J(f) = \text{Im}\{C(f)\}$. Более подробно этот метод оценки межкоркового взаимодействия описан нами ранее [4].

Для каждой пары отведений вычислялась величина J_α , равная среднему значению функции $J(f)$ в диапазоне альфа-ритма (7,5-12,5 Гц). Такое вычисление проводилось индивидуально для каждого испытываемого отдельно в трех экспериментальных условиях (ЭУ1, ЭУ2, ЭУ3). ЭУ1 характеризовало неспецифическое внимание и соответствовало отрезку ЭЭГ, регистрируемому от момента фиксации взора до появления предупреждающего стимула; ЭУ2 относилось к ожиданию целевого стимула, и ему соответствовал отрезок ЭЭГ от предупреждающего стимула до появления еще не опознанного целевого фрагментарного изображения; ЭУ3 характеризовало ожидание целевого, уже опознанного, стимула, и ему соответствовал отрезок ЭЭГ от предупреждающего стимула до появления эффективно опознаваемых фрагментарных изображений.

Статистический анализ величин J_α осуществлялся с помощью дисперсионного анализа для повторных измерений (rmANOVA) для двух подмножеств пар отведений, включавших отведения от дорзолатеральных (F3, F4) и вентралатеральных (F7, F8) зон префронтальной коры с отведениями от других корковых зон.

Для исследования степени и характера участия различных областей коры в эффективном зрительном опознании в предпубертковом возрасте анализировалась амплитуда компонентов регионарных ССП. Усреднялись ССП при отсутствии опознания – испытываемый отвечал "Не знаю" и ССП, регистрируемые при правильном опознании. Усредненные по типам "опознаваемости" стимула ССП отдельных испытываемых анализировались с помощью метода главных компонент. Суммарная амплитуда ССП на временных отрезках, соответствующих выделенным главным компонентам, обрабатывалась с помощью дисперсионного анализа для повторных измерений (rmANOVA). Значимость попарных различий параметров ССП оценивалась при помощи непараметрического критерия Вилкоксона.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Поведенческие показатели опознания фрагментарных изображений. Анализ поведенческих показателей опознания фрагментарных изображений позволил выявить их изменение от 10-11 к 11-12 и 12-13 годам (рис. 1). Данные дисперсионного анализа выявили значимое влияние фактора ВОЗРАСТ как на количество ошибок ($F(2,65)=5,633$; $p=0,006$), так и на порог опознания ($F(2,65)=23,36$; $p=0,000$).

По числу ошибок опознания группа детей 12-13 лет значимо не отличалась от детей 11-12 лет ($1,9 \pm 0,33$), но по сравнению с 10-11 годами ($4,19 \pm 0,76$) обе группы совершали значимо меньше ошибок ($Z = -2,354$; $P = 0,019$ и $Z = -2,229$; $P = 0,026$ соответственно).

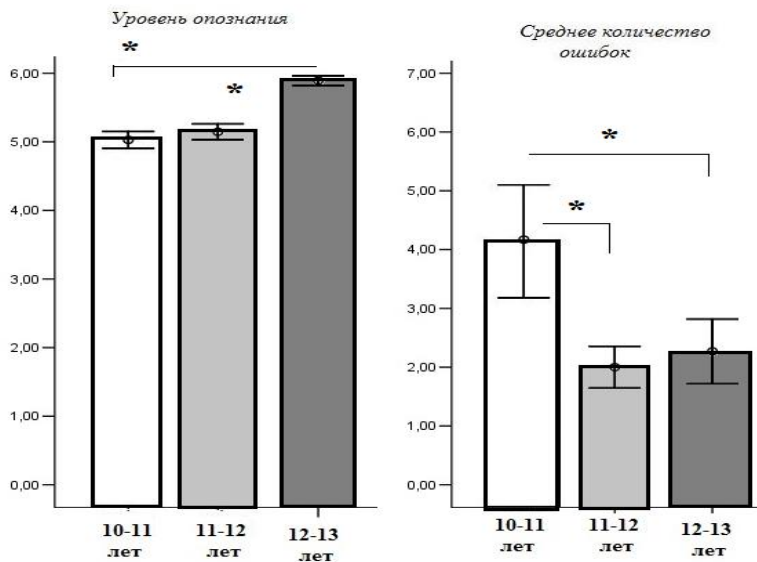


Рис. 1. Среднее значение порога опознания и количества ошибок у детей 10-11, 11-12 и 12-13 лет.

Вместе с тем в 12-13 лет значимо увеличивается среднее значение порога (уровня фрагментации) опознания и составляет $5,89 \pm 0,07$, по сравнению с группой 11-12 летних, у которых порог опознания составляет $5,177 \pm 0,11$ ($Z = -4,357$; $p = 0,001$) и с группой 10-11-летних детей – $5,10 \pm 0,12$ ($Z = -4,741$; $P = 0,0001$). Значимые половые различия как по количеству ошибок, так и по порогу опознания не выявлены.

Функциональная организация мозга на разных этапах подготовки к выполнению когнитивного задания. Для выявления специфики мозговой организации произвольного внимания при эффективном и неэффективном выполнении когнитивной задачи показатели $J\alpha$ на этапе ожидания целевого изображения в тех случаях, когда оно не опознавалось (ЭУ2) и при его правильном опознании раздельно (ЭУ3) сопоставлялись с таковыми при неспецифическом внимании (ситуации ожидания предупреждающего стимула (ЭУ1).

Анализ *gm ANOVA* по множеству пар отведений, включающих дорзолатеральную префронтальную кору (F3, F4) при сравнении ЭУ2 и ЭУ1 выявил значимость совместного влияния факторов УСЛОВИЕ и ПОЛУШАРИЕ ($F(1,24) = 5,028$, $p = 0,034$), что отражает различный характер изменения межкортикального взаимодействия в правом и левом полушарии при переходе от неспецифического внимания к произвольному направленному вниманию. Для пар отведений, в которые в качестве одного входили зоны вентролатеральной префронтальной коры

(F7, F8) значимость влияния фактора УСЛОВИЕ и его взаимодействия с другими факторами не выявлено.

Сравнение периода, предшествующего эффективному опознанию целевого стимула, с ситуацией ожидания предупреждающего стимула (ЕУ3, ЕУ1), проведенное по той же схеме для подмножества отведений, включающих дорзолатеральную префронтальную кору (F3, F4), выявило значимое влияние фактора УСЛОВИЕ. Его взаимодействие с другими факторами не выявлено.

С целью выявления возрастной динамики нейрофизиологических механизмов преднастройки к опознанию неполных предметных изображений разного уровня фрагментации у детей 10-11, 11-12 и 12-13 лет был проведен дополнительный дисперсионный анализ, использующий помимо описанных факторов, фактор ВОЗРАСТ.

Для пар отведений, в которые в качестве одного входили области F3, F4 на значимый уровень выходит взаимодействие факторов ВОЗРАСТ × УСЛОВИЕ × ПОЛУШАРИЕ ($F(4,138) = 3.095, p = 0.018$).

Для пар отведений F7, F8 значимых взаимодействий с фактором ВОЗРАСТ выявлено не было.

Выявленное дисперсионным анализом совместное влияние факторов ВОЗРАСТ × УСЛОВИЕ × ПОЛУШАРИЕ свидетельствует о наличии в подмножестве отведений, включающих дорзолатеральную префронтальную кору, существенных возрастных различий в специализации полушарий на разных этапах подготовки к деятельности у детей 10-11, 11-12 и 12-13 лет.

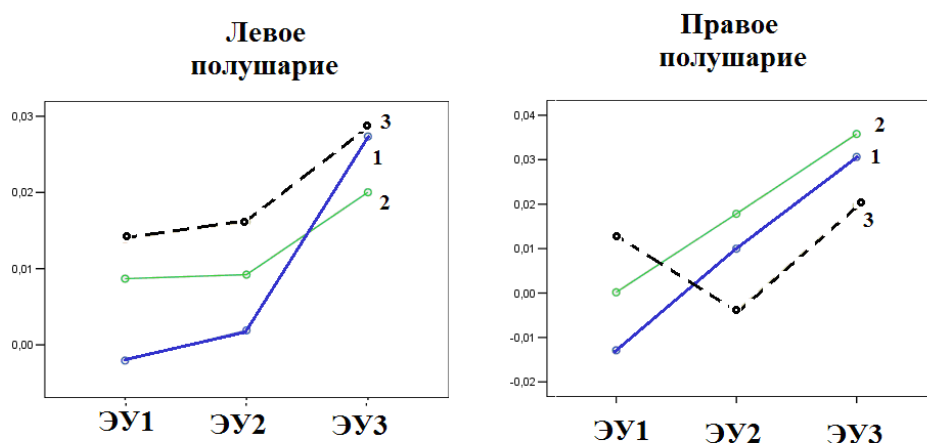


Рис. 2. Полушарные различия $J\alpha$ в подмножестве отведений, включающих дорзолатеральную префронтальную кору, в разных экспериментальных условиях у детей 3 возрастных групп.

Обозначения: По вертикали - усредненные значения $J\alpha$ в подмножестве отведений дорзолатеральной префронтальной коры. По горизонтали - экспериментальные условия ЭУ: неспецифическое внимание (ЭУ1); ожидание целевого не опознаваемого стимула (ЭУ2); ожидание эффективно опознаваемого стимула (ЭУ3). Сплошная линия — дети 10-11 лет (1); тонкая линия – дети 11-12 лет (2); пунктир – дети 12-13 (3).

Как видно на рисунке 2, в подмножестве пар отведений, включающем F3 и F4 (дорзолатеральная префронтальная кора), в левом полушарии величина $J\alpha$ у всех трех групп детей имеет минимальное значение в ЭУ1, а максимальное значение в ЭУ3. В правом полушарии также максимальное значение величины $J\alpha$ отмечено в ЭУ3, однако динамика от ЭУ1 к ЭУ3 у разных возрастных групп носит разный характер. Если у детей 10-11 и 11-12 лет происходит почти линейное возрастание $J\alpha$ от ЭУ1 до ЭУ3, то у детей 12-13 лет отмечается снижение значений $J\alpha$ в ситуации ожидания целевого не опознаваемого стимула (ЭУ2).

Анализ степени и характера вовлечения различных зон коры в процесс опознания фрагментарных изображений. С помощью метода главных компонентов были выделены временные интервалы, включающие статистически значимые амплитудные показатели ССП, регистрируемые в разных корковых зонах.

Амплитуда ССП в выделенных временных интервалах анализировалась с использованием g ANOVA. Оценивалось влияние следующих факторов: ОПОЗНАНИЕ (опознанные, неопознанные); ПОЛУШАРИЕ (левое, правое); ЛОКАЛИЗАЦИЯ (9 пар отведений).

Таблица 1

Регионарные различия ССП, связанные с опознанием у детей 12-13 лет

| Временные интервалы, мс | 20-80 8 | 80-160 9 | 161-220 7 | 220-304 6 | 305-390 4 | 390-470 5 | 470-570 2 | 570-660 1 | 660-750 3 |
|-------------------------|------------|-------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|--------------|------------------------------------|
| F3-F4 | | | | | | F(1,23) = 7.40; P=0.012 | | | |
| F7-F8 | | | F(1,23) = 6.78; P=0.016 | | F(1,23) = 6.84; P=0.015 | F(1,23) = 7.75; P=0.011 | F(1,23) = 4.87; P=0.037 | | |
| P3-P4 | | | | | | F(1,23) = 8.19; P=0.009 | | | F(1,23) = 6.46; P=0.018 |
| T5-T6 | | | | | | | | | |
| O1-O2 | | | | F(1,23) = 4.17; P=0.055 | | | | | |

Анализ, проведенный отдельно для ССП, регистрируемых в разных корковых зонах выявил (табл. 1) значимое влияние фактора ОПОЗНАНИЕ для дорзолатеральной префронтальной коры во временном интервале 390-470 мс, для вентролатеральной префронтальной коры взаимодействие факторов ОПОЗНАНИЕ и ПОЛУШАРИЕ значимо для компонента N200 (160-220 мс), а изолированное влияние фактора ОПОЗНАНИЕ значимо во временном интервале от 305 до 570 мс. Для каудальных зон влияние фактора ОПОЗНАНИЕ выражено меньше и обнаружено в теменных областях в интервалах 390-470 и 660-750 мс. В затылочных корковых зонах влияние фактора ОПОЗНАНИЕ выявлено только как тенденция и

наблюдается во временном интервале 220-304 мс, соответствующем компоненту N250, наиболее тесно связанному с процессом опознания.

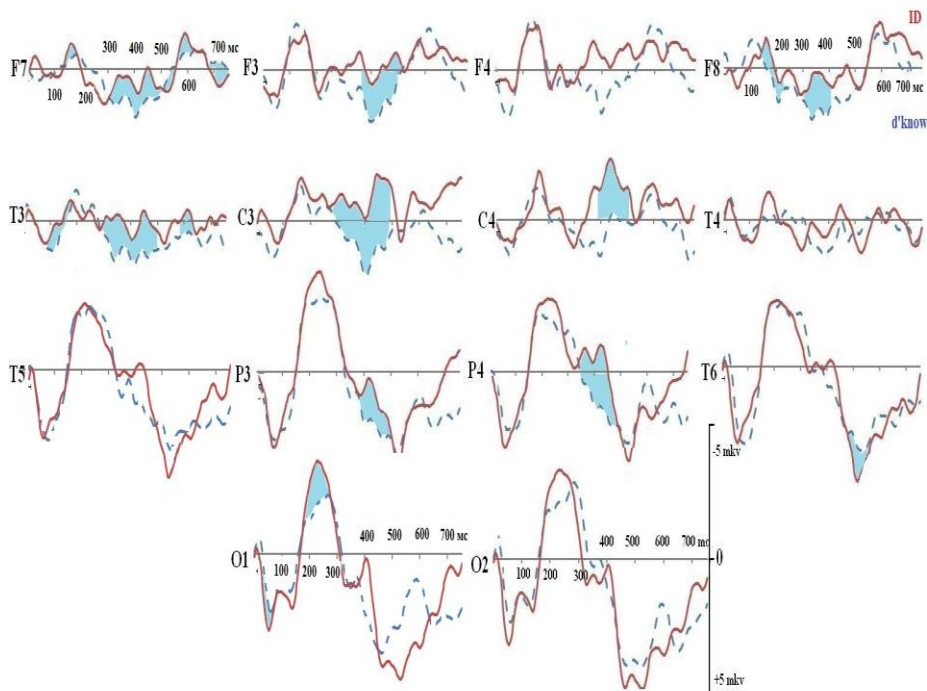


Рис. 3. ССП различных областей коры на опознанные и неопознанные фрагментарные изображения у детей 12-13 лет. Значимые различия компонентов ССП заштрихованы.

Для уточнения характера изменений ССП, связанных с опознанием методом парного сравнения, сопоставлялись амплитудные значения компонентов ССП на опознанные и неопознанные стимулы.

Как видно, на рис. 3 в венролатеральной префронтальной коре на опознанные изображения отмечается увеличение негативности с пиковой латентностью соответствующего компонента N150 мс (160-220мс: F7 – Z=-1,98; P=0,047; F8 – Z=-2,28; P=0,022). Компоненты N350 и N450 как в дорзо-, так и венролатеральных областях префронтальной коры увеличиваются при опознании. В ССП на неопознанные фрагментарные изображения в это время развивается высокоамплитудный позитивный компонент с пиковой латентностью 400 мс (305-390мс: F7 – Z=-2,114; P=0,034; F8 – Z=-1,94; P=0,052; 390-470мс: F3 – Z=-2,457; P=0,014; F7 – Z=-2,371; P=0,017). Эти же различия отмечаются и в центральной и передне-височных зонах коры (305-390мс: C3 – Z=-1,977; P=0,048; T3 – Z=-2,74; P=0,006; 390-470мс: C3 – Z=-3,257; P=0,001; C4 – Z=-3,00; P=0,003; T3 – Z=-2,67; P=0,007). На поздних стадиях опознания в передних областях коры значимые различия между опознанными и неопознанными фрагментарными изображениями отмече-

ны в интервале 470-570мс ($F_7 - Z=-3,14$; $P=0,001$; $T_3 - Z=-2,17$; $P=0,03$) и 670-750мс ($F_7 - Z=-2,06$; $P=0,039$; $C_3 - Z=-2,37$; $P=0,017$) и связаны с увеличением негативности при опознании. Наиболее ранние статистически значимые различия на опознанные и неопознанные фрагментарные изображения отмечены в интервале 80-160 мс в передневисочной области левого полушария и связаны с увеличением ранней негативности N150 мс в ответ на опознанные изображения ($T_3 - Z=-1,93$; $P=0,053$).

В каудальных областях, где значимое влияние фактора опознание было выявлено только для теменной коры, метод парного сравнения амплитудных значений ССП выявил наличие значимых различий амплитуды компонентов ССП и в задневисочной и в затылочной областях. Различия выражены для компонентов основного комплекса P100 (20-80 мс: $O_1 - Z=-1,877$; $P=0,057$) и N 250 (160-220 мс: $O_1 - Z=-1,88$; $P=0,052$), для компонента N 400 (390-450 мс: $P_3 - Z=-2,08$; $P=0,037$; $P_4 - Z=-2,74$; $P=0,006$) и следующей за ним поздней позитивности (470-570мс: $T_6 - Z=-1,88$; $P=0,052$), имеющих большую амплитуды в ответ на опознанные фрагментарные изображения.

С целью выявления специфики мозговой организации опознания в 12-13 лет был проведен совместный анализ амплитудных значений регионарные ССП у детей 11-12 и 12-13 лет и включением в дисперсионный анализ наряду с факторами ОПОЗНАНИЕ и ЛОКАЛИЗАЦИЯ фактора ВОЗРАСТ. Выявлено изолированное влияние фактора ВОЗРАСТ как для ранних и среднелатентных компонентов (20-80 мс $F(1,43) = 5.36$; $P=0.025$; 160-220 мс $F(1,43) = 6.46$; $P=0.015$), так и для поздних колебаний ССП (470-570 мс: $F(1,43) = 4.95$; $P=0.031$; 570-660 мс: $F(1,43) = 6.54$; $P=0.014$ и 660-750мс: $F(1,42) = 5.62$; $P=0.022$) периодов обработки информации. Совместное влияние факторов ВОЗРАСТ и ОПОЗНАНИЕ значимо в интервале 570-660мс ($F(1,43) = 4.54$; $P=0.039$). Влияние фактора ВОЗРАСТ и его взаимодействие с факторами ОПОЗНАНИЕ и ЛОКАЛИЗАЦИЯ значимо в широком временном окне (20-80мс $F(6,258) = 2.32$; $P=0.033$; 80-160мс: $F(2,101) = 4.44$; $P=0.01$; 160-220мс: $F(2,107) = 2.88$; $P=0.049$; 220-305мс: $F(6,38) = 3.95$; $P=0.004$; 305-390мс: $F(6,38) = 2.93$; $P=0.019$; 390-470мс: $F(6,38) = 2.93$; $P=0.019$; 470-570мс: $F(3,136) = 6.03$; $P=0.001$).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Анализ поведенческих показателей опознания фрагментарных изображений у детей 12-13 лет выявил значимое возрастание порога опознания в сравнении с 11-12 годами. Увеличение порога опознания свидетельствует о снижении к 12-13 годам импульсивности детей, которые начинают принимать решения более обдуманно, не торопясь, основываясь на большем количестве информации об объекте. При этом значимые изменения числа ошибок не обнаруживаются. Возможно, это объясняется индивидуальными различиями, выраженными в 12-13 лет. Среди обследованных детей 5 из 25 допускали значительное число ошибок.

Нейрофизиологические исследования позволяют считать, что столь выраженная индивидуальная вариативность точности опознания связана с изменением функциональной активности регуляторных систем в начале полового созревания и индивидуальным темпом его развития. Результаты настоящей работы свидетельствуют о существенно различных изменениях в системах дорзолатеральной и вентролатеральной префронтальной коры. Прогрессивные изменения дорзолате-

ральной префронтальной коры и ее связей с другими областями коры к 12-13 годам проявляются в увеличении степени ее участия в анализе и обработке сенсорной информации. Сопоставление связанных с событием потенциалов (ССП) на опознанные и неопознанные стимулы выявило активацию при опознании этой области коры как на начальных этапах обработки информации, так и при осуществлении более поздних когнитивных операций. Проявлением прогрессивного развития дорзолатеральной префронтальной коры является и значительное снижение к 12-13 годам в сравнении с 10-11 годами импульсивности принятия решения вследствие формирования механизмов тормозного контроля.

Положительные изменения дорзолатеральной префронтальной коры проявляются при анализе ее участия в межкортикальном взаимодействии в процессе преднастройки к деятельности. В системе связей дорзолатеральной префронтальной коры с другими структурами мозга в 12-13 лет наблюдаются дифференцированные изменения показателя межкортикального взаимодействия в левом и правом полушариях в разных ситуациях внимания.

Полушарная специализация формирующихся при произвольном внимании межкортикальных объединений в системе дорзолатеральной префронтальной коры была выявлена нами у взрослых [4] и отсутствовала в 10-11 и 11-12 лет [5]. В 12-13 лет отмечены существенные отличия организации произвольного внимания, предшествующего эффективному и неэффективному опознанию целевого стимула. В левом полушарии в системе связей дорзолатеральной префронтальной коры значения показателя межцентрального взаимодействия постепенно повышаясь от ситуации неспецифического внимания к произвольному неэффективному, достигали максимальной величины при произвольном внимании, предшествующем эффективному опознанию. Иная картина наблюдалась в правом полушарии. При переходе от неспецифического внимания к ожиданию целевого, но еще трудно опознаваемого стимула, в 12-13 лет значение показателей межкортикального взаимодействия ($J\alpha$) снижается, увеличиваясь в период, предшествующий эффективному опознанию. Этот факт коррелирует с наблюдаемым нами в этом возрасте увеличением порога опознания фрагментарных изображений и свидетельствует о совершенствовании механизмов принятия решения за счет тормозного контроля. Очевидно, что когда уровень фрагментации изображения недостаточен для правильного его опознания, неадекватным является активизация системы зрительного опознания, что и отражается в снижении межкортикального взаимодействия в подмножестве отведений, включающих дорзолатеральную кору.

Несмотря на эти прогрессивные изменения, которые должны были бы привести к возрастающей точности опознания, число ошибочных ответов к 12-13 годам не только не уменьшается, но даже незначительно возрастает. Причиной этого являются изменения, происходящие с началом полового созревания в системе вендролатеральной префронтальной коры. Несмотря на то, что вендролатеральная префронтальная кора, как показал анализ ССП, активизируется в процессе опознания зрительных стимулов, ее вклад в организацию функциональных межкортикальных взаимодействий в процессе преднастройки снижается, тенденция к этому снижению наблюдалась нами уже у детей 11-12 лет, а в 12-13 лет, как показали результаты данной работы, значимые изменения межкортикального взаимодействия в системе вендролатеральной префронтальной коры при внимании, направленном на опознание неполных изображений, не выявляются.

Неоднозначность морфофункциональных изменений мозговых структур на начальном этапе полового созревания отмечены всеми исследователями этого периода индивидуального развития. Особенно много внимания уделено различиям функционирования дорзолатеральных и вентролатеральных зон префронтальной коры и их связи с другими корковыми областями [8, 10, 20]. Эти различия рассматриваются как важнейший фактор наблюдаемой в подростковом возрасте разнонаправленной динамики когнитивных процессов [11, 12] и их соотношение с эмоционально-мотивационными процессами [8, 20]. При изучении поведенческих показателей выполнения когнитивных заданий и использовании нейровизуализационных методов исследования мозга установлена зависимость эффективности выполнения задания от его эмоциональной привлекательности или последующего вознаграждения [8, 19, 20]. ФМРТ исследования показали, что преимущество в выполнении эмоционально привлекательного задания связано с повышенной активностью глубоких вентро-стриарных и лимбических структур. При этом активность вентролатеральной коры выражена значительно меньше, ее повышение наблюдается только при эмоциональной привлекательности и положительном подкреплении деятельности. Полученные в данной работе результаты свидетельствуют о том, что изменения в мотивационной регуляторной системе проявляются уже в предподростковом возрасте. Отсутствие эмоциональной привлекательности и положительного подкрепления при опознании изображения привело к снижению мотивационного компонента внимания, что проявилось в 12-13 лет в снижении вклада вентролатеральной префронтальной коры в мозговую организацию произвольного внимания. Дефицитарность мотивационного компонента внимания, связанная с изменениями эмоционально-мотивационной сферы на начальном этапе полового созревания нивелирует прогрессивные изменения когнитивных процессов к 12-13 годам. Следствием этого является отсутствие положительного влияния совершенствующихся к этому возрасту дорзолатеральных механизмов произвольного внимания, на эффективность деятельности – точность опознания не только не улучшается, но даже несколько ухудшается. Очевидно, что отсутствие мотивационного компонента внимания к выполнению нейтрального, не представляющего сиюминутного интереса задания у школьников 12-13 лет может отрицательно сказываться на успешности их учебной деятельности и являться важным фактором дезадаптации к школе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ поведенческих показателей опознания у детей 12-13 лет показал, что в этом возрасте значимо увеличивается уровень опознаваемости неполного фрагментированного изображения и в сравнении с 11-12 годами наблюдается тенденция к увеличению числа ошибок опознания. Сравнительный анализ (rmAnova) показателей функционального взаимодействия различных областей коры в процессе подготовки к опознанию изображений разного уровня фрагментации, проведенный у детей трех возрастных групп: 10-11, 11-12, 12-13 лет выявил динамику мозговой организации произвольного внимания в предподростковом возрасте и механизмы, определяющие его специфику в 12-13 лет. Установлено, что гетерохронные, неоднозначные морфофункциональные преобразования различных зон префронтальной коры, связанные с началом полового созревания приводят к су-

ществленным изменениям их вклада в мозговую организацию произвольного внимания и обеспечения эффективной деятельности.

Прогрессивное созревание дорзолатеральной префронтальной коры к 12-13 годам определяет возрастающую дифференцированность формирующихся в левом и правом полушарии функциональных объединений корковых зон, адекватных процессам, осуществляемым на разных этапах подготовки к деятельности. Прогрессивные изменения в дорзолатеральной системе, связанные с формированием механизмов избирательной активации и тормозного контроля на поведенческом уровне, проявляются в снижении импульсивности принятия решения, что должно способствовать возрастающей точности опознания в 12-13 лет. Проведенные исследования не выявили уменьшение числа ошибок с возрастом. Причиной являются изменения, происходящие в вентролатеральной префронтальной коре. Вследствие значительного повышения активности глубоких эмоциогенных структур снижается ее активность и соответственно вклад мотивационной регуляторной системы в организацию произвольного внимания. Установленное у 12-13-летних детей отсутствие мотивационного компонента внимания к положительно немотивируемой деятельности является существенным препятствием для эффективного выполнения задания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мачинская Р.И. Управляющие функции // Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова. – 2015. – Т. 65, № 1. – С. 33-60.
2. Мозговые механизмы формирования познавательной деятельности в дошкольном и младшем школьном возрасте / под ред. Р.И. Мачинской, Д.А. Фарбер. – М.: НОУ ВПО «МПСУ»; Воронеж: МОДЭК, 2014.
3. Развитие мозга и формирование познавательной деятельности ребенка / под ред. Д.А. Фарбер, М.М. Безруких. – М.: МПСИ; Воронеж: МОДЭК, 2009.
4. Фарбер Д.А., Мачинская Р.И., Курганский А.В., Петренко Н.Е. Функциональная организация мозга в период подготовки к опознанию фрагментарных изображений. // Журнал высшей нервной деятельности им И.П. Павлова. – 2014. – Т. 64, № 2. – С. 190-200.
5. Фарбер Д.А., Курганский А.В., Петренко Н.Е. Мозговая организация преднастройки к зрительному опознанию у детей предподросткового возраста // Физиология человека. – 2015. – Т. 41, № 5. – С. 5-15.
6. Физиология подростка / под ред. Д.А. Фарбер. – М.: Педагогика, 1978. – 167 с.
7. Физиология развития ребенка: Руководство по возрастной физиологии / под ред. М. М. Безруких, Д. А. Фарбер. – М.: Издательство Московского психолого-социального института; Воронеж: Издательство НПО «МОДЭК», 2010. – 768 с.
8. Banagee S., Frey H.P., Molhalm S., Fax I. Interests shape how adolescents pay attention the interaction of motivation and top-down attention processes in biasing sensory activation to anticipated events // European Journal of Neuroscience. – 2014. – P. 1-17.
9. Barnea-Goraly N, Menon V, Eckert M, Tamm L, Bammner R, Karchemskiy A, Dant CC, Reiss AL. White matter development during childhood and adolescence: a cross-sectional diffusion tensorimaging study. Cereb Cortex. – 2005. – 15:1848-1854.
10. Blakemore S.J., Imaging Brain development; The adolescent Brain // Neu-

roimage. – 2012. – P. 397-406.

11. Dumontheil I., Burgess P., Blakemore S.-J. Development of rostral prefrontal cortex and cognitive behavioral disorders // *Dev. Med. Ch. Neurol.* – 2008. – V. 50, № 3. – P. 168.

12. Huizinga M., Dolan C.V., Molen M.W. Age-related change in executive function: Developmental trends and a latent variable analysis // *Neuropsychologia.* – 2006. – Vol. 44. – P. 2017-2036.

13. Hwang K., Velanova R., Luna B. Strengthening of Top-Down Frontal Cognitive Control Networks Underlying the Development of Inhibitory Control: An fMRI Effective Connectivity Study // *J. Neurosci.* – 2010. – V. 30, № 46. – P. 15535.

14. *New Oxford American Dictionary / 2nd Edition, 2005.* – N.Y.: Oxford University Press, 2005.

15. Luna B., Padmanabhan A., O’Hearn K. What has fMRI told us about the development of cognitive control through adolescence? // *Brain Cogn.* – 2010. – V. 72, № 1. – P. 101.

16. Sebastian C.L., Tan G.C.Y., Roiser J.P., Viding E., Dumontheil I., Blakemore S.J. Developmental influences on the neural bases of responses to social rejection: implications of social neuroscience for education. *NeuroImage*, in press.

17. Sisk C., Zehr J. Pubertal Hormones organize the adolescent brain and behavior // *Front Neuroendocrinol.* – 2005. – V. 26, № 3-4. – P. 163.

18. Snodgrass J.G., Corwin J. Perceptual identification thresholds for 150 fragmented pictures from the Snodgrass and Vanderwart picture set // *Percept. Motor Skills.* – 1988. – V. 67. – P. 3.

19. Somerville L., Hare T., Casey B. Fronto-striatal maturation predicts cognitive control failure to appetitive cues in adolescents // *J. Cogn. Neurosci.*, 2011. – Vol. 23. – N 9. – P. 2123-2134.

20. Somerville L., Jones R., Casey B. A time of change: a behavioral and neural correlates of adolescents sensitivity to appetitive and aversive environmental cues // *Brain Cogn.*, 2010. – Vol. 72, № 1. – P. 124-133.

21. Sowell E.R. et al. Longitudinal mapping of cortical thickness and brain growth in normal children // *J. Neurosci.* – 2004. – Vol. 24, № 38. – P. 8223-8231.

22. Sowell E.R., Thompson P.M., Holmes C.J., Jernigan T.L., Toga A.W. In vivo evidence for post-adolescent brain maturation in frontal and striatal regions // *Nat Neurosci.* – 1999. – 2:859-861.

СООТНОШЕНИЕ МИКРОСТРУКТУРНЫХ КОМПОНЕНТОВ В РАЗНЫХ ОБЛАСТЯХ КОРЫ БОЛЬШОГО МОЗГА У ДЕТЕЙ И ПОДРОСТКОВ

Т.А. Цехмистренко *,**, В.А. Васильева¹ **, Н.С. Шумейко**
*ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов»,
**ФГБНУ «Институт возрастной физиологии
Российской академии образования», Москва

С помощью компьютерной визуализации изображений и стереометрического анализа на гистологических препаратах коры большого мозга детей и подростков от 10 до 13 лет (14 левых полушарий) изучали удельные объёмы нейронов, волокон и кровеносных сосудов. Показаны отличия соотношений микроструктурных компонентов в полях двигательной, зрительной и лобной корковых областей.

Ключевые слова: кора большого мозга, микроструктура коры, постнатальный онтогенез, стереометрический метод

Ratio of microstructural components in different areas of cerebral cortex in children and adolescents. The article presents the study of specific volumes of neuron, fiber and blood vessels in cerebral cortex by means of computer visualization and stereometric analysis of histologic samples. Cerebral cortex of children and adolescents from 10 to 13 years old (14 left hemispheres) was studied. Differences in ratios of microstructural components in motor, visual and frontal cortical areas are shown.

Key words: human cerebral cortex, cortical microstructure cortex, postnatal ontogeny, stereometric method

Известно, что возрастное формирование cito-, фибро- и нейроархитектоники коры большого мозга человека протекает гетерохронно и неоднозначно, что в конечном итоге приводит к региональным и локальным различиям в стратификации и микроструктуре коры. Многие специфические особенности строения коры запрограммированы генетически и становятся очевидными уже у новорожденных, однако процессы дифференцировки и специализации продолжаются и в постнатальном онтогенезе [2]. Принято считать, что к 6-7 годам нарастание коры в основном завершается, микроанатомические параметры, характеризующие возрастные изменения на морфологическом уровне, большей частью стабилизируются. Ранее нам удалось показать, что существенные структурные преобразования, наблюдаются на этапе второго детства и в более старших возрастных группах [7]. В их числе - нарастание профильных полей нейронов наиболее крупноклеточных классов, локальная специализация дендритных арборизаций нейронов разных типов, усложнение фиброархитектоники, а также кластеризация наружной и внутренней пирамидных пластинок (III и V), приводящая к обособлению функционально специализированных групп нейронов. Одним из наиболее информативных подходов для выявления критериев значимых возрастных изменений коры является оценка количественного соотношения ее микроструктурных компонентов, предоставляющая возможность определить степень различий в структурной орга-

Контакты:¹ Васильева В.А. – E-mail: <vavasileva@mail.ru>

низации функционально отличающихся корковых областей на том или ином этапе постнатального онтогенеза. Этот подход базируется на представлении о том, что структурные преобразования в функционально отличающихся зонах протекают разными темпами и отличаются по срокам. Наибольший интерес такой подход представляет в микроанатомических исследованиях коры большого мозга на этапе второго детства и у подростков, когда наблюдается постепенная стабилизация многих среднестатистических параметров, характеризующих возрастные изменения внутрикоровых структурных компонентов.

В связи с этим в задачу настоящего исследования входило изучение изменений относительного содержания таких наиболее значимых микроструктурных компонентов, как нейроны, внутрикоровые волокна и кровеносные сосуды в различных областях коры больших полушарий у детей и подростков 10-13 лет с целью определения региональных различий их соотношений и динамики возрастных преобразований.

ОРГАНИЗАЦИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.

Материалом послужили 14 левых полушарий головного мозга детей и подростков обоего пола в возрасте 10-13 лет, погибших насильственной смертью без травм мозга. Кусочки коры вырезали в предцентральной извилине лобной доли (поле 6 двигательной, или сенсомоторной коры), в затылочной доле (поле 19 зрительной коры) и в лобной области коры (глазодвигательное поле 8).

Материал исследования был сгруппирован в годовых интервалах. Фиксацию мозга производили в 10% нейтральном формалине с последующим обезвоживанием в спиртах восходящей концентрации. Парафиновые срезы толщиной 10 мкм изготавливали во фронтальной проекции и окрашивали крезоловым фиолетовым по Нисслю, а также импрегнировали нитратом серебра по Петерсу и Гольджи.

Компьютерная визуализация препаратов проводилась с применением программы Image-Tools (National Institutes of Health, USA). Объемные соотношения структурных элементов исследованных областей коры в различных возрастах определяли с помощью стереологического метода [3] в собственной модификации. В Π^3 подслое коры выявляли удельные объемы (УО) нейронов, волокон и сосудов. Соотношения УО сосудов и УО волокон на единицу УО нейронов вычисляли для каждого среза в одной возрастной группе. Всего производилось по 850 измерений изучаемых структурных компонентов в каждом возрасте при достижении критерия надежности $P=95\%$ ($p<0,05$). С целью унификации количественных данных, полученных с различных срезов, использовалась формула А. Аберкромби [1] для подсчета истинного числа микрообъектов с учетом толщины среза. Достоверность различий между средними величинами изучаемых параметров различных возрастных групп или разных корковых полей в одной возрастной группе определяли методами вариационной статистики с вычислением ошибки средней и доверительного интервала с уровнем значимости $P=95\%$.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Установлено, что в **поле 6** двигательной коры у 10-летних детей УО нейронов составляет $39,3\pm 3,2\%$, волокон - $34,0\pm 4,8\%$, сосудов - $14,7\pm 1,6\%$ (рис. 1). К 13 годам относительное содержание нейронов и волокон в среднем не изменяется и

составляет соответственно $35,5 \pm 2,4$ % и $34,5 \pm 3,6$ %. Содержание внутрикорковых сосудов значительно снижается к 12 годам до $10,7 \pm 1,6$ % ($p < 0,05$), после чего стабилизируется и к 13 годам составляет $11,5 \pm 1,2$ %.

В **поле 8** лобной области коры к 10 годам относительное содержание нейронов не превышает в среднем $16,7 \pm 1,6$ %, что значительно меньше по сравнению с полем 6. Удельный объем волокон составляет $36,7 \pm 2,4$ %. Содержание кровеносных внутрикорковых сосудов достигает $11,4 \pm 1,1$ %, что также достоверно меньше по сравнению с полем 6. От 10 до 13 лет все изучаемые показатели в среднем не изменяются. К 13 годам в поле 8 УО нейронов составляет $18,5 \pm 2,0$ %, волокон - $40,9 \pm 3,6$ %, кровеносных сосудов - $11,7 \pm 1,4$ %.

В **поле 19** зрительной коры у детей 10-ти лет, как и в поле 8, содержание нейронов меньше по сравнению с полем 6; оно составляет $15,3 \pm 3,2$ %. Относительное содержание волокон доходит в среднем до $54,0 \pm 3,2$ %, что значительно больше, чем в остальных исследованных полях. Удельный объем сосудов, составляющий $8,0 \pm 1,6$ %, значительно меньше ($p < 0,05$), чем в полях коры лобной доли. К 12 годам на фоне достоверного снижения васкуляризации коры в поле 6 различия между полями лобной области коры и полем 19 по данному показателю нивелируются. К 13 годам в поле 19 УО нейронов составляет $13,3 \pm 3,2$ %, волокон $54,7 \pm 3,2$ %. Относительное содержание кровеносных сосудов вновь снижается по сравнению с другими полями до $6,0 \pm 1,6$ %.

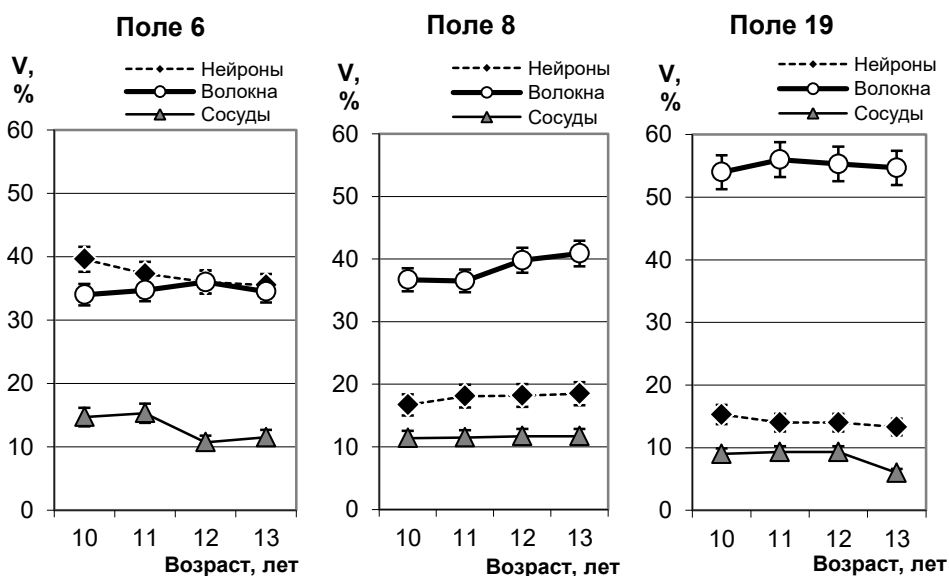


Рис. 1. Изменение удельных объемов нейронов, волокон и кровеносных сосудов, в ПГ³ подслое полей 6, 8 и 19 коры большого мозга детей и подростков от 10 до 13 лет. Вертикальные отрезки – значения доверительного интервала.

Анализ содержания сосудов по отношению к нейронам в микроструктуре III³ подслоя исследованных полей позволил установить, что наименьший индекс васкуляризации нейронного компонента коры отмечается в поле 6 двигательной коры (рис. 2). В тесно функционально связанных полях 8 и 19 показатели, характеризующие соотношение в системе «сосуды/нейроны», у детей 10-12 лет одинаково высоки по сравнению с полем 6. Однако к 13 годам отмечается значимое снижение коэффициента васкуляризации в поле 19 по сравнению с полем 8. Таким образом, к 13 годам наиболее высокий показатель локальной обеспеченности нейронов внутрикорковыми кровеносными сосудами наблюдается в поле 8, наименьший – в поле 6. Оба показателя регистрируются в различных областях (собственно лобной и предцентральной) коры лобной доли.

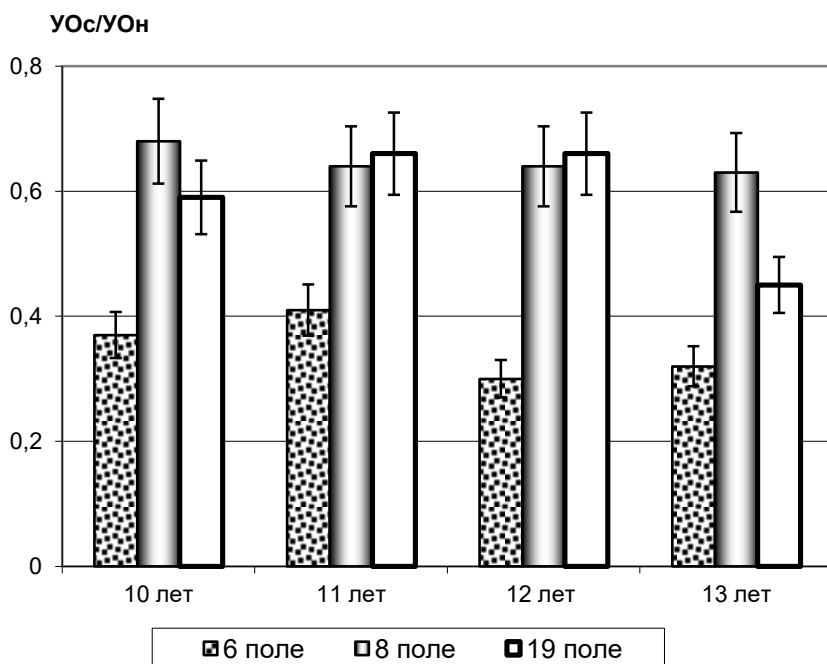


Рис. 2. Изменение соотношения удельных объемов внутрикорковых кровеносных сосудов (УОс) и нейронов (УОн) в III³ подслое полей 6, 8 и 19 коры большого мозга детей и подростков от 10 до 13 лет.

Вертикальные отрезки – значения доверительного интервала.

Изучение содержания волокон по отношению к нейронам показал, что наибольшее количество внутрикорковых связей формируют нейроны в III³ подслое ассоциативного поля 19 зрительной коры, наименьшее – двигательного поля 6 (рис. 3). Значимое нарастание соотношения «волокна/нейроны» отмечаются в поле 6 от 10 к 12 годам, в поле 19 от 10 к 11 годам. В поле 8 наблюдается тенденция к увеличению данного соотношения ($p < 0,05$).

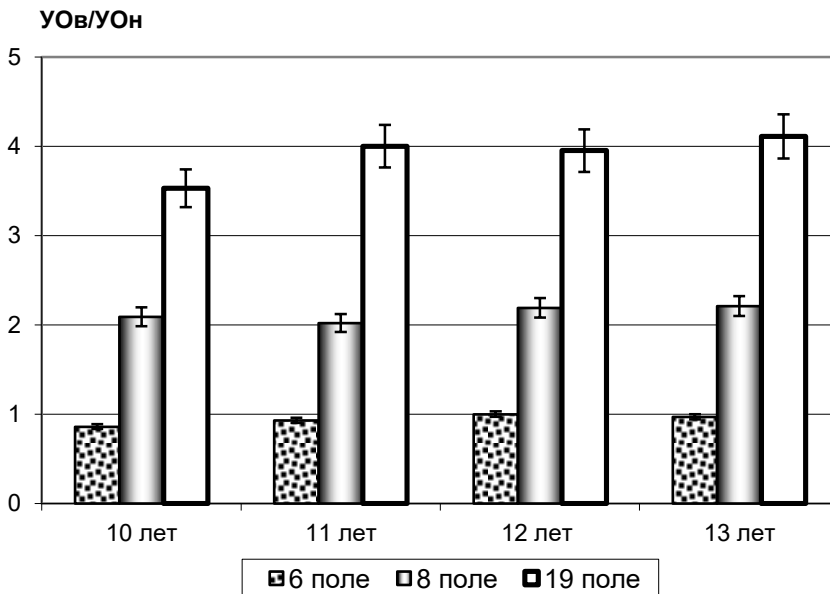


Рис. 3. Изменение соотношения удельных объемов внутрикорковых волокон (УОв) и нейронов (УОн) в III подслое полей 6, 8 и 19 коры большого мозга детей и подростков от 10 до 13 лет.
Вертикальные отрезки – значения доверительного интервала.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, полученные данные о соотношении удельных объемов наиболее важных компонентов коры свидетельствуют о преобразованиях ее микроструктурной организации на этапе второго детства, хотя и в условиях заметного снижения темпов внутрикоркового морфогенеза.

Анализ возрастной динамики изучаемых показателей позволил продемонстрировать, что в период от 10 до 13 лет наиболее стабильными остаются среднестатистические показатели относительного содержания нейронов, волокон и кровеносных сосудов в глазодвигательном поле 8 фронтальной коры. Однако и в этом поле отмечается тенденция нарастания волокнистого компонента верхнего этажа коры к началу подросткового периода. В полях 6 и 19 при относительно стабильном содержании нейронов и волокон отмечается значимое снижение васкуляризации коры, наблюдаемое в поле 6 к 12 годам, а в поле 19 на 1 год позднее. Внутрикорковая сосудистая сеть, являясь важным нейротрофическим и формообразующим компонентом в конструкции экранных структур мозга, обеспечивает через посредство нейроглии наиболее оптимальные условия для функционирования распределенных корковых сетей, формируемых нервными волокнами, собственно нейронами и связанными с ними рецепторными и синаптическими аппаратами [5]. Выявленные нами значимые различия в соотношении удельных объемов сосудов и нейронов между полями лобной и предцентральной областей коры лобной доли, а также между полями лобной и затылочной долей свидетельствует

о важной роли внутрикоркового микроциркуляторного русла в тонкой настройке функциональной активности различных областей коры. Отличия в соотношении «сосуды/нейроны», вероятно, играют определенную роль при вовлечении в процессы мозговой деятельности полей, нейроны которых имеют различное сосудистое обеспечение [6]. Можно предположить, что это становится важным при активной мозговой деятельности, сопровождающейся интенсивными умственными нагрузками.

Поскольку премоторное поле 6 контролирует сложнокоординированные движения верхней конечности, поле 8 принимает участие в регуляции синхронизированных поворотов глаз и головы, а поле 19 обеспечивает фиксацию взгляда на наиболее значимых объектах, все изученные поля вовлекаются в когнитивные процессы, основанные на таких сложных и сугубо человеческих видах деятельности, как письмо и чтение [4]. В связи с этим особый интерес представляют полученные нами сведения о нарастании коэффициента соотношения удельных объемов волокон и нейронов от 10 к 11 годам в поле 19, к 12 годам в поле 6, а также тенденция к его нарастанию к 13 годам в поле 8. Эти данные свидетельствуют о совершенствовании системы активно функционирующих внутрикорковых связей и, как следствие – о развитии к 11-13 годам механизмов наиболее сложных форм мозговой деятельности.

Полученные данные свидетельствуют также в пользу того факта, что на этапе второго детства и в начале подросткового периода совершенствование механизмов мозговой деятельности продолжается. С большой вероятностью можно утверждать, что соотношение удельных объемов нейронов и волокон может стать удобным показателем для сравнения темпов развития функционально и филогенетически отличающихся полей и областей коры большого мозга на различных этапах постнатального онтогенеза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автандилов Г.Г. Медицинская морфометрия. – М.: Медицина, 1990. – 384 с.
2. Боголепова И.Н., Малофеева Л.И. Развитие речедвигательных корковых полей 44 и 45 мозга мальчиков и девочек в постнатальном онтогенезе // Мозг мужчины, мозг женщины. – М.: ФГБУ «НЦН» РАМН, 2014. – С. 202-231.
3. Стефанов С.Б., Кухаренко Н.С. Ускоренные способы количественного сравнения морфологических признаков и систем. – Благовещенск: ВСХИ, 1989. – 65 с.
4. Emmorey K., Mehta S., Grabowski T.J. The neural correlates of sign versus word production // *NeuroImage*. – 2007. – Vol. 36. – P. 202-208.
5. Hensch T.K. Critical period plasticity in local cortical circuits // *Neuroscience*. – 2005. – Vol. 6. – P. 877-888.
6. Lauwers F., Cassot F., Lauwers-Cances V., Puwanarajah P., Duvernoy H. Morphometry of the human cerebral cortex microcirculation: General characteristics and space-related profiles // *NeuroImage*. – 2008. – Vol. 39. – P. 936-948.
7. Tsekhmistrenko T.A., Chernikh N.A., Shehovtsev I.K. From a Birth Till 20 Years Structural Transformations of Cyto- and Fibroarchitectonics of the Human Frontal Cerebral Cortex // *Human physiology*. – 2010. – Vol. 36, № 1. – P. 26-33.

ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ ДЕТЕЙ 12-13 ЛЕТ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ КОГНИТИВНЫХ ЗАДАНИЙ

И.А. Криволапчук^{1*}, М.Б. Чернова*, Е.В. Савушкина**

*ФГБНУ «Институт возрастной физиологии
Российской академии образования», Россия, Москва

** Гродненский государственный университет
имени Янки Купалы, Республика Беларусь, Гродно

Сопоставление индивидуальных сдвигов показателей функционального состояния (ФС) в ситуации мобилизационной готовности и при выполнении когнитивных заданий с комфортной и максимальной скоростью в условиях дефицита времени, позволило выявить два основных типа вегетативного реагирования на нагрузку у детей 12-13 лет. Первый тип – реагирование преимущественно по симпатическому типу, второй – реагирование по парасимпатическому типу.

Ключевые слова: мобилизационная готовность, когнитивная нагрузка, тип вегетативного реагирования, модулирующая система мозга.

Functional state in 12-13-year-old children performing cognitive tasks. *There was made a comparison of individual shifts in functional status (PS) in the situation of mobilization readiness and cognitive tasks performance with comfort and maximum speed within lack of time. This revealed two main types of vegetative response to work load in 12-13-year-old children. The first type of response is of sympathetic type, the second is parasympathetic.*

Key words: mobilization readiness, cognitive load, type of vegetative response, brain modulating system.

В последние годы значительно возрос интерес исследователей к вопросу оценки функционального состояния (ФС) детей при выполнении когнитивных заданий различного типа [7; 11; 13; 15; 17]. Это в значительной степени связано с возрастающей сложностью техники и технологий, повсеместно распространенными информационными и эмоциональными перегрузками, а также кардинальными изменениями в содержании современного школьного образования, предъявляющими повышенные требования к психофизиологическим функциям растущего и развивающегося детского организма. Анализ влияния когнитивной нагрузки различной степени сложности на изменения ФС детей необходим для дальнейшего вскрытия механизмов регуляции уровня бодрствования и выявления наиболее надежных показателей его диагностики на различных этапах возрастного развития.

Цель исследования – анализ изменений ФС детей 12-13 лет при выполнении когнитивных заданий различной степени напряженности.

Контакты: ¹ Криволапчук И.А. –E-mail: <i.krivolapchuk@mail.ru>

ОРГАНИЗАЦИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В исследовании приняли участие практически здоровые дети 12-13 лет ($n=184$). Испытуемые не имели каких-либо противопоказаний для выполнения тестовых нагрузок. Родители обеспечили письменное информированное согласие на участие их ребенка в обследовании.

В качестве модели когнитивной (информационной) нагрузки использовали работу с буквенными таблицами, предназначенными для характеристики внимания и работоспособности. Применяли режимы оптимальной и максимальной нагрузки. В первом случае испытуемые выполняли когнитивное задание с комфортной, а во втором – с предельной скоростью в условиях «угрозы наказания». По результатам реализации когнитивного задания рассчитывали объём работы (А), число общих ошибок (ООШ), ошибок на дифференцировку (ОШД) и коэффициент продуктивности (Q). Испытуемым давалась инструкция безошибочно выполнять задание с комфортной скоростью. После введения инструкции за 30–60 с до начала выполнения первого задания подавалась предварительная команда «Приготовились», а затем – исполнительная команда «Начали».

Второе задание отличалось тем, что испытуемым предлагалось выполнять ту же работу с максимальной скоростью при наличии «угрозы наказания». После введения инструкции за 30–60 с до начала выполнения второго задания подавалась предварительная команда «Приготовились», а затем – исполнительная команда «Начали».

Физиологические и психологические измерения проводили в следующих экспериментальных ситуациях: I – «фон», II – «инструкция 1 – мобилизационная готовность», III «когнитивная нагрузка – автотемп», IV – «восстановление», V – «фон», VI – «инструкция 2 – мобилизационная готовность», VII – «когнитивная нагрузка – максимальный темп», VIII – «восстановление». Испытуемые не были предварительно ознакомлены с предлагаемыми им экспериментальными ситуациями.

Функциональное состояние ЦНС анализировали на основе регистрации омега-потенциала (ОП) [5]. Регистрация осуществлялась с поверхности кожи головы с использованием портативной установки для исследования сверхмедленных электрических процессов головного мозга и слабополяризующихся хлорсеребряных электродов. В состоянии покоя на основании начальных значений омега-потенциала оценивали уровень активного бодрствования [5]. Определяли знак и величину омега-потенциала после выхода на плато и его изменения в условиях тестовых нагрузок.

Уровень ситуативной тревожности у испытуемых определяли перед выполнением каждого задания с помощью варианта 8-цветового теста Люшера (СТЛ) [8].

Для оценки степени напряженности регуляторных систем использовали математический анализ сердечного ритма [10]. Определяли среднюю продолжительность R-R интервала (RRNN), моду (M_0), амплитуду моды (AM_0), разброс кардиоинтервалов ($MxDMn$), среднеквадратическое отклонение (SDNN), стресс-индекс (SI). Частота сердечных сокращений (ЧСС) рассчитывалась по 6-секундным отрезкам записи с пересчетом на 1 минуту.

Систолическое (СД) и диастолическое (ДД) артериальное давление крови регистрировали в соответствии с рекомендациями ВОЗ. Применяли адекватную возрасту манжету. Рассчитывали двойное произведение (ДП).

Статистическую обработку данных проводили с использованием пакета статистических программ. Значимость различий определялась посредством применения параметрических и непараметрических критериев достоверности оценок.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В ситуации «мобилизационная готовность» за 30-60 с до начала выполнения когнитивного задания с комфортной скоростью у детей 12-13 лет отмечались существенные изменения изучаемых показателей по сравнению с состоянием спокойного бодрствования. В этот период происходило выраженное увеличение ОП, ЧСС, СД, ДД, ДП, АМо, SI, СТ ($p < 0,01-0,001$) и уменьшение RRNN, Мо, МхDMn, SDNN ($p < 0,05-0,001$).

По ходу выполнения когнитивного задания с комфортной скоростью наблюдалось сохранение достигнутых в ситуации мобилизационной готовности вегетативных сдвигов. На рис. 1 показаны сдвиги показателей ФС при выполнении когнитивного задания с комфортной и максимальной скоростью по отношению к уровню спокойного бодрствования.

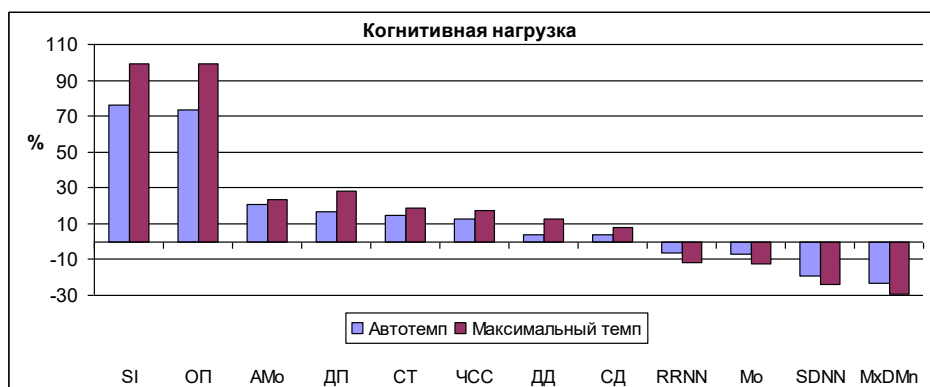


Рис.1. Сдвиги показателей ФС при когнитивной нагрузке по отношению к спокойному бодрствованию

Видно, что работа с комфортной скоростью сопровождалась значимыми изменениями ряда изучаемых переменных по сравнению с состоянием спокойного бодрствования. В этих условиях отмечалось возрастание ОП в среднем на 74 %, ЧСС – на 13 %, СД – на 4 %, ДД на – 4 %, ДП – на 17 %, АМо – на 21 %, SI – на 76 %, СТЛ – 15 %. Одновременно происходило снижение средней продолжительности R-R интервала (RRNN) на – 6 %, Мо – на 7 %, МхDMn – на 23 %, SDNN – на 19 %. При этом по сравнению с фоном изменения большинства параметров носили статистически достоверный ($p < 0,05-0,001$) характер, свидетельствуя о повышении уровня неспецифической активации, сдвиге вегетативного баланса в сторону преобладания активности симпатического отдела ВНС, усилении центральных регуляторных влияний на сердечный ритм и стимуляции

системной гемодинамики, а также о возрастании уровня ситуативной тревожности.

Сопоставление индивидуальных сдвигов ФС в ситуации мобилизационной готовности и при работе с комфортной скоростью позволило выявить два основных варианта психофизиологических изменений в условиях когнитивной нагрузки (рис. 2). Первый вариант – это реагирование преимущественно по симпатическому типу, второй – реагирование по парасимпатическому типу. Первый, комплекс вегетативного реагирования является преобладающим. С различной степенью выраженности он встречается в 76-80 % случаев, второй в 10-15 % случаев. В остальных случаях характер вегетативных сдвигов представлял собой комбинации двух рассмотренных типов реакций.

При первом типе вегетативного реагирования в начале выполнения задания в режиме «автотемп» отмечалось пиковое увеличение ЧСС (на 8-14 уд/мин), СД (на 7-12 мм. рт. ст.), ДД (на 6-9 мм. рт. ст.), ДП (на 6-15 отн. ед.) и уменьшение RRNN и SDNN на начальном этапе выполнения когнитивного задания. В конце задания данные показатели либо сохранялись примерно на одном уровне, либо незначительно снижались (см. рис. 2). Динамика сверхмедленных колебаний потенциалов в большинстве случаев отличалась резким нарастанием ОП с последующей стабилизацией достигнутой величины в определенном диапазоне (41–60 мВ). Необходимо отметить, что у испытуемых с симпатическим типом вегетативного реагирования пиковые изменения рассматриваемых показателей ФС при выполнении когнитивного задания в целом были выше, чем в состоянии мобилизационной готовности.

Для второго типа вегетативного реагирования в начале работы характерно небольшое уменьшение ЧСС (в среднем на 2-4 уд/мин), ДП, СД, ДД, и увеличение средней продолжительности (RRNN) и среднеквадратического отклонения R-R интервала (SDNN) и M_0 по сравнению с состоянием мобилизационной готовности (см. рис.2). Величины АД и ДП в начале работы существенно не изменялись или незначительно снижались.

В конце работы, наоборот, наблюдалось увеличение ЧСС (на 4-8 уд/мин), СД (на 4-6 мм. рт. ст.), ДД (4-7 мм. рт. ст.) и ДП (на 3-8 отн. ед.), а также снижение RRNN и SDNN. Динамика ОП в этих условиях преимущественно характеризовалась нарастанием его значений по сравнению со спокойным бодрствованием с последующей стабилизацией на среднем уровне (20-40 мВ). В отдельных случаях в процессе выполнения данного задания ОП, ЧСС, СД, ДД снижались даже ниже исходных величин, полученных в состоянии покоя. Важно подчеркнуть, что у испытуемых с данным типом вегетативного реагирования изменения рассматриваемых показателей ФС в процессе работы были ниже, чем в состоянии мобилизационной готовности. Дети этой группы в ситуации мобилизационной готовности, и, особенно, при работе с комфортной скоростью, характеризовались менее выраженными психофизиологическими изменениями по сравнению со сверстниками с симпатическим типом реакций.

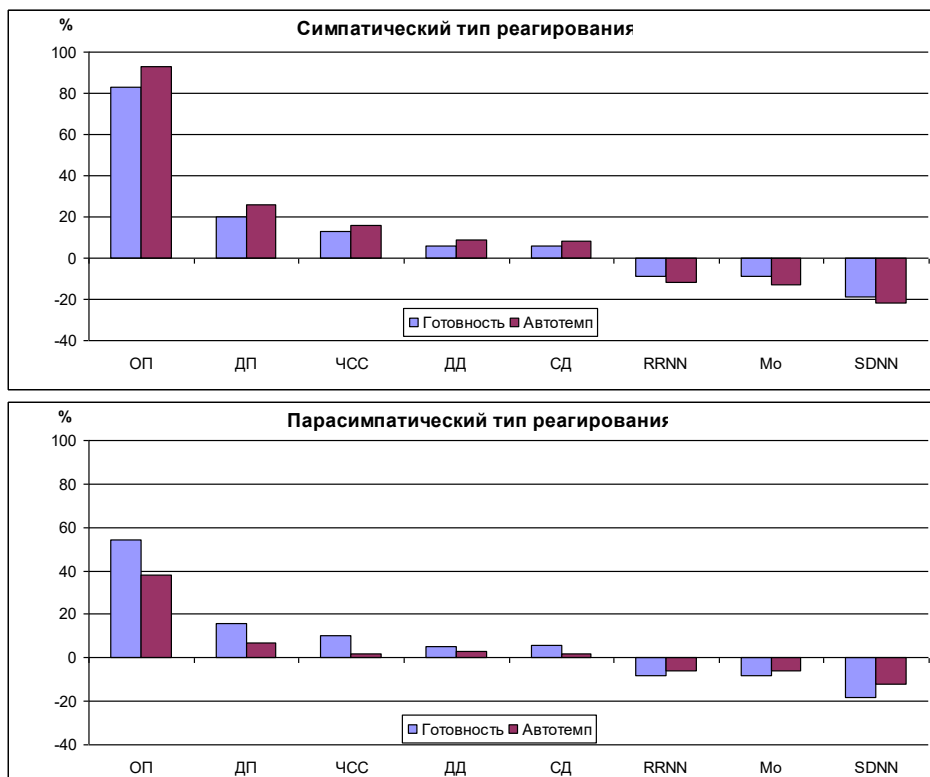


Рис. 2. Сдвиги показателей ФС у детей с различными типами вегетативного реагирования в ситуации мобилизационной готовности и при выполнении когнитивного задания с комфортной скоростью

Сопоставление рассматриваемых групп испытуемых по степени выраженности ситуативной тревожности и эффективности когнитивной деятельности, показало, что дети с парасимпатическим типом реагирования, характеризовались меньшим уровнем беспокойства перед началом выполнения задания, а также относительно низкой скоростью (А) и продуктивностью (Q) выполнения работы.

В процессе выполнения когнитивного задания в режиме максимального темпа в условиях дефицита времени и «угрозы наказания», происходили наиболее значительные изменения изучаемых показателей ФС ($p < 0,01-0,001$). В это время отмечалось дальнейшее увеличение ОП в среднем на 100 %, ЧСС – на 17 %, АМо – на 24 %, СИ – на 99 %, СД – на 8 %, ДД – на 13 %, ДП – на 28 %, СТЛ – на 19 % и уменьшение RRNN – на 12 %, Мо – на 12 %, МхDMп – на 29 %, SDNN – на 24 %. Рассматриваемая ступень когнитивной нагрузки вызывала у всех детей, независимо от исходного вегетативного тонуса и индивидуальных психологических особенностей, повышение уровня активации ЦНС. Важно отметить, что вегетативное реагирование по симпатическому типу явилось доминирующим типом реакции на нагрузку, выполняемую с максимальной скоро-

стью. Такой тип реагирования отмечался в 89–96 % случаев. Психическая напряженность проявилось не только в виде объективных изменений ФС, но и в виде субъективных переживаний тревоги. По мере перехода от состояния покоя к работе в максимальном темпе, выявлена тенденция увеличения уровня ситуативной тревожности, определяемой с помощью теста Люшера (СТЛ). Резко возросло число школьников с высоким уровнем ситуативной тревожности.

Сравнение данных о результативности выполнения заданий, полученных при разных режимах деятельности, показало, что количество просмотренных знаков (А) за время работы в максимальном темпе в большинстве случаев увеличивается, тогда как коэффициент продуктивности (Q) уменьшается, вследствие возрастания числа общих ошибок (ООШ), ошибок на дифференцировку (ОШД).

Таким образом, по мере усложнения когнитивного задания отмечается нарастание сдвигов рассматриваемых нами показателей ФС. Одновременно с этим наблюдается ухудшение эффективности выполнения деятельности.

Сопоставление величины реакции на когнитивную нагрузку в режиме максимального темпа в группах детей отличающихся по типу вегетативного реагирования, позволило установить, что максимальные величины большинства исследуемых показателей ФС не имеют статистически существенных различий. Вместе с тем, у школьников с симпатическим типом реагирования по сравнению с испытуемыми с парасимпатическим типом выявлены более существенные ($p < 0,05$) сдвиги ряда физиологических показателей (Δ ЧСС, Δ RRNN, Δ СД, Δ ДП) по отношению к уровню спокойного бодрствования.

Проведенные исследования показали, что в ситуации мобилизационной готовности у детей 12-13 лет отмечались выраженные сдвиги ФС по сравнению с периодом спокойного бодрствования. Подобная динамика вегетативных индикаторов ФС рассматривается как проявление психической напряженности, направленной на превентивную актуализацию психофизиологических резервов организма для обеспечения наиболее эффективного выполнения предстоящей когнитивной задачи. Поскольку неспецифические регуляторные влияния является обязательным условием любой деятельности, можно полагать, что наблюдаемые изменения уровня активации определяются особенностями взаимодействия ретикулярных (энергетическая система) и лимбических (эмоциональная система) отделов модулирующей системы мозга [2, 3].

Анализ результатов исследования позволил установить, что по степени выраженности и направленности изменений ФС в начальный период работы с комфортной скоростью между испытуемыми имеются существенные различия, позволяющие рассматривать два основных типа вегетативного реагирования на когнитивную нагрузку. Это реагирование по симпатическому и парасимпатическому типам. Сравнение групп испытуемых с симпатическим и парасимпатическим типом вегетативного реагирования показало, что выполнение когнитивного задания с комфортной скоростью формирует у них на фоне состояния мобилизационной готовности различные комплексы психофизиологических изменений.

Полученные материалы, свидетельствующие о существовании противоположных типов вегетативного реагирования, согласуются с выводами других исследователей, рассматривающих проблему регуляции ФС в контексте индивидуальных различий. Так, в ряде работ представлены данные о зависимости характера реагирования на когнитивную нагрузку от индивидуальных особенностей

субъекта. При этом выделяются два крайних типа реагирования на нагрузку: по симпатическому типу, с одновременным ростом тонической активности скелетной мускулатуры и парасимпатическому типу, с синхронным снижением тонуса скелетных мышц [2]. Показано также, что два противоположных типа вегетативного реагирования на когнитивную нагрузку можно выделить по параметрам сосудистой и дыхательной модуляций сердечного ритма [4]. При этом усиление данных модуляций в процессе выполнения задания, сочетающееся со снижением ЧСС, рассматривается как активация ориентировочно-исследовательской деятельности, тогда как подавление влияний сосудистого и дыхательного модуляторов на фоне увеличения ЧСС – как проявление защитного поведения. Важно отметить, что изменений соотношения сосудистого и дыхательного компонентов сердечного ритма зависит от вида когнитивной нагрузки и уровня личностной тревожности субъекта [4]. В другом исследовании показано, что характер психофизиологических реакций могут определять не только психологические особенности субъекта и содержание когнитивной задачи, но и эффективность ее решения [6]. Индивидуальные особенности вегетативного реагирования по симпатическому или по парасимпатическому типу на различные лабораторные стрессоры, в том числе и когнитивные нагрузки, выявлены у детей дошкольного и школьного возраста [11, 12, 13]. Сходные комплексы вегетативных реакций при выполнении когнитивного задания с комфортной скоростью наблюдались нами у мальчиков и девочек 11-12 лет [7].

Необходимо подчеркнуть, что первый тип вегетативного реагирования рассматривается как повышенная готовность индивида к действию, а второй, наоборот, как низкая готовность испытуемого к активным формам поведения [2]. В то же время отсутствие существенных различий в реакциях детей, отличающихся по типу вегетативного реагирования, на напряженную когнитивную нагрузку, реализуемую с максимальной скоростью, по-видимому, связано с проявлением «эффекта потолка», характеризующегося тем, что специфика психофизиологической реактивности может нивелироваться вследствие истощения потенциала активации при максимальном уровне стресса. Об этом в частности свидетельствует то обстоятельство, что у школьников сравниваемых групп, сдвиги используемых психофизиологических показателей, зарегистрированные в режиме максимального темпа работы, в целом сопоставимы с их изменениями, выявленными другими авторами в условиях выраженной психической напряженности, обусловленной естественными и лабораторными стрессорами [14, 15, 16, 17].

Как было отмечено выше, согласно двухфакторной модели модулирующей системы мозга, специфика ФС определяется, главным образом, балансом и взаимодействием энергетической и эмоциональной подсистем активации [2, 3]. Можно предположить, что устойчивые соотношения этих систем активации, определяют доминирующий тип вегетативного реагирования детей 12-13 лет на различные когнитивные нагрузки. В свою очередь характер взаимодействия рассматриваемых систем активации существенно зависит от ряда факторов, обуславливающих специфику ФС. Это, прежде всего, степень сложности выполняемого задания и успешность его решения, дефицит (или избыточность) времени и информации, мотивация, социальный контекст, повышенная ответственность за результаты деятельности, индивидуально-психологические особенности испытуемых, исходный уровень ФС, величина сенсорной нагрузки, привычный уровень двигательной активности и физическая подготовленность [9, 6, 1, 3, 17, 7]. Вероятно, инди-

видуальные особенности вегетативного реагирования на когнитивную нагрузку определяются совокупным влиянием перечисленных факторов, регулирующих ФС детей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сопоставление индивидуальных сдвигов ФС в ситуации мобилизационной готовности и при выполнении когнитивных заданий с комфортной и максимальной скоростью в условиях дефицита времени, позволило выявить два основных типа вегетативного реагирования на нагрузку. Первый тип – реагирование преимущественно по симпатическому типу, второй – реагирование по парасимпатическому типу.

При первом типе вегетативного реагирования в начале выполнения задания в режиме «автотемп» отмечаются «пиковые» изменения показателей ФС, свидетельствующие о дальнейшем повышении уровня активации ЦНС, сдвиге вегетативного баланса в сторону преобладания активности симпатического отдела ВНС, усилении центральных регуляторных влияний на ритм сердца и стимуляции системной гемодинамики. Необходимо отметить, что у испытуемых с симпатическим типом вегетативного реагирования пиковые изменения рассматриваемых показателей ФС при выполнении когнитивного задания в целом были выше, чем в состоянии мобилизационной готовности.

Для второго типа вегетативного реагирования в начале работы с комфортной скоростью, по сравнению с ситуацией мобилизационной готовности, характерно снижение уровня активации ЦНС, сдвиг вегетативного баланса в сторону усиления активности парасимпатического отдела ВНС, ослабление центральных регуляторных влияний на ритм сердца и системную гемодинамику. В отдельных случаях в процессе выполнения задания уровень активации по ряду показателей снижался даже ниже исходных величин, полученных в состоянии покоя. Важно подчеркнуть, что у испытуемых с данным типом вегетативного реагирования изменения рассматриваемых показателей ФС в процессе работы были ниже, чем в состоянии мобилизационной готовности.

Сравнительное изучение ФС испытуемых с различной реактивностью показало, что у детей с парасимпатическим типом реагирования сдвиги вегетативных показателей активации в ситуации мобилизационной готовности, и, особенно, при работе с комфортной скоростью были ниже, чем у школьников с симпатическим типом реагирования.

В ходе исследования установлено, что доминирующим видом реагирования на «максимальную» когнитивную нагрузку у детей 12-13 лет является комплекс вегетативных реакций по симпатическому типу. Полученные результаты дают основание полагать, что реализация когнитивного задания с максимальной скоростью при наличии «угрозы наказания» оказывает стрессогенное воздействие на школьников рассматриваемой возрастной группы. Отсутствие существенных различий в изменениях ФС в условиях напряженной когнитивной нагрузки между испытуемыми с разным типом вегетативного реагирования, по-видимому, связано с исчерпанием потенциала активации при высоком уровне стресса («эффект потолка»).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРА

1. Бодров В.А. Психологический стресс: развитие и преодоление. – М.: ПЭР СЭ, 2006. – 528 с.
2. Данилова Н.Н. Психофизиологическая диагностика функциональных состояний. – М.: Изд-во МГУ, 1992. – 192 с.
3. Данилова Н.Н. Психофизиология. – М.: Аспект Пресс, 2008. – 373 с.
4. Данилова Н.Н. Сердечный ритм и информационная нагрузка // Вестн. МГУ. –1995. – Сер.14 (4). – С. 14-27.
5. Илюхина В.А. Психофизиология функциональных состояний и познавательной деятельности здорового и больного человека. – СПб.: Изд-во Н-Л, 2010. – 368 с.
6. Коршунова С.Г. Эффективность решения умственных задач и вариантность сердечного ритма // Вестн. МГУ. – 1996. – 14(1). – С. 31-41.
7. Криволапчук И.А., Зайцева Г.А., Чернова М.Б., Баранцев С.А., Полянская Н.В. Уровень выносливости как фактор, детерминирующий психофизиологическую реактивность детей 11-12 лет в условиях информационной нагрузки // Новые исследования. – 2014. – № 4. – С. 59-66.
8. Собчик Л.Н. Метод цветовых выборов – модификация цветового теста Люшера. – СПб.: Речь, 2006. – 128 с.
9. Федоров Б.М. Стресс и система кровообращения. – М.: Медицина, 1990. – 320 с.
10. Шлык Н.И. Сердечный ритм и тип регуляции у детей, подростков и спортсменов. –Ижевск: Изд-во Удмуртский университет, 2009. – 259 с.
11. Boyce W. T., Chesney M., Alkon A., Tschann J. M. Psychobiologic reactivity to stress and childhood respiratory illnesses: Results of two prospective studies. *Psychosomatic Medicine*. – 1995. – № 57. P. 411-422.
12. Boyce W.T., Quas J., Alkon A., Smider N.A., Essex M.J., Kupfer D.J. Autonomic reactivity and psychopathology in middle childhood // *Br J Psychiatry*. – 2001. – № 179. – P. 144-150.
13. Diamond L.M., Fagundes C.P, Cribbet M.R. Individual differences in adolescents' sympathetic and parasympathetic functioning moderate associations between family environment and psychosocial adjustment // *Dev Psychol*. – 2012. – № 48(4). – P. 918-931.
14. Hare T.A., Tottenham N., Galvan A. Voss H.U., Glover G.H., Casey B.J. Biological substrates of emotional reactivity and regulation in adolescence during an emotional go–nogo task // *Biol. Psychiatry*. – 2008. – № 63(10). – P. 927-934.
15. Low C.A., Salomon K., Matthews K.A. Chronic life stress, cardiovascular reactivity, and subclinical cardiovascular disease in adolescents // *Psychosom. Med*. – 2009. – № 71(9). – P. 927-931.
16. Spear L.P. Heightened stress responsivity and emotional reactivity during pubertal maturation: Implications for psychopathology // *Dev Psychopathol*. – 2009. – 21(1): 87–97.
17. Wolff B.C., Wadsworth M.E., Wilhelm F.H., Mauss I.B. Children's vagal regulatory capacity predicts attenuated sympathetic stress reactivity in a socially supportive context: Evidence for a protective effect of the vagal system // *Dev Psychopathol*. – 2012. – № 24(2). – P. 677-689.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕАЛИЗАЦИИ КОГНИТИВНОЙ НАГРУЗКИ ШКОЛЬНИКАМИ 12-13 ЛЕТ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УРОВНЯ ДВИГАТЕЛЬНОЙ ПОДГОТОВЛЕННОСТИ

И.А. Криволапчук^{11*}, М.Б. Чернова*, Е.В. Савушкина**,
С.А. Баранцев*, Н.В. Полянская*

*ФГБНУ «Институт возрастной физиологии
Российской академии образования», Россия, Москва

** Гродненский государственный университет
имени Янки Купалы, Республика Беларусь, Гродно

Установлено, что дети 12-13 лет с высоким уровнем аэробной выносливости характеризуются повышенной эффективностью деятельности по сравнению со школьниками с недостаточной двигательной подготовленностью. Наиболее значимые различия между рассматриваемыми группами учащихся обнаружены при выполнении когнитивного задания с комфортной скоростью. Результаты исследования дают основание полагать, что эффективность напряженной когнитивной деятельности зависит от уровня аэробной выносливости.

Ключевые слова: когнитивное задание, продуктивность и эффективность деятельности, двигательная подготовленность, аэробная выносливость.

Dependence of effective mental task performance on motor readiness in 12-13-year-old children. It was found that children of 12-13 years old with a high level of aerobic endurance are characterized by higher efficiency of activity in comparison with students with insufficient motor readiness. The most significant differences between these groups of students are found during performance of cognitive tasks at comfortable speed. The findings suggest that the effectiveness of intense cognitive activity depends on the level of aerobic endurance.

Keywords: cognitive task, productivity and efficiency, motor fitness, aerobic endurance.

Эффективность деятельности многими исследователями рассматривается в качестве наиболее интегрального критерия функционального состояния (ФС). Она тем больше, чем выше продуктивность и меньше энергетические затраты организма [4; 10]. Сопоставление приспособительных реакций индивидуума с эффективностью различных видов деятельности позволило ввести в научный обиход понятие «цена деятельности», обозначающее степень допустимости физиологических и психологических затрат на ее выполнение [9; 11; 12]. С помощью критериев эффективности и цены деятельности проводится оценка ФС с точки зрения адекватности усилий, затрачиваемых организмом в процессе приспособления к окружающей среде [3; 5].

В настоящее время ведется интенсивный поиск путей и средств повышения эффективности познавательной деятельности школьников. Это необходимо для улучшения их адаптации к образовательной среде, разработки оптимальных режимов труда и отдыха, формирования современных педагогических технологий, обеспечивающих позитивное влияние приемов обучения и воспитания на здоро-

Контакты ¹ Криволапчук И.А. –E-mail: <i.krivolapchuk@mail.ru>

вые и развитие детей. В этой связи особое место в изучении ФС учащихся занимает проблема выявления факторов, влияющих на эффективность напряженной когнитивной деятельности. Одним из таких факторов является двигательная подготовленность [5; 15; 17; 18; 19; 20]. Однако вопрос о ее роли в обеспечении высокой эффективности когнитивной деятельности применительно к детям разного возраста требует детального изучения.

Целью исследования явился анализ эффективности выполнения когнитивной нагрузки школьниками 12-13 лет в зависимости от уровня их двигательной подготовленности.

ОРГАНИЗАЦИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В исследовании, проводимом в соответствии с требованиями Хельсинской декларации, принимали участие здоровые мальчики и девочки в возрасте 12-13 лет ($n=184$). Испытуемые не были предварительно ознакомлены с предлагаемыми им экспериментальными ситуациями.

В качестве модели когнитивной нагрузки использовали работу с буквенными таблицами. Обследование осуществлялось в состоянии спокойного бодрствования и при двух режимах деятельности: 1) комфортный (автотемп); 2) напряженный (максимальный темп при наличии «угрозы наказания»). По результатам выполнения задания рассчитывали объем работы (A) и коэффициент продуктивности (Q). Количественные и качественные показатели работоспособности оценивались также в условиях школы в среду (A_{cp} , Q_{cp}) до и после занятий.

Уровень ситуативной тревожности у испытуемых определяли перед выполнением каждого задания с помощью варианта 8-цветового теста Люшера (СТЛ) и методики шкалированной самооценки Дембо-Рубинштейн (СТД) [16, 13, 14].

В процессе анализа вариабельности сердечного ритма определяли частоту сердечных сокращений (ЧСС), среднюю продолжительность R-R интервала, моду, амплитуду моды, разброс кардиоинтервалов. Артериальное давление крови регистрировали в соответствии с рекомендациями ВОЗ. Применяли адекватную возрасту манжету. По общепринятым формулам рассчитывали стресс-индекс (SI) и двойное произведение (ДП). На основании сделанных измерений и расчетов определяли соотношения $Q/ЧСС$, Q/SI , $Q/ДП$, $A/ЧСС$, A/SI , $A/ДП$, характеризующие эффективность деятельности [6].

Оценку двигательной подготовленности проводили на основе использования добротных моторных тестов и функциональных проб. Комплекс контрольных упражнений и параметров подготовленности состоял из показателей, характеризующих уровень развития кондиционных двигательных способностей: бег 20 метров с хода; прыжок в длину с места; челночный бег 4x9 м; шестиминутный бег; поднятие туловища из положения «лёжа на спине» за 1 минуту; наклон вперед; удержание «до отказа» нагрузки 3 Вт/кг ($t_{3Вт}$); показатель мощности нагрузки, предельное время выполнения которой составляет 900 с ($W900$).

Обработка данных осуществлялась с использованием стандартной программы в пакете Statistica. Значимость различий определялась посредством применения параметрических и непараметрических критериев достоверности оценок.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Получены данные о том, что эффективность деятельности в комфортном режиме выше, чем при нагрузке в максимальном темпе (рис.1). Снижение эффективности реализации когнитивной нагрузки в ходе реализации второго задания, по-видимому, обусловлено более выраженным повышением активности модулирующей системы мозга за счёт нарастания вклада подсистемы эмоциональной активации, связанной с оборонительным поведением, по сравнению с активностью подсистемы неэмоциональной активации, обеспечивающей энергетическую составляющую деятельности [3]. Это, в частности, подтверждается тенденцией увеличения ситуативной тревожности (СТЛ) по мере перехода от состояния покоя к работе в максимальном темпе.

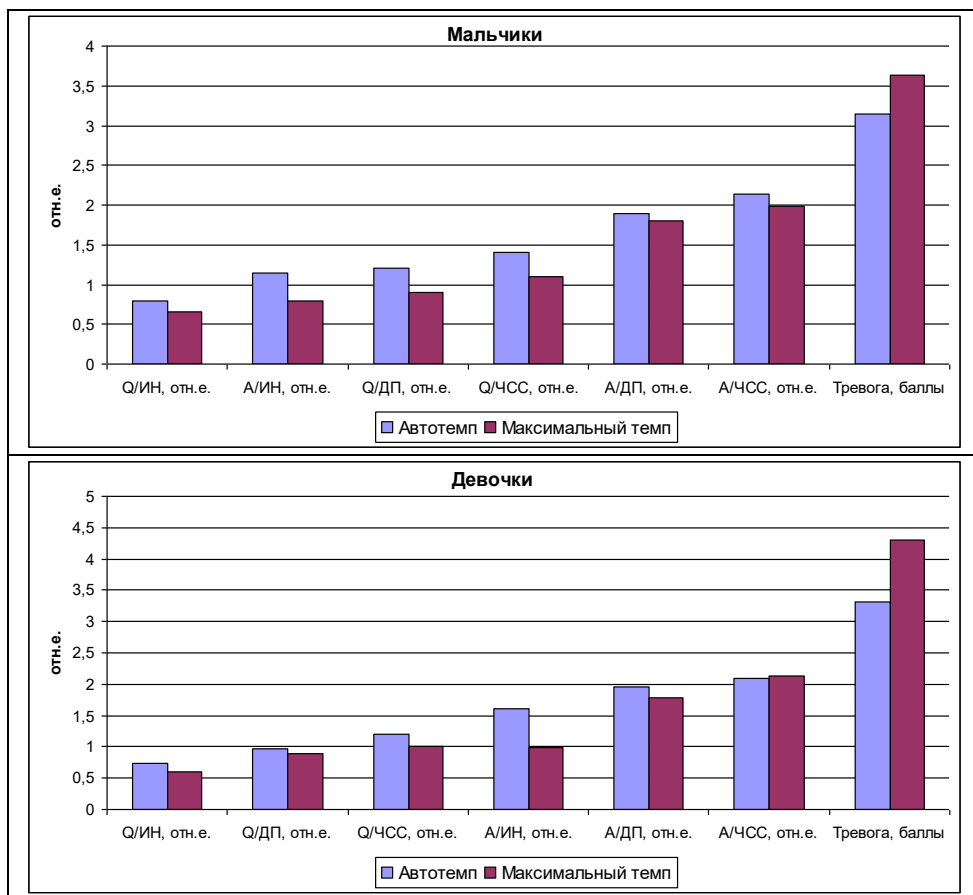


Рис. 1. Изменения показателей эффективности деятельности у детей 12-13 лет при выполнении когнитивного задания различной сложности
Примечание. Значения показателей Q/ЧСС, Q/СИ, Q/ДП увеличены на порядок.

На основе исходных данных о двигательной подготовленности вся выборка испытуемых была распределена по трем уровням развития кондиционных двигательных способностей. Посредством перцентильной шкалы по каждой переменной определялся уровень развития рассматриваемой двигательной способности. Величины, лежащие в пределах $M \pm 0,67\sigma$, соответствовали среднему уровню. Результаты, имеющие более значительные отклонения от средней арифметической величины, относились к высокому и низкому уровням. Суммарная оценка общей выносливости определялась на основе результатов шестиминутного бега, $t_{3\text{вт}}$ и W900.

Соотнесение исследуемых показателей ФС с уровнем развития кондиционных двигательных способностей показало отсутствие статистически значимых различий в отношении гибкости, скоростных, силовых и скоростно-силовых возможностей организма. В противоположность этому установлено, что индивидуальные особенности аэробной выносливости детей 12-13 лет в значительной степени определяют эффективность реализации напряженной когнитивной нагрузки. Значимые различия ($p < 0,05 - 0,01$) между испытуемыми с высоким и низким уровнем аэробных возможностей обнаружены в отношении A, Q, A/ЧСС, A/ДП, A/SI, Q/ЧСС, Q/ДП, Q/SI, СТЛ, СТД (табл. 1).

Таблица
1

Различия в эффективности реализации когнитивной нагрузки между детьми 12-13 лет с высоким и низким уровнем развития общей выносливости

| На уроках в школе | В условиях лаборатории | |
|-------------------|---|-------------------------------|
| | Автотемп | Максимальный темп |
| Аср, Qср, | A/ЧСС, A/ДП, A/SI, Q/ЧСС, Q/ДП, Q/SI, СТД | A/ЧСС, A/ДП, Q/ЧСС, Q/ДП, СТЛ |

Примечание: представлены показатели, в отношении которых выявлены межгрупповые различия ($p < 0,05 - 0,001$)

Видно, что наибольшее количество межгрупповых различий по уровню аэробной выносливости выявлено при работе с комфортной скоростью. Обнаруженные в данной экспериментальной ситуации отличия в успешности выполнения деятельности, касались A/ЧСС, A/ДП, A/SI, Q/ЧСС, Q/ДП, Q/SI, СТД. Эффективность выполнения рассматриваемого когнитивного задания с максимальной скоростью в условиях «угрозы наказания» также существенно зависела от степени развития аэробной выносливости. Различия выявлены в отношении A/ЧСС, A/ДП, Q/ЧСС, Q/ДП, СТЛ.

Наряду с этим при изучении динамики работоспособности в течение учебного дня получены данные о том, что выносливые дети в дни оптимальной работоспособности в большинстве случаев отличались высокой скоростью ($p < 0,05$) и качеством ($p < 0,05$) работы до (Аср, Qср) и после (Аср) занятий в школе.

Анализ результатов исследования показал, что уровень аэробной выносливости существенно влияет на успешность когнитивной деятельности в состоянии функционального комфорта и при психической напряженности. В рассматриваемых условиях эффективность выполнения задания у детей с высокой физической

подготовленностью была большей, чем у неподготовленных испытуемых. Сходные результаты представлены и в ряде других работ. Так, в процессе сравнительного исследования эффективности психической деятельности у студентов, отличающихся по уровню физической подготовленности, было установлено, что тренированные лица в состоянии нервно-психического напряжения характеризуются высокой продуктивностью деятельности и мышления, большей точностью восприятия времени и пространства, лучшей антиципацией [15]. В другом исследовании при оценке временных параметров восприятия зрительных стимулов у юношей с различной подготовленностью получены материалы, свидетельствующие о том, что наименьшее время для опознания изображения требовалось испытуемым с высоким уровнем физических кондиций и адекватным двигательным режимом. Аналогичная динамика наблюдалась при оценке эффективности счетной интеллектуальной деятельности, выполняемой в оптимальном и максимально быстром темпе [5]. Представленные результаты указывают на то, что молодые люди с повышенной физической пригодностью затрачивали меньше времени на каждое из заданий, причем испытуемые этой группы наиболее существенно отличались от сверстников с низкой подготовленностью по произвольному ускорению интеллектуальной деятельности [5].

Применительно к детям школьного возраста установлено, что испытуемые с низким уровнем аэробных возможностей выполняли когнитивное задание возрастающей трудности за счет большой цены деятельности по сравнению с учащимися с высокими аэробными возможностями. Показано, что индивидуальные различия в уровне аэробной подготовленности оказывают определенное влияние на характер функционирования нейронных сетей, осуществляющих нисходящий контроль познавательной деятельности у детей препубертатного возраста [20].

В другом исследовании, посвященном анализу взаимосвязи аэробных возможностей организма и эффективности когнитивной деятельности, выявлено, что дети 9-10 лет с высокой двигательной подготовленностью характеризуются более эффективной регуляцией исполнительных функций (способность к торможению) по сравнению со сверстниками с низким уровнем физических кондиций. Показано, что специальные программы занятий физическими упражнениями даже с относительно малой величиной нагрузки представляют эффективное средство, способствующее повышению результативности познавательной деятельности у детей рассматриваемой возрастной группы [17]. Различия в эффективности выполнения напряженных когнитивных заданий, обусловленные уровнем развития общей выносливости, выявлены ранее и нами в отношении школьников 10-11 и 11-12 лет [8, 7].

Данные о том, что качество умственной работы при переходе от автотемпа к нагрузке с максимальной скоростью снижается в обеих типологических группах школьников, находятся в соответствие с концепцией о существовании оптимального для каждого вида деятельности индивидуального уровня активации. Зависимость продуктивности умственной деятельности от уровня активации, как известно, имеет криволинейный характер и выражается в графическом виде в форме U-образной инвертированной кривой [3; 10]. При оптимальном непредельном уровне активации скорость и точность умственной работы у детей наиболее высоки, а по мере приближения к предельной степени напряжения результативность интеллектуальной деятельности существенно падает [7]. По-видимому, дети и подростки с хорошим физическим состоянием достигают оптимального уровня

активации, при котором отмечается самая высокая эффективность интеллектуальной деятельности, на фоне более высокой интенсивности стимуляции и поддерживают его дольше, чем испытуемые с низкой аэробной выносливостью.

Сравнение групп школьников с высокой и низкой двигательной подготовленностью показало, что изменения скорости и точности выполнения когнитивного задания в динамике учебного дня также существенно зависят от уровня общей выносливости. У детей с высокой аэробной производительностью организма количественные и качественные показатели деятельности в течение учебного дня сохранялись на более высоком уровне по сравнению с испытуемыми с низкой двигательной подготовленностью. В настоящее время накоплен весьма обширный фактический материал по проблеме влияния уровня физической работоспособности и двигательной подготовленности на скорость и точность выполнения умственной работы. Результаты этих исследований также свидетельствуют о тесной связи эффективности умственной работы и уровня физического состояния. У школьников с хорошей физической подготовленностью умственная работоспособность не только более высокая, но и более устойчивая [2,1 и др.].

Таким образом, сопоставление показателей «цены деятельности», характеризующих соотношение результативности работы и сопровождающих ее психофизиологических сдвигов показало, что между детьми с высоким и низким уровнем физического состояния отмечаются существенные различия по эффективности реализации напряженной когнитивной деятельности. Используемые показатели эффективности у выносливых школьников были выше, а цена деятельности, соответственно, ниже, чем у детей с недостаточной аэробной подготовленностью.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сопоставление физиологических и субъективных реакций детей 12-13 лет с уровнем их физической пригодности показало, что некоторые аспекты двигательной подготовленности оказывают значимое влияние на эффективность реализации напряженной когнитивной нагрузки. Установлено, что выносливые дети характеризуются повышенной эффективностью деятельности по сравнению со школьниками с недостаточной аэробной подготовленностью. Наиболее значимые различия между рассматриваемыми группами школьников обнаружены в отношении показателей, отражающих соотношение продуктивности работы и ее вегетативного обеспечения при нагрузке с комфортной скоростью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антропова М.В., Бородкина Г.В., Кузнецова Л.М. и др. Умственная работоспособность и состояние здоровья младших школьников, обучающихся по различным педагогическим системам // Физиология человека. – 1998. – Т. 24, № 5. – С. 80-84.
2. Антропова М.В. Реакции основных физиологических систем детей 6-12 лет в процессе адаптации к учебной нагрузке // Физиология человека. – 1983. – № 1. – С. 12-24.
3. Данилова Н.Н. Психофизиология. – М.: Аспект Пресс, 2008. – 373 с.
4. Данилова Н.Н. Функциональные состояния: механизмы и диагностика. – М.: Изд-во МГУ, 1985. – 287 с.

5. Ефимова И.В., Будыко Е.В., Проходовская Р.Ф. Психофизиологические основы здоровья студентов. – Иркутск: Иркут. Ун-т, 2003. – 124 с.
6. Криволапчук И.А. Психофизиологическая цена напряженной информационной нагрузки у детей и подростков 5-14 лет // Физиология человека. – 2008. – Т. 34, № 4. – С. 28-36.
7. Криволапчук И.А., Зайцева Г.А., Чернова М.Б., Баранцев С.А., Полянская Н.В. Уровень выносливости как фактор, детерминирующий психофизиологическую реактивность детей 11-12 лет в условиях информационной нагрузки // Новые исследования. – 2014. – № 4. – С. 59-66.
8. Криволапчук И.А., Чернова М.Б., Баранцев С.А., Мельников Д.В., Полянская Н.В. Функциональное состояние школьников 10-11 лет с высоким и низким уровнем развития общей выносливости // Новые исследования. – 2013. – № 2. – С. 78-85.
9. Леонова А.Б. Психическая надежность профессионала и современные технологии управления стрессом // Вестн. МГУ. Сер.14. – 2007. – №3. – С.69-81.
10. Леонова А.В. Психодиагностика функциональных состояний человека. – М.: Изд-во МГУ, 1984. – 200 с.
11. Медведев В.И. Адаптация человека. – СПб.: Институт мозга РАН, 2003. – 584 с.
12. Меерсон Ф.З., Пшенникова М.Г. Адаптация к стрессорным ситуациям и физическим нагрузкам. – М.: Медицина, 1988. – 256 с.
13. Прихожан А.М. Применение методов прямого оценивания в работе школьного психолога // Научно-методические основы использования в школьной психологической службе конкретных психодиагностических методик: Сб. научн. тр. / Ред. кол.: И.В. Дубровина (отв. ред.) и др. – М.: изд. АПН СССР, 1988. – С. 110-128.
14. Прихожан А.М. Психология тревожности: дошкольный и школьный возраст. – СПб.: Издательство «Питер», 2007. – 192 с.
15. Прохоров А.О. Некоторые особенности психофизиологической реактивности студентов с разным уровнем физической подготовки // Психофизиология спортивной деятельности. – Казань, 1985. – С. 179-187.
16. Собчик Л.Н. Метод цветовых выборов – модификация цветового теста Люшера. – СПб.: Речь, 2006. – 128 с.
17. Crova C., Struzzolino I., Marchetti R., Masci I., Vannozzi G., Forte R., Pesce C. Cognitively challenging physical activity benefits executive function in overweight children // J Sports Sci. – 2014. – 32(3). – P. 201-211.
18. Everly G., Latin J. A Clinical Guide to the Treatment of the Human Stress Response. – Springer, 2013. – 486 p.
19. Lambiase M.J., Barry H.M., Roemmich J.N. Effect of a simulated active commute to school on cardiovascular stress reactivity // Med Sci Sports Exerc. – 2010. – Vol. 42(8). – P. 1609-1616.
20. Voss M.W., Chaddock L., Kim J.S., Vanpatter M., Pontifex M.B., Raine L.B., Cohen N.J., Hillman C.H., Kramer A.F. Aerobic fitness is associated with greater efficiency of the network underlying cognitive control in preadolescent children // Neuroscience. – 2011. – 199. – P.166-176.

ВОЗРАСТНЫЕ И ПОЛОВЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПСИХИЧЕСКОГО ЗДОРОВЬЯ ДЕТЕЙ 12-13 ЛЕТ

Т.М. Параничева¹, Е.В. Тюриня, Л.В. Макарова,
Г.Н. Лукьянец, Г.Н. Лезжова, К.В. Орлов
ФГБНУ «Институт возрастной физиологии
Российской академии образования», Москва

В ходе исследования изучены возрастные и половые особенности психического здоровья детей 12-13 лет, раскрыта специфика проявления тревожности у подростков, а также установлена взаимосвязь с нарушениями нервно-психического здоровья в данный возрастной период. Метод классификационного дерева в виде алгоритма CHAID позволил выделить группы подростков для подбора типовых/индивидуальных ключей воздействия для профилактики дезадаптации.

Ключевые слова: психическое здоровье школьников, тревожность, школьный возраст

Age and sexual characteristics of mental health in 12-13-year-old teenagers. The study examined age and sex characteristics of mental health in teenagers aged 12-13 years old. The paper describes the specifics of anxiety in adolescents, and also shows the correlation with impaired psychological health at this age period. The classification tree method in the form of CHAID algorithm allowed us to select a group of teenagers to be influenced by typical/individual methods of maladjustment prevention.

Keywords: schoolchildren mental health, anxiety, school age.

Подростковым принято считать период от 11 до 16 лет. Этот период обусловлен не только качественными навыками и полезным изменениями в организме подростка и в его окружении, но связан с возникновением специфических состояний, которые играют важную роль в период наибольшего развития, но и являются опасным звеном. Пубертатный период знаменуется бурным психофизиологическим развитием и перестройкой социальной активности ребенка. Мощные сдвиги происходят во всех отраслях жизнедеятельности ребенка, делают этот возраст «переходным» от детства к взрослости [1; 2; 11; 15].

Подростковый возраст богат переживаниями, трудностями и кризисами. В этот период складываются, оформляются устойчивые формы поведения, черты характера, способы эмоционального реагирования; это пора достижений, стремительно наращивания знаний, умений; становление «Я», обретение новой социальной позиции. Вместе с тем, это потеря детского мироощущения, появление чувства тревожности и психологического дискомфорта. Подростковый возраст - это противоречие между стремлением казаться и неумением «быть взрослым». Это противоречие между стремлением к независимости и необходимостью подчиняться указаниям взрослых. 12-13 летний подросток не удовлетворяется, уже своим участием в определенной совокупности дел, решений; у него раскрывается потребность в общественном признании; происходит освоение не только обязан-

Контакты:¹ Параничева Т.М. – E-mail: <t.paranicheva@mail.ru>

ностей, но и главное, прав в семье, обществе, формируется стремление к взрослости не на уровне «я хочу», а на уровне «я могу» и «я должен» [14].

Трудности подросткового возраста связаны с повышенной возбудимостью, с ипохондрическими реакциями, с аффективностью, с острой реакцией на обиду, с повышенной критичностью по отношению к старшим. Если эти особенности не учитывать, то у подростков могут сформироваться устойчивые отклонения в нравственном развитии и поведении. И здесь не маловажно отношения между учителями и ребенком и родителями и ребенком. Так как подростковый возраст - это переходный возраст, переходный период от детства к взрослости, возникают многочисленные конфликты, которые отрицательно влияют на формирование эмоциональной и когнитивной сферы.

Новые неблагоприятные влияния и социальные перемены могут все больше повышать вероятность развития расстройств у детей во все более раннем возрасте [17; 19]. За последние десять-пятнадцать лет произошло значительное ухудшение состояния здоровья детей всех возрастных групп. Ведущее место в структуре функциональных нарушений и хронической патологии стали занимать психические расстройства и расстройства поведения, нарушения и хронические заболевания нервной системы [3; 8].

Результаты многолетних научных исследований [3; 13; 20] свидетельствуют о том, что наиболее выраженный рост распространенности функциональных нарушений и хронических заболеваний нервной системы и психической сферы происходит в период получения детьми систематического образования – при обучении в учреждениях общего среднего, начального и среднего профессионального образования. Это связано как с возрастающей учебной нагрузкой, так и с тем, что на возрастном отрезке от 3 до 18 лет организм ребёнка интенсивно растёт и развивается и с этим этапом совпадает большинство критических периодов онтогенеза.

В процессе жизнедеятельности они постоянно испытывают психоэмоциональное напряжение при резком сокращении продолжительности сна, двигательной активности и времени пребывания на свежем воздухе, не соответствующем возрастным потребностям. Все это снижает общую резистентность растущего организма, способствует формированию различных функциональных отклонений и их переходу в хронические заболевания, приводит к увеличению распространенности пограничных психических расстройств разной степени выраженности и психосоматических нарушений здоровья [5; 11; 16; 17].

В общей структуре детской инвалидности последствия перинатальных поражений центральной нервной системы составляют 36 %. По данным медицинской статистики и результатам профилактических осмотров нервно-психическими нарушениями страдают более половины учащихся массовых школ, причем по отношению к старшеклассникам и учащимся профессиональных училищ этот показатель значительно выше. Среди учащихся школ нового вида (гимназий, лицеев, частных школ) на 20 % чаще, чем в массовых школах, встречаются пограничные нервно-психические нарушения [1; 8]. В динамике обучения в общеобразовательных учреждениях распространенность нервно-психических расстройств существенно возрастает. По данным научных исследований, если среди младших школьников частота указанных расстройств, включая соматоформную дисфункцию вегетативной нервной системы, составляет 480 %, то среди старшеклассников выше почти вдвое – 875 %.

По данным госстатистики, общая заболеваемость детей (по обращаемости) болезнями нервной системы и психическими расстройствами существенно увеличилась за последние 5 лет, причем обращаемость подростков 15-17 лет по поводу указанных заболеваний и расстройств значительно выше, чем детей в возрасте от 0 до 14 лет включительно. Если в 1999 г. суммарный показатель общей заболеваемости детей в возрасте до 15 лет болезнями нервной системы и психическими расстройствами составлял 99,6 %, то в 2003 г. – 110,6 %. Общая заболеваемость старших подростков нервно-психическими расстройствами и хроническими болезнями в 1999 г. составляла 130,3 %, а в 2003 г. – уже 140,8 %.

Данные научных наблюдений показывают, что рост распространенности нервно-психических нарушений в детских и подростковых популяциях происходит в основном за счет, так называемой, малой психиатрии: пограничных невротических и личностных расстройств [5; 6]. При этом, несмотря на огромную потребность в помощи, обращаемость по поводу этих нарушений нервно-психического здоровья к специалистам (неврологу, психиатру, медицинскому психологу) явно недостаточная. Это свидетельствует об отсутствии должного внимания со стороны родителей к невротическим и психическим расстройствам, возникшим у детей, и большой ответственности за своевременное выявление нарушений здоровья и организацию лечебно-профилактической и коррекционной работы, ложащейся на врачей, осуществляющих медицинское обслуживание детского населения.

Клинические проявления пограничных состояний разнообразны по своему происхождению и выраженности. На начальных этапах развития отклонений они предстают в виде отдельных симптомов и даже микросимптоматики. Относительно некоторых из них часто трудно бывает с определенностью сказать являются ли они патологическими или естественными отклонениями от нормы («абсолютной нормы»). Минимальные нарушения нервно-психического здоровья из-за схожести симптоматики донозолологических форм этих расстройств, проблем адаптации и некоторых возрастных и индивидуально-типологических особенностей поведения часто своевременно не распознаются. Однако раннее выявление у детей таких отклонений абсолютно необходимо, т.к. именно пограничные состояния, занимающие промежуточное положение между здоровьем и болезнью, содержат в себе истоки нервно-психической неустойчивости, психосоматических расстройств, психопатологии, психо-социальной дезадаптации, злоупотребления алкоголем, наркотиками, дисгармонии личности. Рассмотрение предпатологических, пограничных состояний в качестве факторов риска тяжелых срывов адаптации и хронических психических заболеваний диктует необходимость выявления этих состояний и получения их характеристик по признакам выраженности, динамики, лабильности или устойчивости, склонности к прогрессированию или исчезновению и т.д. Неприятие своевременных мер коррекции донозолологических отклонений приводит к их отягощению: формируются выраженные формы нарушений нервно-психического здоровья, социального функционирования, непродуктивные и разрушительные формы поведения (аддиктивное, делинквентное, суицидальное) [17; 18; 19].

Подростковую тревожность, как основу эмоциональных расстройств, рассматривают и в качестве преходящего психического состояния, возникающего под воздействием стрессогенных факторов, и как феномен, сопутствующий фрустрации социальных потребностей, и в качестве специфического личностного

свойства. Повышенный уровень тревожности свидетельствует о недостаточной эмоциональной приспособленности ребенка к тем или иным социальным ситуациям. Тревожность - это состояние целесообразного подготовленного повышения внимания сенсорного и моторного напряжения в ситуации возможной опасности, обеспечивающее соответствующую реакцию на страх [16; 18]. Тревожность - очень широко распространенный психологический феномен нашего времени. Она является частым симптомом неврозов и функционального психоза, а также является пусковым механизмом расстройства эмоциональной сферы личности. Значение тревоги как социально - обусловленного фактора было отмечено на одном из первых, ежегодных симпозиумов, проводящихся Американской ассоциацией психологов и психопатологов [4; 7; 9; 10; 13].

В.В. Суворова [12] в своей книге «Психофизиология стресса» определяет тревожность, как психическое состояние внутреннего беспокойства, неуравновешенности и в отличие от страха может быть беспредметной и зависеть от чисто субъективных факторов, приобретающих значение в контексте индивидуального опыта. И относит тревожность к отрицательному комплексу эмоций, в которых доминирует физиологический аспект. А.М. Прихожан [9, 10] определяет тревожность, как устойчивое личностное образование, сохраняющегося на протяжении достаточно длительного периода времени. Она имеет свою побудительную силу и константные формы реализации поведения с преобладанием в последних компенсаторных и защитных проявлениях.

Взаимосвязь между гендерными особенностями и тревожностью, проявляющейся у подростков отражена в научных трудах таких отечественных и зарубежных ученых как К. Гуарда (теория дифференциации эмоций); психоаналитические теории [18; 19; 20]; концепции отечественных психологов [7; 12; 14].

Проблемы в области психического здоровья распределяются неравномерно. Дети, сталкивающиеся с большими социальными и экономическими трудностями, и те, кто живет в более агрессивной, неадекватной и причиняющей очевидный вред среде, сталкиваются с проблемами в области психического здоровья значительно чаще. Многие детские проблемы имеют негативные долговременные последствия для самого ребенка и для общества. Поэтому обеспечение нормального развития нервной системы школьников является одной из важнейших задач в проблеме охраны здоровья подрастающего поколения.

ОРГАНИЗАЦИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

За последние десять-пятнадцать лет произошло значительное ухудшение состояния здоровья детей всех возрастных групп. Ведущее место в структуре функциональных нарушений и хронической патологии стали занимать психические расстройства и расстройства поведения, нарушения и хронические заболевания нервной системы. В связи с этим на данном этапе исследования была поставлена следующая задача: выявить возрастные и половые особенности состояния психического здоровья детей 12-13 лет.

В исследовании приняли участие 487 детей 12-13 лет образовательных учреждений г. Москвы и Московской области, из них 249 мальчиков и 239 девочек. Все исследования проводились с письменного разрешения родителей или опекунов.

Нервно-психическое здоровье - это совокупность характеристик, обеспечивающих динамическое равновесие человека с окружающим миром, и возможность выполнения его социальных функций. Поэтому у каждого конкретного ребенка осуществлялся сбор информации о нарушениях нервно-психического здоровья, о социально-психологической адаптации, включая особенности его самочувствия, самовосприятия и различные поведенческие проявления социального функционирования путем анкетирования и тестирования: школьная тревожность (тест Филлипса); нервно-психическое здоровье оценивалось по анкете ученика и некоторым пунктам анкеты учителя; социально-психологическая адаптация оценивалась по анкете учителя [13]. По всем показателям мы сравнивали статистически между собой группы: 1) возрастные; 2) мальчики с девочками; 3) мальчики с девочками внутри каждой возрастной группы. Это видно по строению наших таблиц. Для каждой характеристики дано две таблицы: в первой - разбивка по возрасту и по полу, раздельно; во второй - разбивка по полу внутри возраста. Числа (средние или проценты), где найдены значимые на двустороннем уровне $p < .05$ различия между группами, выделены с помощью подстрочных латинских букв в соответствии со стандартом, разработанным и рекомендуемым Американской Психологической Ассоциацией (APA) [Publication Manual of the American Psychological Association, 6th edition, 2009]. Согласно этому становящемуся популярным стандарту, если два числа не различаются значимо, они подписаны одной и той же подстрочной буквой, а если различаются, то подписаны разными буквами. Если число подписано несколькими буквами, то это значит, что оно не отличается значимо от нескольких других значений, которые между собой различаются значимо. К примеру, значение, подписанное а,с, не отличается от значений, подписанных а и от значений, подписанных с, в то время как те между собой различаются, т.к. подписаны разными буквами. Для проверки гипотезы о среднем использовался t-критерий, для проверки гипотезы о доле - z-критерий. В случаях иных статистических критериев мы пишем о них прямо в тексте. Проводился дисперсионный анализ и корреляционный анализ.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Школьная тревожность (Тест Филлипса)

Цель теста школьной тревожности Филлипса: анализ общего внутреннего, эмоционального состояния школьника, во многом определяющегося наличием тех или иных тревожных синдромов, их количеством и уровнем. Полученные результаты позволяют анализировать каждый фактор (табл. 1).

Таблица 1

Распределение детей 12-13 лет по уровню тревожности (в %)

| Группирование на основе суммарного балла учащегося, по каждому фактору теста Филлипса% от базы в столбцах | Возраст | | | | | | |
|---|------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | 12 лет | 13 лет | 12 лет | | 13 лет | | |
| | | | Мальчики | Девочки | Мальчики | Девочки | |
| Совокупная тревожность (весь тест) | Нормальная тревожность | 80.1 _а | 81.0 _а | 76.7 _а | 83.6 _а | 84.2 _а | 77.8 _а |
| | Повышенная тревожность | 18.3 _а | 16.9 _а | 20.9 _а | 15.6 _а | 15.0 _а | 18.8 _а |
| | Высокая тревожность | 1.6 _а | 2.1 _а | 2.3 _а | .8 _а | .8 _а | 3.4 _а |

| | | | | | | | |
|---|------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Общая тревожность в школе | Нормальная тревожность | 76.1 _a | 79.7 _a | 77.5 _a | 74.6 _a | 85.0 _a | 74.4 _b |
| | Повышенная тревожность | 17.5 _a | 15.2 _a | 16.3 _a | 18.9 _a | 10.0 _a | 20.5 _b |
| | Высокая тревожность | 6.4 _a | 5.1 _a | 6.2 _a | 6.6 _a | 5.0 _a | 5.1 _a |
| Переживание социального стресса | Нормальная тревожность | 66.1 _a | 68.8 _a | 57.4 _a | 75.4 _b | 68.3 _a | 69.2 _a |
| | Повышенная тревожность | 31.5 _a | 29.1 _a | 39.5 _a | 23.0 _b | 30.0 _a | 28.2 _a |
| | Высокая тревожность | 2.4 _a | 2.1 _a | 3.1 _a | 1.6 _a | 1.7 _a | 2.6 _a |
| Фрустрация в потребности в достижении успеха | Нормальная тревожность | 82.9 _a | 79.7 _a | 79.1 _a | 86.9 _a | 79.2 _a | 80.3 _a |
| | Повышенная тревожность | 15.9 _a | 19.8 _a | 19.4 _a | 12.3 _a | 20.8 _a | 18.8 _a |
| | Высокая тревожность | 1.2 _a | .4 _a | 1.6 _a | .8 _a | .0 ^l | .9 _a |
| Страх самовыражения | Нормальная тревожность | 64.9 _a | 68.4 _a | 67.4 _a | 62.3 _a | 74.2 _a | 62.4 _a |
| | Повышенная тревожность | 13.5 _a | 16.9 _a | 12.4 _a | 14.8 _a | 16.7 _a | 17.1 _a |
| | Высокая тревожность | 21.5 _a | 14.8 _a | 20.2 _a | 23.0 _a | 9.2 _a | 20.5 _b |
| Страх ситуации проверки знаний | Нормальная тревожность | 71.3 _a | 70.5 _a | 74.4 _a | 68.0 _a | 75.8 _a | 65.0 _a |
| | Повышенная тревожность | 12.0 _a | 12.7 _a | 8.5 _a | 15.6 _a | 11.7 _a | 13.7 _a |
| | Высокая тревожность | 16.7 _a | 16.9 _a | 17.1 _a | 16.4 _a | 12.5 _a | 21.4 _a |
| Страх не соответствовать ожиданиям окружающих | Нормальная тревожность | 70.5 _a | 73.0 _a | 68.2 _a | 73.0 _a | 75.8 _a | 70.1 _a |
| | Повышенная тревожность | 15.9 _a | 13.9 _a | 15.5 _a | 16.4 _a | 10.8 _a | 17.1 _a |
| | Высокая тревожность | 13.5 _a | 13.1 _a | 16.3 _a | 10.7 _a | 13.3 _a | 12.8 _a |
| Низкая физиологическая сопротивляемость стрессу | Нормальная тревожность | 79.3 _a | 82.3 _a | 82.9 _a | 75.4 _a | 86.7 _a | 77.8 _a |
| | Повышенная тревожность | 10.4 _a | 10.1 _a | 7.8 _a | 13.1 _a | 6.7 _a | 13.7 _a |
| | Высокая тревожность | 10.4 _a | 7.6 _a | 9.3 _a | 11.5 _a | 6.7 _a | 8.5 _a |
| Проблемы и страхи в отношении с учителями | Нормальная тревожность | 78.5 _a | 74.7 _a | 74.4 _a | 82.8 _a | 79.2 _a | 70.1 _a |
| | Повышенная тревожность | 19.5 _a | 23.6 _a | 23.3 _a | 15.6 _a | 20.8 _a | 26.5 _a |
| | Высокая тревожность | 2.0 _a | 1.7 _a | 2.3 _a | 1.6 _a | .0 ^l | 3.4 _a |
| | N | 251 | 237 | 129 | 122 | 120 | 117 |

Примечание: Здесь и далее. Везде числа, где найдены значимые на двустороннем уровне $p < .05$ различия между группами, выделены с помощью латинских букв

в соответствии со стандартом, разработанным и рекомендуемым Publication Manual of the American Psychological Association, 6th edition, 2009. Согласно этому стандарту, если два значения не различаются значимо, они подписаны одной и той же буквой, а если различаются, то разными буквами. Если значение подписано несколькими буквами, то это значит, что оно не отличается значимо

Как и в предыдущем году среди мальчиков и девочек 12-13 лет ни по одному из факторов тревожности не наблюдается возрастных различий, но имеют место половые различия. У девочек более выражено, чем у мальчиков, проявляется «общая тревожность в школе», «страх самовыражения», «страх ситуации проверки знаний», «низкая физиологическая сопротивляемость стрессу». У мальчиков в большей степени выражено «переживание социального стресса», однако эти различия не достоверны.

Каждый третий-четвертый ребенок 12-13 лет испытывает повышенную и высокую степень тревоги, и связывают это с переживанием социального стресса. Вторая причина тревоги - «страх самовыражения», до 30,0% мальчиков и девочек испытывают высокую степень тревожности. Наиболее значительным фактором, вызывающим отрицательные эмоции у младших подростков, продолжает оставаться школьная жизнь. Тревогу часто испытывают не только двоечники, но и школьники, которые хорошо и даже отлично учатся, ответственно относятся к учебе, общественной жизни, школьной дисциплине. Однако это видимое благополучие достается им неоправданно большой ценой и чревато срывами, особенно при резком усложнении деятельности. У таких школьников отмечаются выраженные вегетативные реакции, невротоподобные и психосоматические нарушения. Тревога в этих случаях часто порождается конфликтностью самооценки, наличием в ней противоречия между высокими притязаниями и достаточно сильной неуверенностью в себе. «Страх ситуации проверки знаний», «Страх не соответствовать ожиданиям окружающих» достигает 30%, причем выражен одинаково сильно и у мальчиков и у девочек 12-13 лет. Подобный конфликт, заставляя этих школьников постоянно добиваться успеха, одновременно мешает им правильно оценить его, порождая чувство постоянной неудовлетворенности, неустойчивости, напряженности. Это ведет к гипертрофии потребности в достижении, к тому, что она приобретает ненасыщаемый характер, следствием чего является отмечаемые учителями и родителями перенапряжение, выражающееся в нарушениях внимания, снижении работоспособности, повышенной утомляемости.

Форма распределения данных и корреляции между факторами теста показаны на рис. 1.

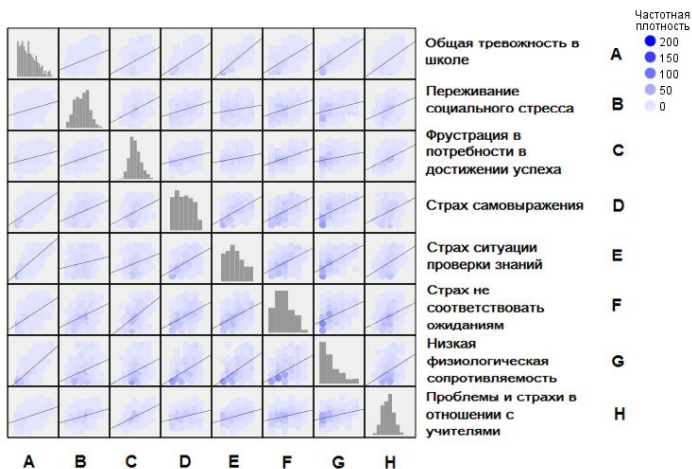


Рис. 1. Матрица диаграмм рассеяния между 8 факторами теста Филлипса.

Наиболее интересны корреляции между факторами, которые не пересекаются составом пунктов теста. Это факторы с D по H (последний, впрочем, имеет один общий пункт с E). Эти корреляции колеблются от 0,33 до 0,55 и все значимы. Очевидно, что факторы теста Филлипса не зависимы друг от друга. Так как фоном выступает общая тревожность (генеральный фактор) между всеми «факторами» теста Филлипса имеется связь. Какова же будет корреляционная картина, если этот фоновый общий фактор «снять»? За общей тревогой попытаемся рассмотреть, существуют ли какие-то разновидности специфически *школьной* тревожности? После корреляции между всеми 58 пунктами теста Филлипса для отбора оптимального количества факторов в факторной структуре проведем анализ главных компонент. Бросается в глаза доминирование 1-й главной компоненты, отвечающей за упомянутое фоновое коррелирование (рис. 2).

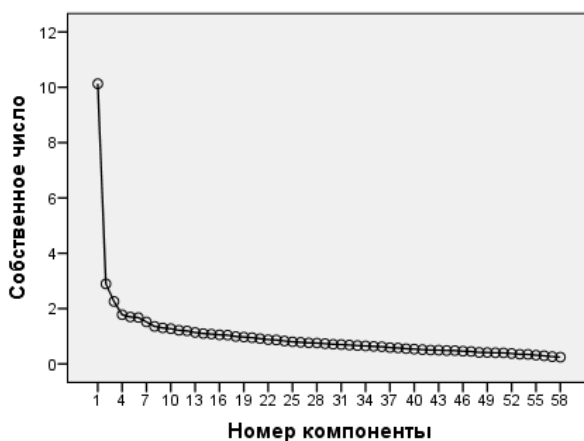


Рис. 2. График (scree-plot) собственных чисел главных компонент 58 пунктов теста Филлипса.

Для определения смещения факторных нагрузок и лучшей интерпретируемости факторов, проигнорировав нагрузки 1-й компоненты, подвергнем варимакс-вращению нагрузки последующих 3-х компонент. Повернутая матрица создает основу для интерпретации факторов:

- Компонента 2 нагружает сильнее пункты 43, 24, 38, 35, 39, 30, 44, 25. Эту компоненту можно понять, как фактор «неуютного самоощущения себя в школе». Он включает в себя как пункты об отношении с одноклассниками, так и пункты об отношении с учителями, и даже оптимизм/пессимизм в отношении своей учебы, одним словом – это атмосфера своей школьной ситуации. Этот же фактор лидировал у детей 10-11 лет.

- Компонента 3 нагружает сильнее пункты 45, 37, 31 и (с обратным знаком) 52, 58, 51. По смыслу пунктов, эту компоненту можно назвать фактором «отмежевания, или белой вороны». Такой ребенок может третироваться одноклассниками и чувствовать личную одинокость, В то же время такой ребенок зачастую хорошо учится, не боится отвечать урок. В прошлые два года в анализе 10-11-леток мы получили довольно сходный фактор и интерпретировали его как отвергнутость одноклассниками. Возможно, мы поспешили с таким толкованием, так как прямых указаний на плохое отношение со стороны одноклассников нет. Скорее всего, можно говорить о некотором негативизме субъекта в отношении одноклассников и нацеленности его на учебный процесс. Поэтому мы осторожно называем этот фактор нейтральным словом «отмежевание».

- Компонента 4 нагружает сильнее пункты 29, 1, 5, 10 и (с обратным знаком) 21, 14, 9, 28. Это тоже коммуникативное размежевание с классом, но для него характерны пункты «трудно держаться на одном уровне с классом» и «считают, что я хочу выслужиться», а также уверенность в благосклонности учителя. Некоторые несильно нагруженные пункты, например 41, 25 и 3, четко позволяют отличить этот фактор от предыдущего и подсказывают интерпретацию «фаворитизм». Т.е. речь идет о позиции повышенной лояльности учителю и его требованиям – вразрез с единением с классом. Этот фактор не выделялся на выборах детей младшего возраста. Подчеркнем еще раз, что кроме этих компонент тревожности есть еще общая, генеральная тревожность, и она в статистическом отношении самая сильная, объясняет львиную долю дисперсии.

Нервно-психическое здоровье

Нервно-психическое здоровье оценивалось нами по анкете ученика и некоторым пунктам анкеты учителя по бальной системе [13]. Средний балл мог быть в диапазоне от 0 до 1, чем выше балл - тем более выражено нарушение. При функциональных расстройствах психической деятельности, возникающих как реакция на значимые психотравмирующие события (конфликты), выявляются разнообразные симптомы, затрагивающие нарушения практически всех познавательных процессов.

Распределение патологий дает представление о достоверном наличии у 80,0% детей в возрасте 12-13 лет хотя бы одного симптома обсессивно-фобических расстройств (ОФР), нарушений вегетативной нервной системы, астенических расстройств, церебральных нарушений, личностные расстройства наблюдаются у более 20,0 % детей, причем независимо от возраста и пола. Лишь 7,0 % детей не имеют нарушений нервно психического здоровья (у мальчиков в большей степени). И у девочек и у мальчиков, одинаково часто выражены нарушения ВНС и обсессивно-фобические расстройства. Возрастные различия также не выражены.

Доказано, что все патологии сопутствуют друг другу, сочетанная патология (2 и более нарушений здоровья у одного ребенка) выявлена у каждого второго из трех детей 12-13 лет (табл.2, рис. 3). Вместе с тем с увеличением возраста уменьшается число сочетанных нарушений, причем в большей степени у мальчиков.

Таблица 2

Распределение нервно-психических синдромов среди детей 12-13 лет (%)

| Нервно психическое здоровье (имеется хотя бы один симптом) | Возраст | | 12 лет | | 13 лет | |
|--|---------|--------|----------|---------|----------|---------|
| | 12 лет | 13 лет | Мальчики | Девочки | Мальчики | Девочки |
| Нарушения вегетативной нервной системы | 78.1a | 77.0a | 74.0a | 82.4a | 77.0a | 76.9a |
| Обсессивно-фобические расстройства (ОФР) | 87.7a | 88.1a | 84.7a | 90.8a | 86.7a | 89.6a |
| Астенические расстройства | 77.7a | 80.3a | 77.3a | 78.2a | 80.0a | 80.6a |
| Депрессивные расстройства | 81.2a | 78.8a | 76.7a | 85.9b | 77.0a | 80.6a |
| Церебрастенические нарушения | 80.1a | 83.3a | 76.7a | 83.8a | 82.2a | 84.3a |
| Личностные расстройства | 21.9a | 20.4a | 26.0a | 17.6a | 20.7a | 20.1a |
| Нет нарушений | 7.2a | 7.4a | 10.0a | 4.2a | 9.6a | 5.2a |
| N | 292 | 269 | 150 | 142 | 135 | 134 |

Примечание: см. табл. 1.



Рис. 3. Матрица диаграмм рассеяния между рубриками нервно-психических нарушений.

Связь между большинством рубрик довольно высока (выше 0,8, а между астеническими и церебрастеническими нарушениями даже выше 0,9). Лишь «Личностные расстройства» относительно слабо связаны с остальными. Это говорит о том, что ученик и учитель оценивают проявления по-разному, так как фактор «Личностные расстройства» целиком состоит из пунктов анкеты учителя (т.е. ребенка оценивал учитель, а не ребенок сам себя). Все это может говорить о некомпетентности педагогов в вопросах функционального развития и здоровья детей.

Социально-психологическая адаптация

Именно в детстве, чем в другие возрастные периоды проблемы психического здоровья напрямую связаны с нравственной атмосферой, которая существует в школе, ее стандартам как социального учреждения и характером взаимоотношений между ее сотрудниками и детьми. Социально-психологическая адаптация оценивалась по анкете учителя, психологическая диагностика была направлена на изучение степени и особенностей приспособления детей к новой социальной ситуации. Анализ показателей позволил выявить детей, неуверенных в себе, нуждающихся в психологической помощи. Анализ показывает, что адаптация протекает у 12-летних и 13-летних детей аналогично, но у мальчиков (особенно 12 лет) тяжелее, чем у девочек, что проявляется в поведенческих реакциях (табл. 3).

Таблица 3

Распределение детей 12-13 лет по социально - психологической дезадаптации (%)

| % от базы в столбцах | | Возраст | | 12 лет | | 13 лет | |
|---|--|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | | 12 лет | 13 лет | Мальчики | Девочки | Мальчики | Девочки |
| Социально-психологическая дезадаптация (имеется хотя бы один симптом) | Учебная дезадаптация | 50.6 _а | 47.6 _а | 55.6 _а | 44.9 _а | 36.8 _б | 36.8 _б |
| | Поведенческая дезадаптация | 31.9 _а | 28.6 _а | 42.9 _а | 19.5 _б | 18.4 _б | 18.4 _б |
| | Специфические подростковые поведенческие реакции | 14.7 _а | 14.9 _а | 19.5 _а | 9.3 _б | 11.2 _а | 11.2 _а |
| | Девиантное поведение, риск делинквентности | 12.0 _а | 10.1 _а | 18.8 _а | 4.2 _б | 4.0 _б | 4.0 _б |
| | Коммуникативная дезадаптация | 25.9 _а | 24.6 _а | 31.6 _а | 19.5 _б | 19.2 _б | 19.2 _б |
| | Эмоциональное неблагополучие | 40.2 _а | 36.3 _а | 42.9 _а | 37.3 _а | 28.8 _б | 28.8 _б |
| | Нет нарушений | 29.1 _а | 36.3 _а | 27.1 _а | 31.4 _а | 44.8 _б | 44.8 _б |
| N | | 251 | 248 | 133 | 118 | 125 | 125 |

Анализ всех полученных данных, обнаруживает сильную связь (мера связи – косинус) между коммуникативной дезадаптацией и эмоциональным неблагополучием, т.е. по мнению учителя – это почти одно и то же.

Следующая таблица (табл. 4) имеет практическую направленность, она показывает процент детей, имеющих дезадаптацию того или иного рода достаточно выраженную, чтобы на нее обратить внимание и предложить консультирование у специалиста. «Достаточно выраженная» это дезадаптация с числом отмеченных признаков в анкете, превышающим порог (порог для учебной дезадаптации – 2 пункта из 6, для поведенческой дезадаптации – 2 пункта из 12, для специфических подростковых реакций – 4 пункта из 6, для девиантного поведения – 1 пункт из 5, для коммуникативной дезадаптации – 2 пункта из 5, для эмоциональной дезадаптации – 2 пункта из 5). Кроме шести рубрик дезадаптации, добавлена седьмая, полиморфная дезадаптированность – это когда хотя бы один пункт отмечен в

каждой из рубрик. Если индивид не проходит ни в одну из этих семи категорий видов дезадаптации по обозначенным порогам, он считается не нуждающимся во внимании специалиста.

Таблица 4

Учащиеся 12-13 лет, нуждающиеся в консультации (%)

| % от базы в столбцах | | Возраст | | | | | |
|---|---|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | | 12 лет | 13 лет | 12 лет | | 13 лет | |
| | | | | Мальчики | Девочки | Мальчики | Девочки |
| Выраженная социально-психологическая дезадаптация | Учебная дезадаптация | 33.1 _а | 33.1 _а | 40.6 _а | 24.6 _б | 45.5 _а | 20.8 _б |
| | Поведенческая дезадаптация | 19.1 _а | 15.7 _а | 30.1 _а | 6.8 _б | 25.2 _а | 6.4 _б |
| | Специфические подростковые поведенческие реакции | .0 ¹ | .8 _а | .0 ¹ | .0 ¹ | .8 _а | .8 _а |
| | Девиантное поведение, риск делинквентности | 12.0 _а | 10.1 _а | 18.8 _а | 4.2 _б | 16.3 _а | 4.0 _б |
| | Коммуникативная дезадаптация | 12.0 _а | 11.7 _а | 15.0 _а | 8.5 _а | 13.8 _а | 9.6 _а |
| | Эмоциональное неблагополучие | 15.9 _а | 18.1 _а | 16.5 _а | 15.3 _а | 22.0 _а | 14.4 _а |
| | Полиморфная дезадаптация | 5.6 _а | 4.0 _а | 9.0 _а | 1.7 _б | 5.7 _а | 2.4 _а |
| | Не нуждается во внимании (адаптирован или слабо дезадаптирован) | 55.0 _а | 56.5 _а | 47.4 _а | 63.6 _б | 45.5 _а | 67.2 _б |
| N | | 251 | 248 | 133 | 118 | 123 | 125 |

Во внимании специалиста нуждается почти половина детей. Лидирует учебная дезадаптация, где во внимании нуждается треть детей, особенно мальчики исследуемого возраста. Полиморфная дезадаптированность отмечается примерно у 5% учащихся.

Связь между тревожностью по Филлипсу, нервно-психическим здоровьем и социально-психологической адаптацией

Изучим связь между тремя наборами переменных: 1) факторами тревожности по Филлипсу, 2) нарушениями нервно-психического здоровья, 3) факторами социально-психологической адаптации, исключив повторение одних и тех же пунктов в разных факторах. Выборку этого анализа составили 394 человека. Для уточнения связи пограничных неврологических расстройств и психосоциальной адаптацией школьников был проведен нелинейный анализ канонических корреляций (OVERALS). Этот анализ конструирует латентные (скрытые) переменные, называемые каноническими измерениями, за счет которых целые наборы переменных (а не единичные переменные) коррелируют друг с другом. В нашем анализе мы использовали порядковую квантификацию (количественное выражение разнокачественных явлений, признаков), входящих данных и остановились на выделении двух канонических измерений. Нагрузки входящих переменных трех наборов на эти измерения – т.е. корреляции их с измерениями – показаны в таблице 5; большие нагрузки выделены.

Таблица 5

*Корреляции между тревожностью по Филлипу,
нервно-психическим здоровьем и социально-психологической адаптацией*

| | Тесты | Пункты | Измерение | |
|-------------------|--|---|-------------|-------------|
| | | | 1 | 2 |
| Наборы переменных | Тревожность (Филлипс) | Страх самовыражения | .697 | -.055 |
| | | Страх ситуации проверки знаний | .466 | .140 |
| | | Страх не соответствовать ожиданиям окружающих | .680 | .063 |
| | | Низкая физиологическая сопротивляемость стрессу | .545 | .411 |
| | | Проблемы и страхи в отношении с учителями | .210 | .687 |
| | Нервно-психическое здоровье (анкета ученика + некоторые пункты анкеты учителя) | Нарушения вегетативной нервной системы | .236 | .804 |
| | | Обсессивно-фобические расстройства | .630 | .245 |
| | | Астенические расстройства | .545 | .109 |
| | | Депрессивные расстройства | .699 | .042 |
| | Социально-психологическая адаптация (анкета учителя) | Учебная дезадаптация | .445 | -.002 |
| | | Поведенческая дезадаптация | .266 | -.270 |
| | | Коммуникативная дезадаптация | .411 | -.245 |

Измерение 1 ответственно за 55 % коррелированности между тремя наборами (каноническая корреляция = .41). Измерение 1 образует корреляцию между показателями «*Страх ситуации проверки знаний*» + «*Страх самовыражения*» + «*Страх не соответствовать ожиданиям окружающих*» из теста Филлипса с показателями «*Обсессивно-фобические расстройства*» + «*Астенические расстройства*» + «*Депрессивные расстройства*» из анкеты нервно-психического здоровья и с показателями «*Коммуникативная дезадаптация*» + «*Учебная дезадаптация*» из анкеты социально-психологической адаптации. (Это означает, что если мы опросим учителя, и он даст ребенку высокий балл по коммуникативной дезадаптации, то, скорее всего у этого ребенка в тесте Филлипса будет присутствовать повышенный страх проверки знаний, соответствия ожиданиям, а в анкете нервно-психического здоровья, вероятно, будет стоять высокий балл по обсессивно-фобическим расстройствам, либо по депрессивным расстройствам.) Измерение 1 можно условно обозначить как *внутренние психологические проблемы*. Конечно, данное измерение не следует о веществовать как объективно существующее психологическое свойство. Просто это то, как разные оценщики видят. То, что для ребенка в самовосприятии выглядит как депрессивность или навязчивости/фобии, в глазах классного руководителя, оценивающего этого ребенка, выглядит как дезадаптация общения, а при ответе этим ребенком на тест Филлипса уточняется: депрессии и навязчивости/фобии связаны, прежде всего, с ситуацией проверки знаний, самовыражения и ожидания окружающих.

Измерение 2 ответственно за 45% коррелированности между тремя наборами (каноническая корреляция = .25). Измерение 2 образует корреляцию между показателями «Проблемы и страхи в отношении с учителями» + «Низкая физиологическая сопротивляемость стрессу» + в некоторой мере «Страх самовыражения» из теста Филлипса с «Нарушения вегетативной нервной системы» из анкеты нервно-психического здоровья. Измерение 2 можно условно обозначить как *психофизиологическая стрессо-неустойчивость*. Если решиться придать этому измерению статус реального свойства, тогда можно сказать: «существует свойство психофизиологическая стрессо-неустойчивость, которое понуждает ребенка в тесте Филлипса пометать пункты, говорящие о страхе самовыражения, либо о низкой физиологической сопротивляемости, а в анкете нервно-психического здоровья пометать пункты, говорящие о нарушении ВНС. Третий набор – Социально-психологическая адаптация, по оценке учителя, – практически не участвует в этом измерении.

Чтобы проверить связь разных характеристик с этими двумя измерениями были вычислены значения канонических измерений для каждого из 394 протестированных детей. Было обнаружено одно статистически значимое различие (t-критерий Стьюдента) между группами детей, эти различия касались Измерения 2. Психо-физиологическая стрессо-неустойчивость выше у девочек, чем у мальчиков ($p < .001$).

Для иерархической сегментации выборки на группы, контрастные по учебной дезадаптированности был использован метод классификационного дерева в виде алгоритма CHAID (Chi-square Automatic Interaction Detector) – алгоритм построения деревьев решений, который позволяет понять, в какой группе респондентов интересующий нас признак принимает максимальное значение. Практическая полезность такой иерархической сегментации в том, что выделенные сегменты - это потенциальные целевые группы для каких-то мер по оптимизации зависимого признака в этих группах, и меры могут быть разными в разных сегментах. В качестве зависимого признака принята «Учебная дезадаптация» (из анкеты учителя «Социально-психологическая адаптация подростка»), чтобы выяснить - выражен он (т.е. нуждается ли в коррекционном внимании подросток) или же слаб/отсутствует. В качестве независимых, классифицирующих переменных выступают, во - первых, остальные шесть классов социально-психологической дезадаптации плюс еще класс «полиморфная дезадаптированность» (все эти переменные также со значением «выражено» против «слабо/отсутствует»), во-вторых, восемь факторов школьной тревожности Филлипса (в категоризованном виде: со значениями нормальная тревожность против повышенная тревожность, против высокая тревожность), в третьих, фактор пол. Полученное классификационное дерево показано ниже (рис.4).

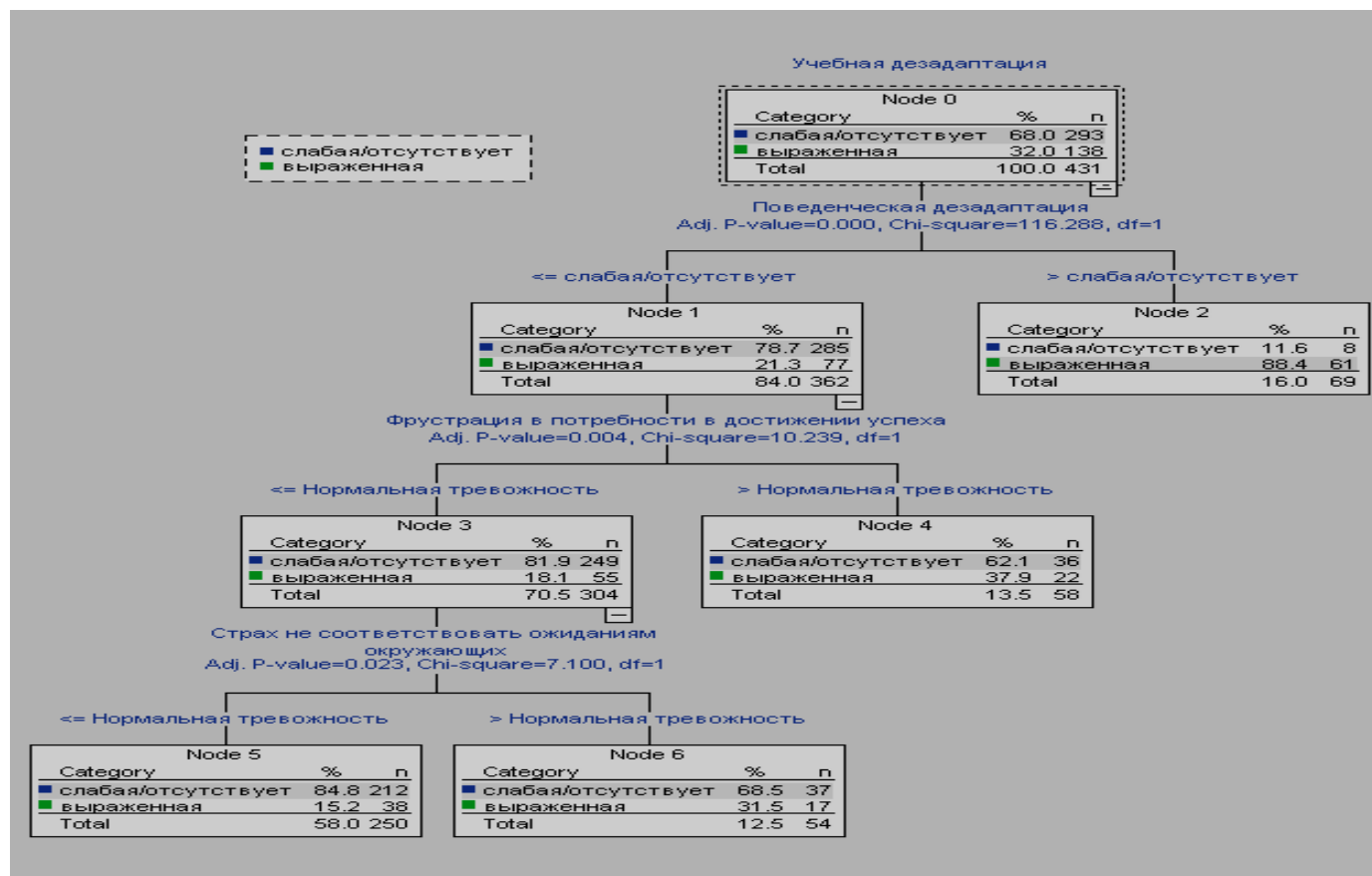


Рис. 4. Классификационное дерево, сегментирующее подростков на контрастные по учебной дезадаптированности группы.

Вся выборка (в которой учебно дезадаптированных 32 %) в первую очередь разбилась на две группы по степени *«поведенческой дезадаптированности»* – именно от нее сильнее всего зависит учебная дезадаптация. В одной из этих двух групп – с выраженной поведенческой дезадаптированностью – процент учебно дезадаптированных 88,4 %, тогда как в другой – с отсутствующей/слабой поведенческой дезадаптированностью – процент учебно дезадаптированных всего 21,3 %.

В свою очередь эта вторая группа разделилась на 2 подгруппы. Определяющим признаком выступила степень *«фрустрации в потребности в достижении успеха»*. Подгруппа с повышенной или высокой тревогой содержит в себе 37,9 % учебно дезадаптированных, а подгруппа с нормальной тревогой содержит только 18,1 % учебно дезадаптированных. Наконец, эта последняя подгруппа раздробилась на две дальнейшие подгруппы – по выраженности *«страха не соответствовать ожиданиям окружающих»*: в подгруппе с повышенным или высоким страхом процент учебно дезадаптированных – 31,5%, тогда как в подгруппе с нормальным страхом – 15,2%.

Данная классификация может иметь практическое значение, так как она позволяет подобрать типовые/индивидуальные ключи воздействия.

ВЫВОДЫ

1. Тревожность имеет возрастную специфику: эти возрастные пики тревожности являются следствием наиболее значимых, социогенных потребностей. Так, в подростковом возрасте, который является переходным, кризисным, сенситивным, наиболее значимыми являются отношения со сверстниками, кризисы идентичности, авторитетов, синдром деперсонализации, конфликты самооценки.

2. Во внимании специалиста нуждается почти половина детей. Лидирует учебная дезадаптация, где во внимании нуждается треть детей, особенно мальчики исследуемого возраста.

3. Одним из главных факторов патологического воздействия является учебная деятельность: во внимании нуждается треть детей, особенно мальчики исследуемого возраста. От 10 к 13 годам возрастает число случаев высокой тревожности по следующим факторам *«Страх самовыражения»* и *«Проблемы и страхи в отношении с учителями»*. Каждый четвертый ребенок 12-13 лет испытывает повышенную и высокую степень тревоги, и связывают это с переживанием социального стресса. Половые различия не достоверны, однако у девочек чаще, чем у мальчиков, проявляется *«общая тревожность в школе»*, *«страх самовыражения»*, *«страх ситуации проверки знаний»*, *«низкая физиологическая сопротивляемость стрессу»*, а у мальчиков в большей степени выражено *«переживание социального стресса»*.

4. Корреляция между факторами теста Филлипса показала, что общая, генеральная тревожность объясняет львиную долю дисперсии, вместе с тем на 2 и 3 место выходят разновидности школьной тревожности - фактор *«неуютного самоощущения себя в школе»* и *«коммуникативное размежевание с классом»*.

5. Лишь 7,0 % детей не имеют нарушений нервно психического здоровья. Доказано, что все патологии сопутствуют друг другу, сочетанная патология (2 и более нарушений здоровья у одного ребенка) выявлена у каждого второго из трех детей 11-12 лет.

6. Обращает на себя внимание сильная связь между коммуникативной дезадаптацией и эмоциональным неблагополучием.

7. Связь между тремя наборами переменных: 1) факторами тревожности по Филлипсу, 2) рубриками нервно-психического здоровья, 3) рубриками социально-психологической адаптации показала, что стрессоустойчивость ниже у детей, имеющих те или иные нарушения нервной системы, и у девочек ниже, чем у мальчиков ($p < .001$).

8. Сегментация выборки на группы, контрастные по учебной дезадаптированности, позволила выделить подростков, обладающих тем или иным общим признаком, что имеет практическое значение, при подборе типовых/индивидуальных ключей воздействия для профилактики дезадаптации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александровский Ю.А. Пограничные психические расстройства. – М.: Литтерра, 2010. – 363 с.

2. Антропов Ю.Ф. Терапия психосоматических расстройств у детей. – М.:Триада-фарм, 2003. – 241 с.

3. Антропова М.В., Параничева Т.М. и др. Факторы риска и состояние здоровья учащихся // Здоровоохранение Российской Федерации. – 1997. – № 3. – С. 29-33.

4. Астапов В.М. Функциональный подход к изучению состояния тревоги // Психологический журнал. – 2002. – № 5. – С. 111-117.

5. Венар Ч, Кериг П. Психопатология развития детского и подросткового возраста: Пер. с англ. – Ст-Петербург: Прайм-Еврознак, 2004. – 384 с.

6. Иванов Е.С. Астения как одна из причин неуспеваемости детей в школе // Психология детей с нарушениями и отклонениями психического развития. – СПб., 2002. – С. 375-379.

7. Мэй Р. Проблема тревоги. – М., 2001.

8. Параничева Т.М., Л.В. Макарова, Е.В. Тюрина и др. Возрастные и половые особенности здоровья школьников 11-12 лет г. Москвы // Новые исследования. – 2015. – № 2. – С. 62-70.

9. Прихожан А. М. Причины, профилактика и преодоление тревожности // Психологическая наука и образование. – 1998. – № 2. – С. 11-17.

10. Прихожан А. М. Тревожность у детей и подростков: психологическая природа и возрастная динамика. – М., 2000. – С. 179.

11. Ремшмидт. Х. Подростковый и юношеский возраст. Проблемы становления личности. – М. 1994.

12. Суворова В.В. Психофизиология стресса. – М., 1975.

13. Кочубей Б. Детские тревоги: что, откуда, почему? // Семья и школа. – 1988. – № 7.)

14. Фельдштейн. Д.И. Проблемы возрастной и педагогической психологии. – М., 1995.

15. Школа и психическое здоровье учащихся // Под редакцией С.М. Громбаха. – М.: Медицина, 1988. – 272 с.

16. Bourrilon A., Arsan A. Childhood fatigue // Arch. Pediatr. – 2002. – V. 9. – P. 203-207.

17. Bouras, N. (Ed.). (1999). Psychiatric and behavioural disorders in developmental disabilities and mental retardation. – New York: Cambridge University Press.
18. Gelfand, D. M., & Hartmann, D. P. (1984). Child behavior analysis and therapy (2nd ed.). – New York: Pergamon Press.
19. Levine, M., & Levine, A. (1992). Helping children: A social history. New York: Oxford University Press
20. Weisberg R.B. Overview of generalized anxiety disorder: epidemiology, presentation, and course // J Clin Psychiat. – 2009. – № 70: 2. – C.4-9.

СЛОЖНОСТЬ ОБРАБОТКИ ОБРАЗОВ В УСЛОВИЯХ ЗРИТЕЛЬНОГО ПОИСКА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЭЛЕМЕН- ТОВ, СОСТАВЛЯЮЩИХ ЦЕЛОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ

А.В. Хрянин¹, М.М. Безруких
ФГБНУ «Институт возрастной физиологии»
Российской академии образования, Москва

Целью настоящего исследования являлось изучение сложности обработки зрительных образов в зависимости от составляющих их элементов. В психофизиологическом эксперименте 13 взрослых испытуемых решали зрительно-пространственные задания, в которых требовалось найти идентичное эталону целевое изображение среди сходных изображений-дистракторов. В качестве стимулов использовались геометрические фигуры и китайские иероглифы. Регистрировались время ответа и количество ошибок для каждого типа заданий и для каждого отдельного стимула. Полученные результаты позволяют выделить критерии для категоризации зрительных стимулов и их ранжирования по уровню сложности.

Ключевые слова: сложность зрительно-пространственных заданий, фигуры, иероглифы, целевые изображения, дистракторы.

Difficulty of the visual processing during visual search in match-to-sample tasks. We studied the peculiarities of processing visual images in the visual search tasks depending on the elements constituting the whole image. The total of 13 healthy adults participated in the psychophysiological experiment and performed a visuospatial task. The task consisted in matching the series of 5 stimuli simultaneously shown on the screen to the target one. The stimuli were specially designed as complex geometrical objects and Chinese characters. The results showed the influence of the visual object complexity on the reaction time and error rates. Thus, we determined the categorization criteria for the arrangement of the task difficulty.

Keywords: visuospatial task difficulty, visual objects, Chinese characters, visual search, distractors, match-to-sample task.

Зрительному восприятию принадлежит главная роль во взаимодействии человека с окружающим миром. Зрительная перцепция и связанные с ней когнитивные процессы дают возможность человеку оптимально адаптироваться во внешней среде, обеспечивают целесообразное поведение человека. В меняющемся зрительном мире необходимым условием эффективного взаимодействия с ним является быстрота анализа и интерпретации изображений, которые в большинстве случаев появляются одновременно или быстро сменяют друг друга. Обработка зрительной информации обязательно требует зрительно-пространственных операций, в результате которых даётся правильная оценка взаимного расположения объектов в окружающем пространстве. Сложная многоуровневая зрительная система с высокой скоростью и эффективностью производит анализ целостного образа, его формы, ориентации в пространстве, взаимного расположение его отдельных элементов. При этом происходит дифференцировка сходных объектов,

Контакты: ¹ Хрянин А.В. – E-mail:< khrianin@mail.ru>

выделение их из зрительного шума. Часто один предмет загромождаётся другим, и его образ мысленно собирается из разрозненных деталей.

Важно отметить, что в литературе нет чёткого определения сложности воспринимаемого образа, как нет и единых подходов к его оценке. Практически все образы являются сложными.

Вопрос о сложности изображений возникал ещё в прошлом веке. Было доказано, что при одинаковом размере буквы, состоящие из большего количества линий, опознаются хуже [35; 43]. Более сложными с тех пор стали считаться объекты, имеющие в своём составе большее количество штрихов и линий. Также при оценке сложности учитывалось количество пересечений линий, углов и т.п. [46].

Согласно В.Д. Глезеру [5] зрительный образ описывается набором сложных признаков. По мнению ряда авторов, сложные признаки определяются как сочетания двух и более простых в случае корреляционных связей между ними. [31; 37; 40]. Приводятся доказательства существования в мозге специализированных структур, ответственных за выделение именно сложных объектов, а не текстур – набора некогерентных простых признаков, например, отрезков линий. От степени когерентности локальных простых признаков зависит, воспринимается изображение как глобальная форма или нет [28].

Традиционно изображениями различной сложности считаются иероглифы [7]. В.М. Бондарко с соавторами [4; 14] использовали математические методы оценки сложности изображения, выбрав в качестве стимулов китайские иероглифы, сильно отличающиеся по количеству элементов и спектральному составу. Субъективная оценка сложности определялась путём расположения испытуемыми, не знающими семантики предъявляемых символов, иероглифов в порядке возрастания сложности.

Анализ частотных характеристик осуществлялся с использованием рядов Фурье. При этом была показана важность окружающего фона для восприятия изображения. Оценка пространственно-частотных характеристик изображений представляла сложность, связанную с тем, что зрительная система обладает свойством инвариантности при изменении размеров изображений в определённых пределах. Характеристиками для вычисления сложности авторами также были выбраны площадь, занимаемая элементами иероглифа, и периметр изображения.

В более ранних работах было высказано предположение о том, что сложность объектов определяется количеством признаков в субъективном пространстве, с помощью которых данный объект может быть описан зрительной системой [8]. Вопрос о сущности этих признаков до сих пор остаётся открытым.

При учёте только спектральной составляющей, например, у изображения прямоугольной решётки, амплитудный спектр будет шире при меньшем количестве полос, чем в случае большего их числа, при одинаковой ширине. То есть при учёте только спектральных характеристик более сложной оказывается решётка с меньшим числом полос. Однако субъективно такая решётка никогда не будет более сложной. Изображение, составленное из тех же полос, что и решётка, но имеющих разную пространственную ориентацию, наблюдатель всегда назовёт более сложным. При одинаковых площади и периметре спектр сложнее у различно ориентированных полос, чем у регулярной решётки. Это свидетельствует о необходимости комплексного подхода к оценке сложности изображений, так как площадь, периметр и пространственно-частотные характеристики вносят независимые вклады в восприятие образа и оценку его сложности.

Двойственный характер оценки сложности изображений имеет физиологический смысл, так как соответствует представлениям об обработке образов зрительной системой, которая включает механизмы, оперирующие как пространственными, так и пространственно-частотными характеристиками. Известно, что рецептивные поля стриарной коры могут выделять полосы, края, углы и пересечения линий [21], а также оценивать пространственно-частотные характеристики. При этом более сложными являются объекты, на которые реагируют большее число пространственно-частотных каналов [6; 30].

Увеличение минимальных размеров чёткого видения изображений усложняет их восприятие, что соответствует согласованному функционированию различных уровней зрительной системы. Однако наблюдалась также следующая закономерность. Иероглифы не очень большого размера, необходимого для его чёткого видения, но имеющие в своём составе несколько оформленных изображений, воспринимались, как более сложные из-за усложнения спектра всей фигуры.

На оценке сложности сказывается также сходство составляющих иероглиф элементов со знакомыми по зрительному опыту объектами.

Составными элементами видимых предметов являются простые зрительные стимулы (линии, их пересечения, У-образные соединения). Ряд данных указывает на то, что человек и многие животные лучше воспринимают вертикально или горизонтально ориентированные контуры, чем наклонные. Данное явление получило название «эффект промежуточных ориентаций» [22; 33]. Так при анализе фотографий различных объектов окружающего мира установлена большая представленность линий вертикальной и горизонтальной ориентаций по сравнению с наклонными во всех изображениях [45].

На основе результатов психофизиологических исследований Бидерман (1987) описывает зрительное восприятие как последовательность операций, начинающихся с низкоуровневых стадий выделения локальных характеристик образа (контуров, границ) до высокоуровневых, во время которых выполняется опознание путем сравнения входящей зрительной информации с хранящимися в памяти образами объектов.

Согласно теории Бидермана любой сложный трёхмерный предмет может быть разложен на ряд элементарных компонентов – геометрических модулей, или геонов («геометрических ионов»). Выделяется около 24 геонов, различные комбинации которых могут образовать объект практически любой формы. По мнению автора, независимо от того, под каким углом зрения рассматривать геоны, они легко отличимы друг от друга и не подвержены никаким зрительным искажениям. Исходя из данного предположения, можно говорить о наличии в любом объёмном предмете перцептивных структурных единиц («строительных блоков»). При таком покомпонентном опознании человек раскладывает образ предмета на элементарные геоны и выявляет их взаимное расположение. Например, цилиндрический геон с дугой наверху воспринимается как ведро, а с дугой сбоку – как чашка. Если данная теория соответствует действительности, что объект узнаётся легче, если включает большее количество геонов. Такие сложные объекты, как самолёт или слон, человек должен опознавать лучше, чем простые, вроде чашки или лампы. Предмет также может быть правильно идентифицирован, если в изображении присутствуют лишь некоторые из его геонов.

С одной стороны, такой подход является экономичным, поскольку трактует перцептивный процесс как операции с ограниченным набором базовых форм. С

другой стороны, объясняя способность различать предметы, относящиеся к разным категориям (например, отличать слонов от самолётов), эта концепция не раскрывает суть дифференцировки предметов одного класса, состоящих из одних и тех же геон (например, лошадь от большой собаки).

Д. Канеман [9], опираясь на эксперименты Дж. Бека [24], указывает на то, что обнаружение сходства и различий между элементами, одновременно предъявляемых в поле зрения лежит в основе группирования при восприятии целостного образа. Группирование объектов при восприятии обеспечивается их объединением, при котором одна группа чётко отделяется от другой. Такая перцептивная сегментация называется сегментацией. Группирование и сегментация образуют две стороны общего процесса фигуру-фоновое выделение [42].

Основные принципы группирования и сегментации находят отражение в фреймворковой модели зрительных перцептивных процессов, описываемых векторным кодированием [18].

Традиционные теоретические представления о прямой или восходящей обработке зрительной информации разработаны Д. Марром [38; 39]. В основе данной модели лежит разделение обработки образа в зрительной системе на последовательные этапы, от более простых через промежуточные к более сложным. Чем ниже уровень корковой иерархии, тем более элементарные признаки образа выделяются и анализируются в этой области коры.

Д. Марр применил к описанию механизмов обработки зрительной информации информационный подход, согласно которому в зрительной системе происходит анализ изображения и извлечение из него информации по тому же принципу, что и при решении сложных задач в памяти компьютера. В основе этого принципа лежит возможность раскладывать целый образ на составляющие элементы. Формированию данной гипотезы способствовало компьютерное моделирование зрительной системы в момент распознавания ею объекта. Информационный подход делает попытки проследить весь процесс зрительного распознавания от спроецированного на сетчатку изображения до активного узнавания предмета наблюдателем. Начальным этапом решения такой сложной задачи, как распознавание объекта в зрительной системе является дробление этой задачи на ряд последовательно выполняемых стадий, или операций. Результаты обработки информации, получаемые на каждой предыдущей стадии, являются исходными данными для последующих операций, и этот процесс продолжается, пока не будет достигнуто окончательное решение перцептивной задачи.

Достаточно часто физические («объективные») параметры одних и тех же объектов не совпадают с воспринимаемыми («субъективными»), что чётко проявляется на примере зрительных иллюзий восприятия контуров.

В ряде исследований отмечается роль восприятия углов при опознании изображений. Так при удалении из изображения углов трёхмерные и двухмерные фигуры определялись сложнее и медленнее, чем при удалении сторон [15].

В работе Бидермана [26] показана роль вершин по сравнению со сторонами в опознании изображений привычных предметов (самолёт, чашка и др.). Однако в данных экспериментах стороны, как правило, являлись кривыми, что усложняет сравнительную интерпретацию полученных результатов.

В литературе широко обсуждается влияние маскировки на опознание образов. Данные психофизиологических экспериментов свидетельствуют о том, что при опознании фигур максимальным маскирующим эффектом обладают сложные фи-

гуры, включающие в себя весь тестовый образ или его характерные признаки, а также фигуры, отличающиеся от теста только положением в поле зрения [10, 11, 23, 36].

В экспериментах Е. С. Михайловой и соавторов [13] изучалось сопоставление эффектов прямой зрительной маскировки простых и сложных изображений маскирующими стимулами разных уровней сложности. В качестве простых изображений были использованы отрезки горизонтальных и вертикальных линий и их пересечения (углы и кресты), а сложными – являлись контурные рисунки объектов окружающей среды. Результаты данных исследований выявили, что в условиях прямой маскировки снижается точность и увеличивается время опознание простых и сложных изображений. При этом большим маскирующим эффектом обладает изображение, которое по уровню сложности близко к опознаваемым тестовым стимулам, а максимальным этот эффект был в случаях совпадения целевых изображений с маскирующими. Опознание сложных форм оказывается более устойчивым к влиянию маскировки, чем опознание простых изображений.

Считают, что в основе подобных маскирующих влияний на зрительное опознание лежит эффект латерального торможения [12, 32].

Интересно, что сходство тестового и маркирующего стимула не всегда ограничивается только характеристиками формы. Есть данные о влиянии на маскирующий эффект совпадения релевантных характеристик опознаваемого и маскирующего стимулов (например, расовой принадлежности, пола или эмоционального выражения лица, цвета фигуры), что свидетельствует о более сложных, не ограниченных представительством в одной корковой области отношениях между стимулом и маской [29].

В организации маскирующего эффекта, помимо латерального торможения, вероятно, участвуют механизмы кратковременной оперативной памяти. На это указывает резкое затруднение опознания в ситуации, когда тестовое изображение маскируется ему подобным. Так в опытах Е. С. Михайловой и соавторов [13] необходимость правильно опознать одно из четырёх изображений, репрезентации которых находились в рабочей памяти, в условиях маскировки другим изображением из этого же набора стимулов, создавала существенные затруднения, выражавшиеся в резком снижении числа правильных ответов и увеличении времени реакции.

Еще одним механизмом, маскирующего эффекта является снижение возбудимости нейронов зрительной коры в результате развития тормозной фазы цикла возбудимости после маскирующего стимула [20, 23, 41]. Ухудшающий опознание эффект прямой зрительной маскировки обусловлен тем, что восприятие тестового стимула происходит на фоне продолжающихся процессов обработки маскирующего. В частности, есть данные, что в этих условиях в затылочной коре мозга человека подавляются ранние компоненты ВП, что может свидетельствовать о неполноценной обработке зрительного сигнала в этой области, с потерей информации при передаче в следующее звено коркового зрительного пути [16].

Сравнительная оценка и выявление критериев сложности зрительных образов позволяют чётко разделять зрительно-пространственную деятельность по уровню сложности, что необходимо при решении комплексных задач когнитивной деятельности и её мозговой организации.

Это определило цель и задачи нашего исследования. Целью являлась изучение сложности обработки изображений, используемых в зрительно-

пространственных заданиях, их ранжирование и категоризация. Задачи заключались в качественном и количественном анализе результатов решения заданий, отличающихся содержанием зрительного образа, элементами, составляющими его целостное изображение.

ОРГАНИЗАЦИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Выбор методов исследования определяется поставленными задачами. Анализ стимульного материала, который использовался в проведённых ранее экспериментах по изучению мозговой организации зрительно-пространственной деятельности разного уровня сложности [2, 3], потребовал более тщательного отбора предъявляемых изображений, их категоризации и проведения предварительного поведенческого эксперимента. По количеству ошибок в выборках из набора стимулов были отобраны те, которые оказались наиболее и наименее трудными как в группе взрослых испытуемых, так и среди детей и 10–11 лет. Были выделены три типа стимулов, из которых были составлены наборы для многократных тестовых проб. Также в эксперимент включалась серия проб, в которых тестовыми изображениями являлись иероглифы, используемые исследователями в качестве сложных зрительных образов [4, 14].

Модель эксперимента основана на предъявлении зрительно-пространственных заданий разного типа с разной степенью сложности, и представляет собой последовательность событий, которая частично регулируется экспериментатором, частично автоматизирована.

В ходе эксперимента испытуемые должны решать зрительно-пространственные задачи, которые заключаются в нахождении целевого изображения среди изображений – дистракторов. Эталонный стимул во время выполнения задания экспонируется в центре экрана. Под ним находится ряд из пяти стимулов, среди которых один (целевой) идентичен эталону, другие отличаются пространственным положением одного или нескольких элементов, составляющих изображение. Одинаковые изображения в ряду отсутствуют.

Стимулы первого типа («С») представляют собой круг, разделённый на две части прямой линией. Линия может разделять круг на равные части, либо быть смещена от оси симметрии на 5 или 10 px. Стимулы этого типа различаются также углом поворота фигуры относительно центра на 20, 40, 60 и 90° в обе стороны (рис. 1).

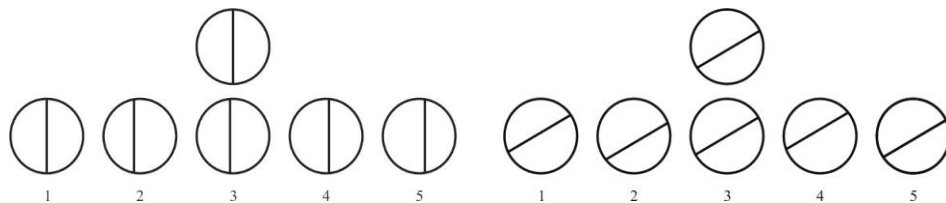


Рис. 1. Примеры заданий со стимулами первого типа

Дистракторы отличаются от целевого стимула только смещением разделительной линии.

Второй тип стимулов («CL») – окружность с линией, представляющей собой отрезок касательной прямой, перпендикулярной оси симметрии. Стимулы различаются углом поворота относительно центра на 10, 25, 40, 55, 70, 100, 115, 130, 145 и 160° в обе стороны. Таким образом, изменяется только положение линии относительно вертикальной оси. Дистракторы также отличаются от целевого стимула только углом поворота, который составляет от 5 до 15° (рис. 2).

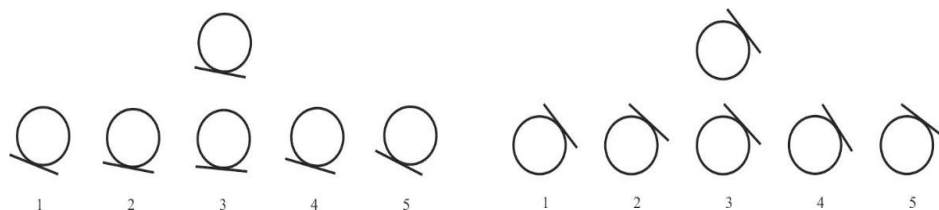


Рис. 2. Примеры заданий со стимулами второго типа («CL»)

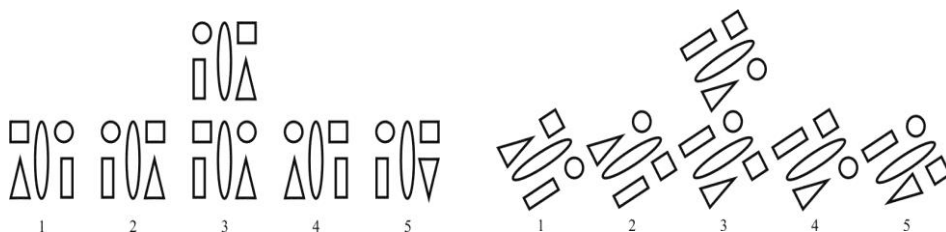


Рис. 3. Примеры заданий со стимулами третьего типа («F»)

Следует отметить, что изображения трёх описанных выше типов входят в различные тестовые батареи, которые используются для оценки интегративных функций, связанных со зрительным восприятием; невербального интеллекта у детей, степени готовности к обучению в школе [1, 17, 25]. Аналогичные задания используются при диагностике когнитивного стиля с использованием теста MFFT Дж. Кагана [34].

Иероглифы для людей, использующих в письме и чтении алфавит, являются невербализуемыми графическими образами, большинство которых содержит несколько составляющих элементов. Зрительно-пространственные задания с иероглифами для испытуемых, никогда не изучавших язык, в котором используются иероглифы, и не знакомых с их значениями, являются нестандартными и сложными.

В настоящем исследовании в качестве стимулов четвёртого типа («Cha») использовались 30 китайских иероглифов с разным количеством элементов. В дистракторах отдельные элементы изображаются зеркально, либо изменено их пространственное взаиморасположение (рис. 4).



Рис. 4. Примеры заданий со стимулами четвёртого типа («Cha»)

Задание представляет собой контрастный рисунок (800 x 400 px), выполненный белыми линиями на чёрном фоне. Предъявлялось на мониторе размером 22'' с разрешением 1680 x 1050 точек. Испытуемый находился на расстоянии 1 м до монитора, сидя в кресле.

Перед началом опытных проб испытуемому предлагалось тренировочное задание с устной инструкцией для контроля усвоения условий эксперимента и адаптации к экспериментальной обстановке.

Экспозиции стимульного материала предшествовал ключевой стимул “!”, который предъявлялся на экране монитора в течение 750 мс. Задание появлялось через 1–2,5 с рандомизированным интервалом.

Ответ испытуемый давал, нажимая на кнопку пульта с последующим устным названием цифры, соответствующей рисунку, который был одинаковым с эталоном (рис. 5).

По нажатию кнопки испытуемым изображение задания удалялось с экрана, после чего следовал интервал в 1 с, и начиналось выполнение следующей пробы. Максимальное время экспозиции составляло 10 с. Этот период был выбран эмпирически на основе более ранних исследований с использованием аналогичной модели.

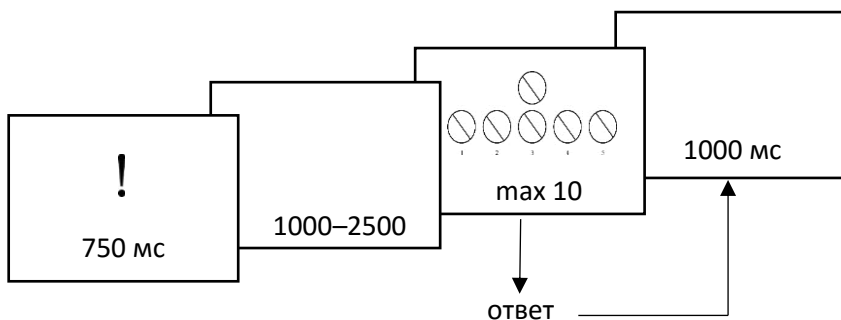


Рис. 5. Временная последовательность событий в экспериментальной пробе

Стимулы «С» использовались в 40 пробах, остальные – в 30 пробах для каждого типа. Таким образом, эксперимент включал всего 130 проб. Одинаковых заданий не было.

Эксперимент включал 2 серии проб. В первой серии все стимулы предъявлялись в случайном порядке. Во второй серии они были сгруппированы по типам и предъявлялись блоками в следующем порядке: «С», «F», «CL», «Cha». Вторая серия проводилась по прошествии не менее 3-х суток после первой.

Анализировались полученные данные времени ответов испытуемых и количество ошибочных ответов или их отсутствие (ответ «не знаю»). Если ответ был дан после завершения экспозиции, то он также фиксировался.

На данном этапе работы в исследовании участвовали 13 взрослых праворуких испытуемых в возрасте от 18 до 50 лет (4 мужчины и 9 женщин) – учащихся, преподавателей и научных сотрудников. Все испытуемые не изучали китайский или другие языки, в которых используются иероглифы.

В разработке и проведении эксперимента использовалась программа EEGExProc (автор С. Д. Дьяченко). Обработка данных проводилась с использованием дескриптивной статистики и методов параметрического и непараметрического сравнения выборок при помощи программного пакета SPSS (IBM SPSS Statistics 21).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Сравнительный анализ времени ответов испытуемых выявляет существенные различия в скорости решения зрительно-пространственных заданий исследуемых типов. Максимальное время затрачивалось в заданиях с иероглифами. Среднее время ответа в серии со случайным предъявлением составило $7,91 \pm 2,00$ с. Для выполнения простых заданий «F» в этой же серии требовалось наименьшее время – $4,90 \pm 1,56$ с. Среднее время ответов для заданий «С» и «CL» составило $5,33 \pm 2,03$ с и $5,85 \pm 2,15$ с соответственно. Различия во времени выполнения заданий всех исследуемых типов по t-критерию Стьюдента значимы на уровне $p \leq 0,01$ (рис. 6).

В заданиях с использованием иероглифов было допущено максимальное количество ошибок; в ряде проб испытуемый не мог дать ответ за отведённое время. Общая доля невыполненных заданий «Cha» составила $50,77 \pm 2,53$ %, из них ответ не был дан в $8,72 \pm 1,43$ % случаев (рис.7).

В простых заданиях «F» процент ошибок составил $5,13 \pm 1,12$, из них только в одном случае испытуемый не нашёл целевой стимул.

В заданиях «С» и «CL» ошибочные ответы были даны в $24,81 \pm 1,89$ % и в $42,05 \pm 2,50$ % соответственно.

Различия между успешностью выполнения разных типов заданий по критерию χ^2 значимы на уровне $p < 0,01$, за исключением сравниваемой пары «CL» – «Cha», для которой различия значимы на уровне $p < 0,05$. Использование непараметрического критерия Мак-Немара также выявляет значимые различия между результатами выполнения проб всех четырёх типов на уровне $p < 0,05$.

Полученные данные свидетельствуют о том, что наиболее сложным типом зрительно-пространственных задач является идентификация иероглифа. Поиск различий в пространственном расположении большого количества мелких деталей, не являющихся вербализуемыми знакомыми геометрическими фигурами, в условиях дефицита времени требует значительной нагрузки на селективное зрительное внимание.

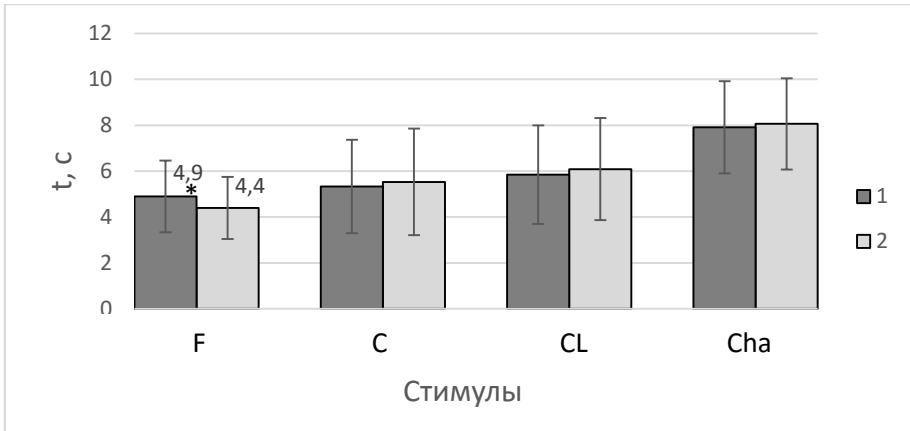


Рис. 6. Среднее время ответа испытуемых при выполнении заданий с разным типом стимулов: 1 – рандомизированное, 2 – сгруппированное предъявление; * – значимые различия ($p < 0,001$)

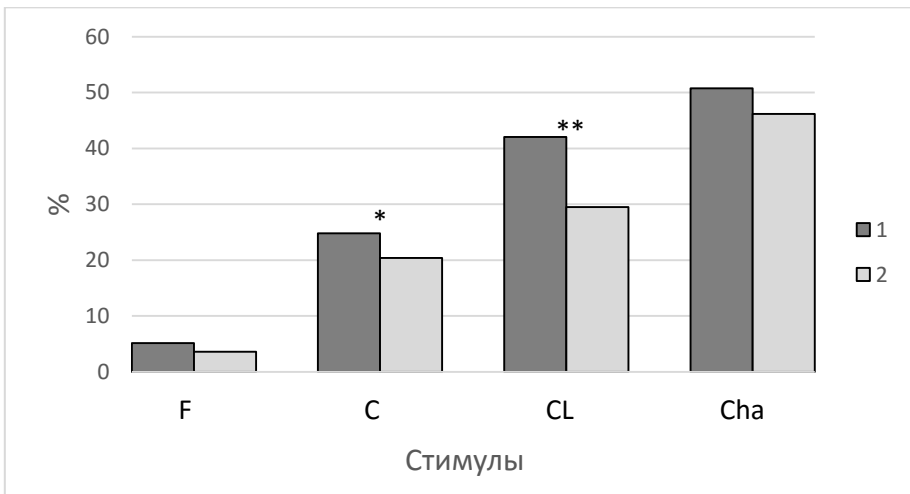


Рис. 7. Количество невыполненных заданий с разным типом стимулов (в %): 1 – рандомизированное, 2 – сгруппированное предъявление; * – различия значимы на уровне $p < 0,05$, ** – различия значимы на уровне $p < 0,01$

Наименее сложными являлись задания с поиском одинакового расположения сгруппированных простых фигур. Изображения знакомых, легко называемых образов проще обрабатываются в зрительной системе, что облегчает операции по идентификации их взаиморасположения.

Задания с разделённым кругом («С») и касательной линией («CL») основаны на восприятии контуров объектов в двухмерной системе координат. Сравнение соотношения 2-х частей целого образа круга оказывается менее сложным, чем нахождение линий с одинаковым наклоном к воображаемой вертикальной оси, то есть параллельных с линиями в эталонных стимулах.

Вторая серия экспериментальных проб с предъявлением блоков заданий, сгруппированных по категориям стимулов, предполагала облегчение их выполнения в связи с выработкой стратегии поиска отличий и дифференцировки целевых изображений и дистракторов. Это должно было, в первую очередь, выражаться в уменьшении количества ошибочных ответов.

Результаты, полученные в этой серии экспериментов, для большинства заданий не отличаются временем ответов. Исключение составляют задания со стимулами «F», для которых сравнение с помощью парного t-критерия Стьюдента показывает статистически значимое ($p < 0,001$) уменьшение времени ответов (рис. 6).

Для самых сложных заданий с иероглифами во второй серии предъявлений доля невыполненных заданий снижается до $46,15 \pm 2,52$ % по сравнению с $50,77 \pm 2,53$ % в первой серии (рис. 7). Не был дан ответ в $7,44 \pm 1,33$ % проб. Однако статистическая значимость данных различий не выявляется ($p > 0,05$). Таким образом, можно сделать вывод о том, что сложность заданий этого типа при повторном предъявлении в виде сгруппированных в блоки по категориям существенно не снижается.

Ещё меньше отличается от предыдущего выполнение простых заданий «F». Ошибки отмечаются в $3,59 \pm 0,94$ % проб. Статистическая значимость различий отсутствует. В силу низкого уровня сложности повторное решение данных заданий не отражается на среднегрупповых результатах в выборке.

Количество ошибочных ответов для заданий со стимулами «С» уменьшилось до $20,38 \pm 1,77$ %. Тест Мак-Немара подтверждает различия на уровне $p = 0,034$, хотя по критерию χ^2 статистическая значимость не выявляется.

Выполнение заданий со стимулами «CL» во второй серии показывает статистически значимое снижение доли неверных ответов до $29,49 \pm 2,31$ % ($p < 0,01$) по сравнению с $42,05 \pm 2,50$ % в предыдущей серии. Эти результаты показывают, что наиболее существенно повторное выполнение сгруппированных заданий влияет на результаты проб с использованием изображений круга с наклонной касательной линией.

В ходе данного исследования был также проведён анализ сложности зрительно-пространственных заданий среди набора стимулов одной категории. Задания отличались не только взаиморасположением элементов в стимуле, но и положением целевого изображения в одной из пяти позиций и степенью удалённости наиболее сходных дистракторов как от него, так и от эталона. Хотя для этих различий в настоящей работе критерии определены не были.

При выполнении заданий с разделённым кругом максимальное количество ошибок было сделано в пробах, где разделительная линия в эталоне смещена от диаметральной на 5 px , что делает различия площади и контуров двух частей круга минимальными (рис. 8). Количество проб и объём выборки не позволяет выявить какую-либо достоверную связь между положением целевого стимула и ошибочно найденного дистрактора. Однако обращает на себя внимание, что в заданиях, в которых верный ответ был дан всеми испытуемыми, целевой стимул чаще всего находился в положении «2». Возможно, это связано с тем, что поиск

стимулов испытуемые начинают, просматривая ряд слева-направо, и обработка зрительного образа в левой части ряда происходит при меньшем дефиците времени, чем в правой. Хотя это не объясняет факта ошибочных ответов в случае нахождения целевого стимула в положении «1». Это может объясняться его большей пространственной удалённостью от эталона. Характерно, что во второй серии проб количество заданий, в которых не было допущено ни одной ошибки увеличилось с двух до восьми.

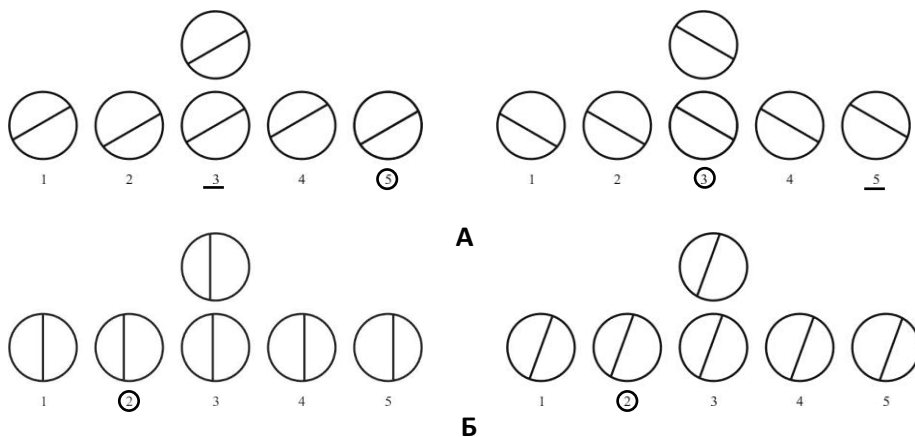


Рис. 8. Задания «С» с максимальным количеством ошибок (А) и с отсутствием ошибок (Б) в обеих сериях проб: обведён номер целевого стимула, подчёркнут номер преобладающей ошибки

Для других типов стимулов подобные зависимости не выявляются.

Среди самых сложных заданий в категории «CL» оказываются те, в которых неправильный выбор фигуры в положении «4» вероятно связан с восприятием сочетаний контуров, создающих эффект зрительной иллюзии (рис. 9), и касательная воспринимается параллельной с таковой в эталоне, а параллельная как наклонная к ней. В них сделано максимальное количество ошибок в обеих сериях предъявлений. В целом можно говорить о более выраженном эффекте интерференции дистракторов в данном типе заданий [19, 44].

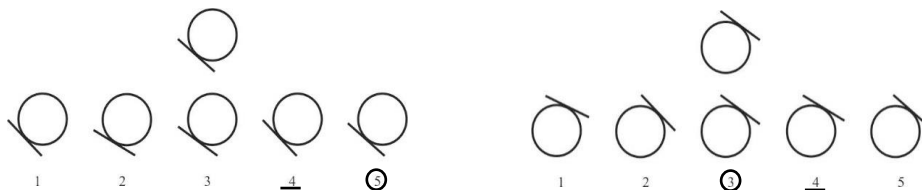


Рис. 9. Самые сложные задания «CL» в обеих сериях проб: обведён номер целевого стимула, подчёркнут номер преобладающей ошибки

Анализ результатов проб с иероглифами не выявляет зависимости сложности заданий от количества элементов в изображении, если их больше четырёх (рис. 10). В набор стимулов этого типа были включены 2 иероглифа, в которых было три и четыре элемента. В этих заданиях было сделано всего 3 ошибки.



Рис. 10. Примеры наиболее сложных заданий «Cha»: обведён номер целевого стимула, подчёркнуты номера преобладающих ошибок

Следует также отметить, что среди стимульных заданий и «CL», и «Cha» были те, которые в первой серии предъявлений выполнялись без ошибок, а во второй серии они оказывались в группе самых сложных, например, со стимулом



Проведённый анализ результатов исследования позволяет сделать следующие **выводы**:

1. Выделены критерии, позволяющие категоризировать и ранжировать по сложности зрительные стимулы, в качестве которых могут быть использованы простые геометрические фигуры и иероглифы.

2. Наибольшую сложность в обработке образа в условиях зрительного поиска при ограничении времени представляют задания с использованием иероглифов, требующие детального анализа и высокой нагрузки на селективное зрительное внимание.

3. Самыми простыми являются задания с сочетанием простых знакомых фигур, определение пространственного взаимоположения которых и сравнение его с эталонным происходит с высокой скоростью и эффективностью.

4. Трудность при идентификации образов простых геометрических фигур, состоящих из двух частей (задания «С»), создают условия, в которых эти части имеют минимальную степень отличия.

5. Высокая степень интерференции дистракторов вызывает сложность нахождения двух параллельных линий среди линий с близкими углами наклона в дистракторах (задания «CL»). В данных заданиях также наблюдается эффект зрительной иллюзии.

6. Полученные результаты позволяют использовать данный стимульный материал в последующих экспериментах по изучению структурно-функциональной организации мозга у детей и взрослых при выполнении зрительно-пространственных заданий разного уровня сложности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Безруких, М. М. Методика комплексной диагностики зрительного восприятия у детей 5,0–7,5 лет / М. М. Безруких, Л. В. Морозова. – Ульяновск, 1994. – 58 с.
2. Безруких, М. М. Особенности функциональной организации мозга у праворуких и леворуких детей 6-7 лет при выполнении зрительно-пространственных заданий разного уровня сложности. Сообщение I. Сравнительный анализ параметров ЭЭГ при зрительно-пространственной деятельности низкого уровня сложности / М. М. Безруких, А. В. Хрянин // Физиология человека. – 2003. – Т. 29, № 3. – С. 33-40.
3. Безруких, М. М. Особенности функциональной организации мозга у праворуких и леворуких детей 6-7 лет при выполнении зрительно-пространственных заданий разного уровня сложности. Сообщение II. Анализ параметров ЭЭГ при зрительно-пространственной деятельности высокого уровня сложности / М. М. Безруких, А. В. Хрянин // Физиология человека. – 2004. – Т. 30, № 1. – С. 50-56.
4. Бондарко, В. М. Оценка целостности зрительных объектов в зависимости от их размеров / В. М. Бондарко, М. В. Данилова // Физиология человека. – 1996. – Т. 22, № 3. – С. 65-70.
5. Глезер, В. Д. Механизмы опознания зрительных образов / В. Д. Глезер. – М.; Л. : Наука, 1966. – 203 с.
6. Глезер, В. Д. Зрение и мышление / В. Д. Глезер. – СПб. : Наука, 1993. – 285 с.
7. Дирингер, Д. Алфавит / Д. Дирингер. – М. : Изд-во иностр. лит., 1963. – 656 с.
8. Зрительное опознание и его нейрофизиологические механизмы / под ред. В. Д. Глезера. – Л. : Наука, 1975. – 270 с.
9. Канеман, Д. Внимание и усилие / Д. Канеман. – М. : Смысл, 2006. – 190 с.
10. Кроль, В. М. Зрительное восприятие изображений в условиях маскировки сходными фигурами / В. М. Кроль, В. Д. Сосина // Физиология человека. – 1985. – Т. 11, № 5. – С. 859-861.
11. Кроль, В. М. механизмы процесса узнавания изображений разной сложности: дис. ... докт. биол. наук : 03.00.13 / В. М. Кроль. – М., 1993. – 412 с.
12. Лазарева, Н. А. Нейрофизиологическое и модельное исследование карт рецептивных полей стриарной коры: роль внутрикоркового межнейронного взаимодействия / Н. А. Лазарева, К. А. Салтыкова, И. А. Шевелёв и др. // Журн. высш. нервн. деят. им. И. П. Павлова. – 2006. – Т. 56, № 4. – С. 506-515.
13. Михайлова, Е. С. Опознание сложных и простых изображений при их прямой маскировке / Е. С. Михайлова, Н. Ю. Герасименко, А. В. Овсиенко // Физиология человека. – 2009. – Т. 35, № 3. – С. 13-19.
14. Оценка сложности зрительных изображений / В. М. Бондарко [и др.] // Сенсорные системы. – 2003. – Т. 17, № 3. – С. 83-90.
15. Психофизиологическое и нейрофизиологическое исследование опознания неполных изображений / И. А. Шевелёв [и др.] // Сенсорные системы. – 2003. – Т. 17, № 4. – С. 339-346.

16. Самойлович, Л. А. Корковые вызванные потенциалы при последовательной зрительной маскировке / Л. А. Самойлович, В. Д. Труш // Физиология человека. – 1978. – Т. 4, № 2. – С. 267.

17. Скороходова, Т. А. Функциональная организация интегративной деятельности мозга у детей младшего школьного возраста с разным уровнем интеллектуального развития: дис. ... канд. биол. наук: 03.00.13 / Т. А. Скороходова; Ин-т возрастной физиологии. – М., 2001. – 203 с.

18. Соколов, Е. Н. Сегментация, группирование и акцентирование в восприятии стимулов / Е. Н. Соколов, Н. И. Незлина // Журн. высш. нервн. деят. им. И. П. Павлова. – 2009. – Т. 59, № 1. – С. 15-33.

19. Уточкин, И. С. Эффект дистрактора в перцептивных задачах / И. С. Уточкин // Психологический журнал. – 2010. – Т. 31, № 3. – С. 25-32.

20. Шевелёв, И. А. Динамика зрительного сенсорного сигнала / И. А. Шевелёв. – М.: Наука, 1971. – 248 с.

21. Шевелёв, И. А. Зрительная кора / И. А. Шевелёв // Физиология зрения. – М.: Наука, 1992. – С. 243-314.

22. Appelle, S. Perception and discrimination as a function of stimulus orientation: the “oblique effect” in man and animals / S. Appelle // Psychol. Bull. – 1972. – V. 78. – P. 266-278.

23. Bachmann, T. Forward masking of faces by spatially quantized random and structured masks: on the roles of wholistic configuration, local features, and spatial-frequency spectra in perceptual identification / T. Bachmann, I. Luiga, E. Pöder // Psychol. Res. – 2004. – V. 69, № 1–2. – P. 11-21.

24. Beck, J. Effect of deviation and of shape similarity on perceptual grouping / J. Beck // Percept. Psychophysics. – 1967. – 2. – P. 491-495.

25. Bender, L. A. Visual Motor Gestalt Test and its clinical use / L. A. Bender // American Orthopsychiatric Association Monograph Series Number 3. – NY. : American Orthopsychiatric Association, 1938. – 176 с.

26. Biederman, I. Priming contour-deleted images: evidence for intermediate representation in visual object recognition. / I. Biederman, E. E. Cooper // Cognitive psychology. – 1991. – V. 23. – P. 393-419.

27. Biederman, I. Recognition-by-components: a theory of human image understanding / I. Biederman // Psychol. Rev. – 1987. – V. 94. – P. 115–147.

28. Dumoulin, S. O. Modulation of VI activity by shape: image- statistics or shape-based perception? / S. O. Dumoulin, R. F. Hess // J. Neurophysiol. – 2006. – V. 95, № 6. – P. 3654–3664.

29. Enns, J. T. Visual similarity in masking and priming: the critical role of task relevance / J. T. Enns, C. Oriet // Advances in Cognitive Psychology. – 2007. – V. 3, № 1–2. – P. 211-226.

30. Ginsburg, A. P. Psychological correlates of a model of the human visual system / A. P. Ginsburg // IEEE Proc. – 1971. – P. 283-290.

31. Grill-Spector, K. The neural basis of object perception / K. Grill-Spector // Current Opinion in Neurobiology. – 2003. – V. 13, № 2. – P. 159–166.

32. Hartline, H. K. Inhibition of activity of visual receptors by illuminating nearby retinal areas in the Limulus eye / H. K. Hartline // Fed. Proc. – 1949. – V. 8, № 1. – P. 69.

33. Howard, I. P. Human Visual Orientation / I. P. Howard. – NY., 1982. – 210 p.

34. Kagan, J. Matching Familiar Figures Test / J. Kagan. – Cambridge, Mass.: Harvard University, 1965.
35. Landolt, E. Tablen d'optotypes pour la determination de l'acuite visuelle / E. Landolt // Arch. Soc. Franc. d'ophtalm. – 1899. – P. 157-166.
36. Machnik, S. L. Visual masking approaches to visual awareness / S. L. Machnik // Progress in Brain Research. – 2006. – V. 155. – P. 177-215.
37. Malach, R. The topography of high-order human object areas / R. Malach, I. Levy, U. Hasson // Trends Cogn. Sci. – 2002. – V. 6, № 4. – P. 176-184.
38. Marr, D. Early processing of visual information / D. Marr // Philos. Trans. R Soc. Lond. B Biol. Sci. – 1976. – V.275, № 942. – P. 483-519.
39. Marr, D. Vision: a computational investigation into the human representation and processing of visual information / D. Marr. – NY. : Freeman, 1982. – 415 p.
40. Object-related activity revealed by functional magnetic resonance imaging in human occipital cortex / R. Malach [et al.] // Proceedings of the Natural Academy of Science USA. – 1995. – V. 92. – P. 8135-8139.
41. Paired-pulse behavior of visually evoked potentials recorded in human visual cortex using patterned paired-pulse stimulation / O. Höffken [et al.] // Exp. Brain Res. – 2008. – V. 188, № 3. – P. 427-435.
42. Shepard, R. N. Toward a universal law of generalization for psychological sciences / R. N. Shepard // Science. – 1987. – V. 237, № 4820. – P. 1317-1323.
43. Snellen, E. Echelle typographique pour mesurer l'acuite de la vision / E. Snellen. – Utrecht, 1862.
44. Stroop, J. R. Studies of interference in serial verbal reactions / J. R. Stroop // Journ. of Experimental Psychology. – 1935. – V. 18. – P. 643-662.
45. The distribution of oriented contours in the real world / D. M. Coppola [et al.] // Neurobiology. – 1998. – V. 95. – P. 4002-4006.
46. Vitz, P. C. A model of the perception of simple geometric figures / P. C. Vitz, T. C. Todd // Psychol. Rev. – 1971. – V. 78, № 3. – P. 207-228.

КОМПЛЕКСНОЕ ИЗУЧЕНИЕ АВТОНОМНОЙ НЕРВНОЙ РЕГУЛЯЦИИ, ЦЕНТРАЛЬНОГО И ПЕРИФЕРИЧЕСКОГО ОТДЕЛОВ КРОВООБРАЩЕНИЯ И СТЕРОИДОГЕНЕЗА (ПО ДАННЫМ ДГЭА) В ПРОЦЕССЕ АДАПТАЦИИ К НАГРУЗКАМ У ПОДРОСТКОВ 13 ЛЕТ

А.Н. Шаранов, Н.Б. Сельверова, Л.В. Рублева, Г.В. Кмить,
С.Б. Догадкина¹, В.Н. Безобразова, И.В. Ермакова
ФГБНУ «Институт возрастной физиологии
Российской академии образования», Москва

Проведено комплексное изучение автономной нервной регуляции сердечного ритма, сократительной функции, биоэлектрических характеристик миокарда, мозговой гемодинамики, особенностей стероидогенеза у подростков 13 лет. Выявлены возрастные изменения и особенности адаптации сердечно-сосудистой и эндокринной систем к нагрузкам разного вида. Показано наличие благоприятной и неблагоприятной адаптации организма подростков 13 лет к физической и умственной нагрузкам.

Ключевые слова: адаптация, подростки, физическая нагрузка, умственная нагрузка, миокард, мозговое кровообращение, автономная нервная система, де-гидроэпиандростерон, андростендион.

Comprehensive study of autonomic nervous regulation, central and peripheral blood flow and steroid genesis (according to DHEA) during adaptation to exercise in 13-year-old adolescents. The paper presents a comprehensive study of the autonomic nervous regulation of the heart rate, contractile function, bioelectrical characteristics of myocardium, cerebral hemodynamics, characteristics of steroid genesis in 13-year-old adolescents. There were revealed age changes and peculiarities of adaptation of the cardiovascular and endocrine systems to different tasks. The presence of favorable and unfavorable organism adaptation to physical and mental tasks performance is shown.

Keywords: adaptation, adolescents, physical activity, mental tasks, myocardium, cerebral blood flow, autonomic nervous system, DHEA, androstenedione.

В подростковом возрасте происходит перестройка функций всех органов и систем. Значительные морфологические и функциональные изменения происходят и с сердечно-сосудистой системой. Особенности деятельности сердца и сосудов в подростковом периоде в значительной мере связаны с изменением гормонального статуса и нервной системы. Именно в этом периоде происходят бурные процессы роста и созревания в организме подростков, которые могут сопровождаться несбалансированностью формирования различных отделов сердечно-сосудистой системы, в результате чего могут возникнуть предпосылки к формированию как функциональных, так и органических нарушений. В первой половине подросткового периода (10-13 лет) происходит быстрое увеличение размеров сердца и толщины сердечной мышцы. Однако созревание нервного аппарата сердца (проводящей системы) в ряде случаев отстает от роста миокарда. В результате могут возникать преходящие нарушения ритма сердца (экстрасистолии), ре-

Контакты: ¹ Догадкина С.Б. – E-mail: <almanac@mail.ru>

же возникают различные блокады, когда возбуждение мышцы сердца на некоторых участках замедляется или нарушается. В этом же возрастном периоде возникает несоответствие между возросшей мощностью сердца и отставанием в расширении просвета артериальных сосудов. Особенно характерно такое рассогласование у 13-летних подростков.

Особый интерес представляет изучение адаптационных возможностей организма у подростков, которые находятся в процессе активного полового развития. При этом развитие всех систем организма предъявляет повышенные требования к сердечно-сосудистой системе – как ведущей систем жизнеобеспечения. Именно деятельность сердечно-сосудистой системы является одним из важнейших факторов, лимитирующих развитие приспособительных реакций растущего организма в процессе его адаптации к условиям обучения и воспитания.

Показано, что процесс приспособления ребенка к новым для него условиям микросоциальной среды сопровождается напряжением регуляторных систем.

Отклонения, возникающие в регулирующих системах, предшествуют гемодинамическим, метаболическим, энергетическим и, следовательно, являются наиболее ранним признаком неблагоприятного течения адаптации у детей [22]. Сердечный ритм является индикатором этих отклонений, в связи с чем исследование variability сердечного ритма имеет важное прогностическое значение при проведении профилактических здоровьесберегающих мероприятий в школе, а знание возрастнo-половых особенностей variability сердечного ритма, адаптационных возможностей ребенка является важнейшим направлением фундаментальных исследований в области здоровья и обучения детей.

Задачей данной работы явилось изучение особенностей автономной нервной регуляции, центрального, церебрального кровообращения, стероидогенеза в процессе возрастного развития и адаптации к умственной и умеренной физической нагрузкам у детей 13 лет.

ОРГАНИЗАЦИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Проведено комплексное исследование 80 детей 13 лет, включавшее: изучение автономной нервной регуляции сердечного ритма, сократительной функции и биоэлектрических характеристик миокарда, мозговой гемодинамики, особенностей стероидогенеза.

Изучение автономной нервной регуляции сердечного ритма (СР) проводили методами временного и спектрального анализа variability ритма сердца (ВРС). В качестве функциональной пробы в исследовании применяли активную ортостатическую пробу.

Возбудимость и проводимость миокарда изучали с помощью метода электрокардиографии. Регистрация ЭКГ осуществляли в 12 общепринятых отведениях. Длительность интервалов и зубцов ЭКГ определяли по данным II стандартного отведения.

Сократительная функция миокарда изучалась методом поликардиографии. Проводилась синхронная регистрация ЭКГ во II стандартном отведении, фонокардиограммы и каротидной сфигмограммы (с сонной артерии) с помощью прибора Поли-Спектр-12. При изучении возбудимости, проводимости и сократительной функции миокарда в качестве функциональной пробы в работе была исполь-

зована динамическая нагрузка: модифицированная проба Летунова (20 приседаний за 30 секунд).

Мозговое кровообращение изучали методом биполярной реоэнцефалографии. Регистрация реоэнцефалограмм проводилась при помощи компьютерного реографа "Реоспектр" в бифронтальном (F-F) отведении, что позволяло получать информацию о кровообращении лобных областей больших полушарий головного мозга. В качестве функциональной пробы использовалась умственная нагрузка, которая заключалась в выполнении испытуемыми устного счета в течение 10 минут.

Уровень ДГЭА и андростендиона в слюне определяли иммуноферментным методом (ИФА), используя стандартные диагностические наборы фирмы DRG. Оптическую плотность и значения концентрации гормона определяли с помощью ИФА-анализатора «Stat Fax 2100».

Экспериментальные данные обработаны общепринятыми методами вариационной статистики, с расчетом средних величин, средней ошибки, средних квадратичных отклонений, минимальных и максимальных значений величины показателя по группе обследуемых, коэффициента вариации. Степень достоверности различий между показателями в исходном состоянии и после нагрузки определялась по критерию Стьюдента. Во всех случаях граничным считался уровень значимости при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Спектральный анализ ВРС (табл. 1) выявил половые различия в значениях показателей спектрального анализа у детей 13 лет. В возрасте 13 лет отмечены достоверно более высокие значения высокочастотных показателей (HF мс^2) и общей мощности спектра TP (мс^2) у девочек по сравнению с мальчиками. Не выявлено половых различий в показателях очень низкочастотных и низкочастотных колебаний ВРС, выраженных в абсолютных, нормализованных единицах и процентах (LF(n.u) %).

У мальчиков от 12 к 13 годам происходит достоверное снижение общей плотности мощности ВРС (TP) и достоверное снижение высокочастотных колебаний в абсолютных и относительных единицах и увеличение низкочастотных колебаний в относительных единицах, а также достоверное снижение показателя временного анализа RMSSD (табл. 2), отражающего активность парасимпатического звена автономной нервной системы, что свидетельствует о некотором напряжении вегетативной нервной регуляции в этот период, связанном с усилением гормональных влияний на ВНС.

На основании значений показателя LF/HF, характеризующего симпатопарасимпатический баланс [26; 27; 31; 33], все обследуемые школьники 13 лет были разделены на 3 группы. Дети с LF/HF $> 1,0$ составили 1-группу (с преобладанием симпатических влияний в регуляции сердечного ритма), дети с LF/HF от 0.5 до 0.9 составили 2 группу (со сбалансированной регуляцией сердечного ритма) и дети с LF/HF < 0.5 составили 3 группу (с преобладанием парасимпатических влияний в регуляции сердечного ритма). Более 78 процентов девочек и 82 процента мальчиков имеют сбалансированную или с преобладанием парасимпатических влияний регуляцию сердечного ритма (табл. 3).

Таблица 1

Показатели спектрального анализа variability сердечного ритма у учащихся 13 лет в покое и в ответ на ортостатическую пробу (M±m)

| Пол | Состояние | TP, мс ² | VLF, мс ² | LF, мс ² | HF, мс ² | LF п.у. | HF п.у. | LF/HF п.у. | %VLF | %LF | %HF |
|-----|-----------|---------------------|----------------------|---------------------|---------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| М | покой | 2644,0 ±523,3 | 1370,0 ±283,1 | 870,0 ±170,1 | 1055,0 ±268,0 | 45,4 ±3,6 | 54,6 ±3,6 | 0,833 ±0,2 | 18,2 ±5,0 | 27,4 ±3,3 | 40,6 ±3,5 |
| | ортостаз | 3451,0 ±478,0# | 1353,0 ±270,3 | 1416,0 ±303,2# | 440,0 ±96,2# | 76,4 ±2,0# | 23,6 ±2,0# | 3,2 ±0,3# | 40,9# ±5,0 | 45,0 ±3,4# | 13,9 ±1,5# |
| Д | покой | 4100,5 ±493,3* | 1119,5 ±157,6 | 881,0 ±177,3 | 1724,0 ±287,2* | 38,6 ±3,5 | 61,4 ±3,5 | 0,628 ±0,1 | 27,0 ±1,8 | 27,3 ±2,7 | 43,2 ±2,7 |
| | ортостаз | 2862,0 ±570,8# | 1377,5 ±188,2 | 989,5 ±251,1 | 531,0 ±89,1# | 70,6 ±2,4# | 29,4 ±2,4# | 2,4 ±0,18# | 41,0 ±2,5# | 43,1 ±2,2# | 15,7 ±1,5# |

*Примечание: М – мальчики, Д-девочки; * - достоверность различий между показателями у мальчиков и девочек; # - достоверность различий между показателями в покое и во время ортостаза;*

Таблица 2

Показатели временного анализа variability сердечного ритма у учащихся 13 лет в покое и в ответ на ортостатическую пробу (M±m)

| Группы | Состояние | R-Rmin | R-Rmax | RRNN | SDNN | RMSSD | pNN50 | CV | K30/15 |
|--------|-----------|----------------|----------------|----------------|---------------|---------------|--------------|-------------|--------------|
| М | покой | 590,0 ±27,8 | 930,0 ±27,8 | 768,0 ±36,7 | 55,0 ±11,2 | 58,0 ±6,3 | 34,5 ±4,8 | 7,4 ±1,1 | |
| | нагрузка | 484,0 ±14,3 | 768,0 ±28,3 | 595,0 ±19,1 | 49,0 ±4,1 | 33,0 ±2,1# | 8,0 ±1,5# | 7,9 ±0,5 | 1,3 ±0,03 |
| Д | покой | 589,0 ±26,7 | 957,0 ±38,3 | 738,0 ±31,8 | 61,5 ±4,2 | 65,0 ±6,5 | 32,3 ±4,4 | 8,1 ±0,4 | |
| | нагрузка | 469,0 ±12,7 | 787,0 ±35,3 | 613,5 ±19,2 | 45,0 ±3,5 | 36,0 ±3,0# | 9,4 ±1,7# | 7,5 ±0,5 | 1,3 ±0,04 |

*Примечание: * - достоверность различий между показателями у мальчиков и девочек; # - достоверность различий между показателями в покое и во время ортостаза.*

У детей с преобладанием парасимпатических влияний на ритм сердца отмечается достоверно более высокая суммарная активность нейрогормональных влияний и парасимпатического звена вегетативной регуляции.

Преобладание парасимпатического компонента в структуре ВРС 13-летних школьников согласуется с представлением об адаптационно-трофическом дей-

ствии блуждающих нервов на сердце и является показателем индивидуальной устойчивости здорового организма к стрессирующим факторам [1; 2; 6; 15].

Таблица 3

Показатели спектрального анализа variability сердечного ритма у учащихся 13 лет с разным типом автономной нервной регуляции (M±m)

| тип АНР | Состояние | TP мс ² | VLf мс ² | LF мс ² | HF мс ² | LF/HF п.у. |
|---------|-----------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|-----------------|
| 1 | покой | 4593,7 ±564,5 | 1283,2 ±229,5 | 1903,5 ±435,6 | 1399,5 ±376,4 | 1,3 ±0,121 |
| | орто-стаз | 3884,3 ±756,3 | 1653,2 ±283,5 | 1688,3 ±195,4 | 542,3 ±150,3# | 3,12 ±0,355# |
| 2 | покой | 3627,5 ±576,4 | 1099,1 ±153,5 | 1049,5 ±264,3 | 1479,2 ±358,9 | 0,75 ±0,297 |
| | орто-стаз | 4505,0 ±586,4 | 1929,4 ±301,4# | 1958,5 ±419,0# | 616,3 ±167,9# | 3,2 ±0,368# |
| 3 | покой | 6223,3 ±478,4* | 1172,3 ±187,3 | 1321,0 ±203,1 | 3729,8 ±359,4* | 0,30 ±0,168* |
| | орто-стаз | 3003,2 ±548,1# | 1187,9 ±196,3 | 1291,2 ±264,1 | 520,4 ±159,0# | 2,5 ±0,35# |

*Примечание: 1 группа – симпатотоники; 2 группа – нормотоники; 3 группа ваготоники; * - достоверность различий между показателями группами с разным типом АНС; # - достоверность различий между показателями в покое и во время ортостаза.*

Таким образом, исследование variability сердечного ритма детей 13 лет в состоянии относительного покоя показало, что значения спектральных и временных показателей ВРС соответствуют таковым, приводимым в ряде исследований [7; 15] и указанным в международных стандартах [23]. У них выявлены достоверные половые различия в значениях частотных и временных показателей variability сердечного ритма (ВРС). Более высокая суммарная активность нейрогуморальных влияний на сердечный ритм за счет достоверно более высоких величин показателей высокочастотных колебаний ВРС у девочек 13 лет свидетельствуют о большей устойчивости девочек данного возраста к стрессирующим факторам в сравнении с мальчиками этого же возраста.

Ортостатическая проба является одним из наиболее простых и безопасных функциональных тестов, который позволяет оценить резервные возможности системы регуляции кровообращения. Исследование variability сердечного ритма при ортостатической пробе позволяет получить информацию о состоянии различных звеньев регуляторного механизма и об общей адаптационной реакции организма.

Временной анализ ВРС (табл. 2) выявил снижение показателей RMSSD и pNN50, отражающих активность парасимпатического звена автономной нервной системы и у мальчиков, и у девочек 13-летнего возраста.

Более детальная оценка состояния отдельных звеньев регуляторного механизма была получена при анализе спектральных характеристик сердечного ритма (табл. 1). У девочек 13 лет в ответ на ортостатическую пробу отмечено существенное снижение общей мощности ВРС, и высокочастотного компонента спектра ВРС (в абсолютных, относительных единицах и в процентах) и повышение низкочастотных колебаний. У мальчиков 13 лет ортостатическая проба приводит к повышению общей мощности ВРС и низкочастотных колебаний и снижению высокочастотных колебаний ВРС, как в абсолютных, так и в относительных единицах.

Показатель отношения абсолютных значений LF и HF (LF/HF) при ортопробе достоверно повышался как у мальчиков, так и у девочек, однако у девочек это происходило только за счет значительного снижения высокочастотных колебаний, а у мальчиков – за счет достоверного повышения низкочастотных колебаний ВРС, свидетельствующих о повышении активности симпатического звена ВНС, и снижения парасимпатических влияний.

У детей обоего пола выявлен существенный сдвиг автономной нервной регуляции в сторону симпатических влияний, что свидетельствует об адекватной реакции АНС на ортостатическое воздействие [5; 9; 15; 20; 30]. По мнению Берсеновой с соавт. (2000) в механизме поддержания сердечно-сосудистого гомеостаза при ортопробе могут наблюдаться два типа управляющих воздействий. Один из них связан с активацией вазомоторного (сосудистого) центра, другой с более высокими уровнями управления. Второй тип характерен для более старшей возрастной группы.

Дети с преобладанием симпатической активности в регуляции сердечного ритма характеризуются достоверно высокими значениями показателя низкочастотного компонента плотности спектра в сравнении с нормотониками и парасимпатотониками и более низкой мощностью высокочастотного компонента ВРС (HF) в сравнении с парасимпатотониками. У детей с преобладанием симпатических влияний в сравнении с детьми с преобладанием парасимпатических влияний структура симпатико-парасимпатического воздействия на сердечный ритм характеризуется большим вкладом в регуляцию СР центральных эрготропных и симпатических влияний. Показатели временного анализа ВРС у детей 1-ой группы характеризуются достоверно более низкими значениями SDNN, свидетельствующими о сниженной вариабельности сердечного ритма и низкими значениями показателя RMSSD, что говорит о низкой активности высокочастотных колебаний у детей 1-ой группы.

Реакция сердечного ритма на ортостатическую пробу у 13-летних детей 1-ой группы характеризуется отсутствием достоверной реакции низкочастотного компонента колебаний и общей мощности спектра и существенным снижением высокочастотных колебаний (42 %)(табл. 3, рис. 1), некоторым снижением показателей RRNN, SDNN и RMSSD и значительным снижением pNN50, что свидетельствует о преобладании неадекватной реакции на ортопробу и низких адаптационных возможностях у детей данной группы. У 13-летних детей 2-ой группы отмечена адекватная реакция сердечного ритма на ортостаз со снижением высокочастотных компонентов (59 %) и увеличением низкочастотных колебаний (рис. 1), а также

оптимальным снижением показателей временного анализа ВРС, характеризующих парасимпатическую активность. У детей 13 лет с преобладанием парасимпатических влияний ортостатическая проба приводит к существенному снижению высокочастотных колебаний (на 86 %), без достоверных изменений низкочастотного компонента. Таким образом, дети 13 лет с преобладанием симпатических реакций характеризуются неадекватной реакцией на ортостатическое воздействие.

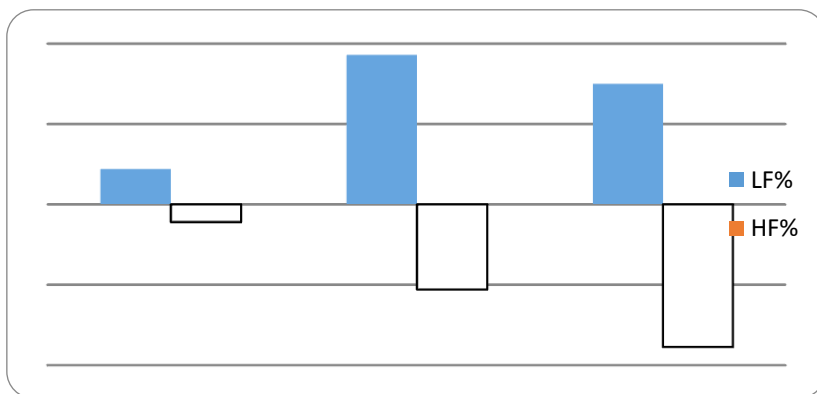


Рис.1 Изменение показателей спектрального анализа ВРС на ортопробу у детей 11-13 лет с разными типами автономной нервной регуляции в процентах к исходному уровню

Примечание: 1-симпатический тип АНР; 2 – сбалансированный тип АНР; 3 – парасимпатический тип АНР

Высокими адаптационными возможностями обладают дети с нормотоническим типом автономной нервной регуляции.

Таким образом, исследование вариабельности сердечного ритма школьников в состоянии относительного покоя показало, что значения спектральных и временных показателей ВРС соответствуют таковым, приводимым в работах последних лет [7; 11; 15; 16] и указанным в международных стандартах [23]. У всех обследованных детей частотный спектр ВРС характеризовался хорошо выраженными волнами высокой, низкой и очень низкой частот. При этом у большинства обследованных школьников суммарная мощность спектра в диапазонах низких и высоких частот доминировала над величинами мощности спектра в очень низкочастотном диапазоне, особенно у детей с парасимпатотоническим типом регуляции. Это свидетельствует о преобладании модулирующего симпато-парасимпатического регуляторного влияния над гуморально-метаболическим и центральными эрготропными регуляторными стимулами [15]. И у мальчиков, и у девочек 13 лет отмечено существенное усиление гормональных влияний на ВРС, связанное, по-видимому, с периодом полового созревания.

При ортостатическом воздействии у детей 13 лет независимо от пола существенно изменяется симпато-парасимпатический баланс: усиливается преобладание парасимпатических влияний на сердечный ритм. Структура реакции показателей ВРС на ортостатическое воздействие определяется типом вегетативной нервной регуляции. У детей 13 лет с преобладанием симпатических влияний на

ритм сердца выявлена неадекватная реакция на ортостатическую пробу, с незначительным снижением всех составляющих спектра, что указывает на сниженные адаптационные возможности у детей данной группы. У детей с сбалансированным и парасимпатическим типом автономной нервной регуляции сердечного ритма выявлен относительный рост низкочастотного и снижение высокочастотного показателей спектра ВРС, что указывает на активное включение вазомоторного центра в процесс регуляции сосудистого тонуса.

Практически все подростки 13 лет вступили в пубертат – динамичный период развития, характеризующийся метаболическими и гормональными сдвигами. Главный гормон сетчатой зоны коры надпочечников – дегидроэпиандростерон (ДГЭА) - является предшественником половых стероидов (тестостерона и эстрадиола), увеличение уровня которого связано с половым созреванием [28; 29; 32]. В связи с этим возникает необходимость определения его базовой концентрации у подростков. В целом по группе среднее значение уровня этого андрогена в утренней слюне составило $247,10 \pm 25,22$ пг/мл и колебалось от 45,59 пг/мл до 982,50 пг/мл. Сравнительный анализ показал, что у девочек утренняя концентрация ДГЭА выше, чем у их сверстников ($292,29 \pm 60,39$ пг/мл против $224,51 \pm 22,68$ пг/мл), но различия не были достоверными. Другие исследователи [24; 25] получили такие же результаты и обнаружили большую индивидуальную вариабельность этого стероида, вероятно, обусловленную биологическим возрастом испытуемых. В подтверждение этого предположения была выявлена взаимосвязь между уровнем ДГЭА и длиной тела ($r=0,32$; $p<0,05$), массой тела ($r=0,40$; $p<0,01$) у детей 13 лет. Кроме того, этот стероид обладает антистрессовым эффектом, препятствующим разрушительному действию кортизола. Мы оценивали уровень ДГЭА до и после кардиоинтервалографии, разделив испытуемых на 3 группы по показателю LF/HF, который отражает симпато-парасимпатический баланс. Как видно из таблицы 4, испытуемые достоверно не различались по уровню гормона утром, до и после обследования, хотя у подростков с преобладанием парасимпатических влияний на ритм сердца концентрация стероида несколько ниже во всех временных точках, чем в других группах. Стоит отметить, что прирост концентрации ДГЭА в ответ на кардиоинтервалографию у ваготоников также ниже, чем у симпатотоников и нормотоников. Соотношение ДГЭА к кортизолу в утренней пробе было также минимальным у ваготоников по сравнению с подростками с другими типами автономной нервной регуляции ритма сердца.

Таблица 4

Концентрация ДГЭА у детей с разными типами автономной нервной регуляции ($M \pm m$)

| ДГЭА (пг/мл) | группы | | |
|--------------------|-------------------------|-----------------------|----------------------|
| | симпатотоники (n=16) | нормотоники (n=19) | ваготоники (n=10) |
| утром | $310,33 \pm 21,59$ | $255,23 \pm 37,94$ | $197,92 \pm 19,13$ |
| до обследования | $186,69 \pm 17,23$ | $200,35 \pm 19,38$ | $167,03 \pm 18,16$ |
| после обследования | $225,85 \pm 21,44$ | $214,96 \pm 32,08$ | $175,44 \pm 23,35$ |
| прирост | $39,16 \pm 19,18$ | $14,61 \pm 24,85$ | $8,41 \pm 21,93$ |
| ДГЭА/кортизол | $0,044 \pm 0,012$ | $0,048 \pm 0,012$ | $0,030 \pm 0,004$ |

В ходе исследования нами были проанализированы данные электрокардиограмм детей 13 лет. Проведенный нами анализ ЭКГ показал, что абсолютные значения большинства показателей ЭКГ обследованных детей в целом соответствуют возрастным нормативам, представленным в литературе [13, 19, 21]. Данные о длительности интервалов и амплитуде зубцов ЭКГ представлены в таблицах 5, 6.

У девочек к 13 годам наблюдается увеличение длительности сердечного цикла, времени предсердно-желудочковой проводимости и электрической систолы, что является общей возрастной тенденцией и связано, главным образом, с повышением тонической активности центров блуждающего нерва, или, возможно, не с абсолютным повышением тонуса вагуса, а лишь с его преобладанием вследствие понижения тонуса симпатической нервной системы. У 13-летних мальчиков отмечено некоторое укорочение данных интервалов, что обусловлено, вероятно, их интенсивным половым развитием на этом периоде онтогенеза. В период интенсивного полового созревания помимо воздействий на сердце со стороны нервной системы, существенное значение приобретают гормональные влияния, в особенности катехоламины (адреналин и норадреналин), экскреция которых в пубертатный период значительно возрастает. Изменение амплитуды зубцов ЭКГ обусловлено как влияниями со стороны симпатической нервной системы, так и гетерохронным развитием сердечной мышцы.

Динамическая нагрузка вызывала у детей 13-летнего возраста следующие изменения ЭКГ (таблицы 5, 6). У всех обследованных детей укорачивалась электрическая систола, у большинства детей уменьшалось время предсердно-желудочковой проводимости. Общая длительность сердечного цикла у большей части детей уменьшалась. Также у детей 13 лет в ответ на нагрузку как у мальчиков, так и у девочек, происходило достоверное увеличение зубца PII и уменьшение зубца PIII.

Таблица 5

Временные характеристики основных зубцов и интервалов ЭКГ детей 13-летнего возраста в покое и при физической нагрузке (M±m)

| Показатели | | | | | | | | |
|------------|-----------|---------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|
| пол | Состояние | R-R, с | P-Q, с | QRS, с | QT, с | P, с | Q, с | R, с |
| м | покой | 0,823± | 0,131± | 0,095± | 0,352± | 0,103± | 0,013± | 0,053± |
| | | 0,0531 | 0,0034 | 0,0013 | 0,0174 | 0,0023 | 0,0027 | 0,0057 |
| | нагр | 0,787±* | 0,128± | 0,093± | 0,331±* | 0,102± | 0,013± | 0,051± |
| | | 0,0371 | 0,0033 | 0,0013 | 0,0135 | 0,0013 | 0,0027 | 0,0047 |
| д | покой | 0,891± | 0,131± | 0,095± | 0,369± | 0,098± | 0,011± | 0,054± |
| | | 0,0531 | 0,0034 | 0,0014 | 0,0173 | 0,0023 | 0,0027 | 0,0042 |
| | нагр | 0,797±* | 0,125± | 0,092± | 0,351±* | 0,097± | 0,011± | 0,051± |
| | | 0,0371 | 0,0033 | 0,0013 | 0,0135 | 0,0013 | 0,0028 | 0,0047 |

*Примечания: интервалы представлены по данным II стандартного отведения, * - достоверность различий по сравнению с покоем.*

Таблица 6

*Амплитудные характеристики основных зубцов ЭКГ
детей 13-летнего возраста в покое и при физической нагрузке (M±m)*

| Пол | Сост | Отвед. | Показатели | | | | |
|-----|-------|--------|------------------|------------------|------------------|-------------------|------------------|
| | | | P, мм | Q, мм | R, мм | S, мм | T, мм |
| м | покой | II | 0,898 ±0,046 | -0,266 ±0,062 | 10,336 ±0,514 | -1,420 ±0,184 | 4,483 ±0,174 |
| | | V5 | 0,613 ±0,024 | -0,516 ±0,114 | 14,785 ±0,543 | -3,670 ±0,244 | 5,917 ±0,184 |
| | | V6 | 0,560 ±0,044 | -0,679 ±0,144 | 12,833 ±0,444 | -1,532 ±0,168 | 4,726 ±0,249 |
| | нагр | II | 1,048* ±0,073 | -0,284 ±0,063 | 10,115 ±0,318 | -1,827* ±0,130 | 3,939* ±0,131 |
| | | V5 | 0,591 ±0,033 | -0,679 ±0,123 | 14,584 ±0,632 | -3,260* ±0,321 | 5,731 ±0,330 |
| | | V6 | 0,561 ±0,036 | -0,811 ±0,103 | 11,752 ±0,350 | -1,310* ±0,149 | 4,132* ±0,230 |
| д | покой | II | 0,971 ±0,066 | -0,321 ±0,062 | 9,237 ±0,417 | -1,476 ±0,145 | 3,657 ±0,154 |
| | | V5 | 0,616 ±0,024 | -0,577 ±0,114 | 11,813 ±0,574 | -1,911 ±0,246 | 4,499 ±0,125 |
| | | V6 | 0,593 ±0,023 | -0,612 ±0,143 | 9,813 ±0,436 | -1,029 ±0,123 | 4,082 ±0,223 |
| | нагр | II | 1,234* ±0,071 | -0,312 ±0,062 | 8,984 ±0,518 | -1,658 ±0,190 | 3,293* ±0,171 |
| | | V5 | 0,633 ±0,033 | -0,564 ±0,133 | 11,129 ±0,693 | -2,344* ±0,313 | 4,396 ±0,230 |
| | | V6 | 0,613 ±0,033 | -0,665 ±0,103 | 9,542 ±0,430 | -1,190* ±0,193 | 3,488* ±0,220 |

*Примечания: * - достоверность различий по сравнению с покоем.*

Уменьшение общей длительности сердечного цикла, времени предсердно-желудочковой проводимости и электрической систолы в ответ на нагрузку свидетельствует об усилении влияния на миокард со стороны симпатического отдела автономной нервной системы. Увеличение амплитуды зубца P связано, вероятно, с интенсификацией деятельности предсердий в ответ на нагрузку.

В исследовании была также изучена частота встречаемости некоторых функциональных изменений ЭКГ у детей 13 лет. У части детей наблюдались различные нарушения хронотропной функции миокарда. Частота встречаемости синусовой аритмии составляла 10 % у мальчиков и 12 % – у девочек. Синусовая тахикардия наблюдалась в среднем у 12 % детей обоего пола. Синусовая брадикардия наблюдалась у 2-4 % школьников. Нарушения внутрижелудочковой проводимо-

сти регистрировались в 10-12 % случаев, нарушения процессов реполяризации миокарда – у 10-12 % детей. В целом, частота встречаемости функциональных изменений ЭКГ у детей 13 лет существенно уменьшается по сравнению с младшими школьниками.

Высокая распространенность различных функциональных нарушений сердечного ритма является одной из отличительных особенностей хронотропной функции сердца в детском возрасте. Нарушения сердечного ритма могут быть связаны с процессами формирования механизмов вегетативной регуляции сердца. В частности, тахикардия возможно обусловлена положительным хронотропным эффектом со стороны симпатических нервов. Такие функциональные изменения миокарда, как нарушения внутрижелудочковой проводимости, нарушения процессов реполяризации миокарда связаны, вероятно, с морфологическим и функциональным созреванием сердечной мышцы на данном этапе онтогенеза, а также с гетерохронностью процессов роста и развития сердца.

В результате проведенного исследования были получены данные по продолжительности основных фаз и периодов сердечного цикла у подростков 13 лет (табл. 7). Полученные величины параметров сократительной функции миокарда детей 13 лет соответствуют возрастным нормам. Различий показателей, характеризующих сократительную функцию миокарда, между детьми разного пола не отмечено.

Для более полной оценки функционального состояния сердечно-сосудистой системы и характеристики сократительной функции миокарда подростков 13 лет было проведено изучение реакции центрального звена системы кровообращения на дозированную физическую нагрузку (табл. 7).

Таблица 7

Изменение длительности фаз сердечного цикла в состоянии относительного покоя и при физической динамической нагрузке у подростков 13 лет (M±m)

| Момент исслед. | Пол | R-R | ФАС | ФИС | Г | Е | Sm | So | Sэ | Д |
|----------------|-----|-----------------|--------------|---------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|
| Покой | М | 762.4 ±28.2 | 48.3 ±1.1 | 34.4 ±2.1 | 82.7 ±2.2 | 233.7 ±5.8 | 268.1 ±6.1 | 316.4 ±5.4* | 336.6 ±8.7 | 448.3 ±36.2 |
| | | 632.1 ±22.6* | 47.1 ±1.8 | 28.7 ±1.7* | 75.8 ±2.2* | 218.0 ±7.1* | 248.1 ±6.7* | 293.4 ±4.6* | 308.2 ±3.5* | 381.7 ±31.2 |
| Покой | Д | 778.7 ±30.2 | 48.5 ±1.8 | 32.6 ±1.9 | 81.1 ±2.1 | 252.2 ±10.8 | 284.8 ±10.6 | 333.3 ±10.1 | 357.0 ±13.5 | 446.2 ±30.8 |
| | | 606.9 ±28.4* | 46.8 ±2.1 | 27.0 ±1.9* | 73.4 ±2.8* | 213.7 ±6.1* | 245.9 ±8.4* | 240.7 ±7.4* | 287.5 ±7.5* | 326.9 ±23.5* |

*Примечание: * – достоверность различий показателей между исходным состоянием и нагрузкой.*

При изучении реакции сократительной функции миокарда на физическую динамическую нагрузку было показано, что у подростков 13 лет происходят существенные перестройки фазовой структуры сердечного цикла.

В 13-летнем возрасте у детей обоего пола динамическая физическая нагрузка вызывала существенное снижение длительности сердечного цикла, продолжительности фазы изометрического сокращения, периода напряжения, электрической, механической и общей систол. Кроме того, у девочек 13 лет, отмечено существенное уменьшение продолжительности диастолы при физической нагрузке. Выявленное снижение длительности сердечного цикла у мальчиков 13 лет, происходящее за счет уменьшения продолжительности периода напряжения без существенного изменения времени диастолы, свидетельствует о благоприятной реакции сердечно-сосудистой системы на физическую нагрузку, поскольку период расслабления является одним из ведущих факторов саморегуляции сокращения миокарда и восстановления энергетических запасов в мышечных клетках. Выявленное уменьшение продолжительности сердечного цикла без существенного изменения времени диастолы не нарушает восстановление энергетических ресурсов миокарда и обуславливает эффективность последующей систолы [10; 14; 18].

У большинства девочек 13 лет снижение длительности сердечного цикла за счет существенного укорочения времени диастолы свидетельствует о более напряженной адаптации сократительной функции миокарда к физической нагрузке по сравнению с мальчиками этого возраста.

Результаты изучения кровообращения головного мозга показали достоверное повышение тонуса мозговых артерий крупного и среднего калибра, что соответствует возрастной динамике мозгового кровообращения. Исследование не показало достоверных различий изученных показателей между мальчиками и девочками в 13 лет.

Для характеристики функционального состояния мозгового кровообращения детей 13 лет нами использована умственная нагрузка (табл. 8).

Таблица 8

Динамика показателей мозгового кровообращения детей 13 лет при действии умственной нагрузки (M±m)

| Группа | Показатели | | | | | | | | | |
|--------|---------------------|---------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
| | А, Ом | | АЧП, у.е. | | di, % | | a/T, % | | ЧСС, уд/м | |
| | ИС | Н | ИС | Н | ИС | Н | ИС | Н | ИС | Н |
| 13 лет | | | | | | | | | | |
| 1 | 0,212 ± 0,011 | 0,208 ± 0,010 | 2,76 ± 0,17 | 3,33 ± 0,14* | 61,1 ± 1,19 | 51,8 ± 1,37* | 21,3 ± 0,32 | 17,8 ± 0,29* | 86,6 ± 2,67 | 87,9 ± 2,64 |
| 2 | 0,246 ± 0,012 | 0,222 ± 0,011 | 3,16 ± 0,16 | 2,50 ± 0,12* | 66,0 ± 1,21 | 61,4 ± 1,28* | 21,0 ± 0,28 | 22,7 ± 0,19* | 83,7 ± 2,61 | 89,6 ± 2,56* |

*Примечание И.С. – исходное состояние; Н – умственная нагрузка; * - достоверные отличия показателей по сравнению с исходным состоянием; 1 группа – дети с увеличением АЧП; 2 группа – дети со снижением АЧП*

У всех испытуемых 13 лет умственная нагрузка сопровождалась достоверным снижением дикротического индекса (di) (табл.8). Следовательно, краткосрочная адаптация мозгового кровообращения к умственной нагрузке характеризовалась существенным снижением тонуса мозговых артерий малого калибра, что соответствует результатам изучения мозгового кровообращения у детей школьного возраста при различных видах умственной деятельности [3, 17]. Результаты нашего исследования согласуются с данными комплексных электро- и реоэнцефалографических исследований при различных видах умственной деятельности у детей и взрослых испытуемых показавших, что повышение функциональной активности отдельных областей головного мозга сопровождается развитием регионарной функциональной гиперемии [12].

Таким образом, выявленное у детей 13 лет снижение тонического напряжения церебральных артерий малого калибра является проявлением ауторегуляции мозгового кровотока, направленной на поддержание адекватного кровоснабжения нервной ткани при повышении ее функциональной активности во время умственной деятельности.

Разнонаправленные изменения остальных показателей РЭГ обусловили проведение индивидуального анализа в соответствии с динамикой показателя АЧП. Все испытуемые были разделены на 2 группы. В группу 1 вошли дети с увеличением АЧП (80,0 % мальчиков и 78,0 % девочек). Группу 2 составили испытуемые со снижением АЧП (20,0% мальчиков и 22,0 % девочек).

Умственная нагрузка вызывала у всех испытуемых 1 группы (табл.8) достоверное (t-2,2-2,3) повышение показателя АЧП, снижение дикротического индекса и а/Т (t-2,2-2,4). Следовательно, реакция мозгового кровообращения характеризовалась существенным увеличением артериального притока, снижением тонуса мозговых артерий крупного, среднего и малого калибра в лобных областях головного мозга. Выявленные изменения мозгового кровообращения при умственной деятельности свидетельствуют о том, что данная реакция системы мозгового кровообращения на умственную деятельность не сопровождается существенным напряжением механизмов адаптации [4; 8; 17].

У всех детей 2 группы наблюдалось достоверное снижение АЧП, дикротического индекса (t-2,3-2,4) и возрастание а/Т (t-2,6), а также достоверное (t-2,2-2,6) увеличение ЧСС (табл. 8). Следовательно, реакция мозгового кровообращения характеризовалась снижением артериального притока, повышением тонуса крупных и средних мозговых артерий в лобных областях головного мозга на фоне значительного возрастания ЧСС.

Отмеченное снижение артериального притока и повышение тонуса церебральных артерий крупного калибра можно характеризовать как проявление реакции ауторегуляции мозгового кровообращения, обусловленное изменениями параметров центральной гемодинамики. Выявленное повышение тонического напряжения церебральных артерий характеризует напряжение механизмов регуляции мозгового кровообращения при умственной деятельности [4; 17].

ВЫВОДЫ

1. У детей 13 лет сохраняются достоверные половые различия в значениях частотных и временных показателей variability сердечного ритма. У девочек отмечена более высокая активность парасимпатического отдела автономной

нервной системы в сравнении с мальчиками, что свидетельствует об их лучших адаптационных возможностях в данном возрасте. Наиболее высокие адаптационные возможности и хорошее функциональное состояние организма выявлены у детей 13 лет, характеризующихся сбалансированным и парасимпатическим типом регуляции variability сердечного ритма.

2. Индивидуальный анализ электрокардиограмм детей 13 лет позволил выявить частоту встречаемости некоторых функциональных изменений ЭКГ на данном отрезке онтогенеза. Наиболее частыми в данном возрасте являются различные нарушения хронотропной функции миокарда, такие как синусовая аритмия и синусовая тахикардия. Также распространены нарушения внутрижелудочковой проводимости. Такие функциональные изменения миокарда, как нарушения проведения в предсердиях, электрическая альтернация, нарушения процессов реполяризации миокарда, встречались крайне редко. В целом, с возрастом частота возникновения указанных изменений существенно уменьшается.

3. Динамическая физическая нагрузка у детей обоего пола в 13 лет вызывала существенное снижение длительности сердечного цикла, продолжительности периода напряжения, укорочение механической, электрической и общей систол. Выявленное снижение длительности сердечного цикла у мальчиков 13 лет, происходящее за счет уменьшения продолжительности периода напряжения без существенного изменения времени диастолы, свидетельствует о благоприятной адаптации сердечно-сосудистой системы к физической нагрузке. У девочек 13 лет снижение длительности сердечного цикла за счет существенного укорочения диастолы свидетельствует о более напряженной адаптации по сравнению с мальчиками этого возраста.

4. Срочная адаптация кровообращения головного мозга к умственной нагрузке у большинства подростков 13 лет не сопровождалась напряжением механизмов регуляции мозгового кровообращения и носила благоприятный характер. При этом наблюдалось увеличение артериального притока, снижение тонуса мозговых артерий в лобных областях головного мозга. Срочная адаптация мозгового кровообращения к умственной нагрузке у 25,0% испытуемых имела неблагоприятный характер и характеризовалась напряжением механизмов регуляции. Умственная деятельность сопровождалась снижением артериального притока, повышением тонуса мозговых артерий крупного и среднего калибра при существенном возрастании частоты сердечных сокращений.

5. Утренняя концентрация ДГЭА в слюне зависит возраста и пола испытуемых. Уровень надпочечных андрогенов выше у 13-летних детей по сравнению с 12-летними, а у девочек выше, чем у мальчиков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баевский Р. М. Variability сердечного ритма. Медико-физиологические аспекты // **ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ СЕРДЕЧНОГО РИТМА: Теоретические аспекты и практическое применение** // Тезисы докладов IV всероссийского симпозиума с международным участием, 19–21 ноября 2008 г., посвященного юбилею заслуженного деятеля науки РФ, профессора Романа Марковича Баевского. Ижевск 2008

2. Баевский, Р.М. Оценка адаптационных возможностей организма и риск развития заболеваний / Р.М. Баевский, А.П. Берсенева. – М.: Медицина, 1997. – 236 с.
3. Безобразова В.Н. Динамика показателей мозгового и системного кровообращения у школьников 9-10 и лет под влиянием умственной нагрузки // Новые исследования по возрастной физиологии. – 1982. – Вып.2. – С. 9-11.
4. Безобразова В.Н., Догадкина С.Б., Пономарева Т.А. Возрастное развитие периферического отдела сердечно-сосудистой системы // Физиология развития ребёнка: руководство по возрастной физиологии / Под ред. М.М. Безруких, Д.А. Фарбер. – М. - Воронеж: МПСИ, 2010. – 767 с.
5. Берсенева И.А. Оценка адаптационных возможностей организма у школьников на основе анализа вариабельности сердечного ритма в покое и при ортостатической пробе: Автореф. дис. канд. биол. наук. – М., 2000. – 17 с.
6. Вейн А.М. Вегетативные расстройства / А.М. Вейн, Т.Г. Вознесенская. – М.: Медицинское информационное агентство, 2003. – 352с.
7. Галеев А.Р. Взаимосвязь типа вегетативной регуляции и потребности в двигательной активности / А.Р. Галеев, Л.Н. Игишева – 2002. – <http://www.ortoplus.da.ru/>; ortoplus@mail.ru
8. Зиненко Е.С. Срочная адаптация центральной гемодинамики и кровообращения головного мозга детей дошкольного возраста к умственной нагрузке: автореф. дис... канд. биол. наук. – М., 2010. – 19 с
9. Игишева, Л.Н. Возрастные индивидуально–типологические особенности вариабельности ритма сердца у детей и подростков / Л.Н. Игишева, А.Р. Галеев, Е.А. Анисова // Вестник аритмологии. – 2000. – № 18. – С. 86.
10. Индивидуальные особенности развития системы кровообращения школьников / Под ред. И.О. Тупицына. – М, 1995. – 64 с.
11. Казин Э.М. Оценка адаптивных возможностей организма подростков с различным темпом полового созревания по соматическим, вегетативным и гормональным показателям [Текст] / Э.М. Казин, Р.М. Мирзаханова, О.Л. Тарасова // Валеология. – 2002. – № 3. – С. 70-73.
12. Князева М.Г., Тупицын И.О. Взаимосвязь возрастных характеристик биоэлектрической активности и мозгового кровотока // Физиология человека. – 1984. – Т. 10, № 3. – С. 411-416.
13. Макаров Л. М., Киселева И. И., Долгих В. В. и др. Нормативные параметры ЭКГ у детей // Педиатрия. – 2006. – № 2. – С. 4-10.
14. Меерсон Ф.З. Адаптация сердца к большой нагрузке и сердечная недостаточность. – М.: Наука, 1975 – 263 с.
15. Михайлов В.М. Вариабельность ритма сердца: опыт практического применения. – Иваново: Иван. Гос. Мед. академия, 2002. – 290 с.
16. Панкова Н.Б. Функциональное развитие вегетативной регуляции сердечно–сосудистой системы в онтогенезе человека // Физиол. журнал им. И.М. Сеченова. – 2008. – 94, № 3. – С. 267-275.
17. Пономарёва Т.А. Срочная адаптация системы кровообращения детей младшего школьного возраста к работе на компьютере: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – М., 2005. – 20 с.
18. Преснякова Н.М. Взаимосвязь сократительной функции миокарда с основными показателями гемодинамики у современных школьников 7 – 17 лет: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – М., 1979. – 24 с.

19. Рублева Л.В. Развитие основных функций миокарда детей 7-15 лет, проживающих в различных экологических условиях: дис. ... канд. биол. наук. – М., 1999. – 188 с.
20. Рябыкина Г.В. Вриабельность ритма сердца / А.В. Соболев. – 2001. – 200 с.
21. Справочник педиатра-кардиоревматолога / Под ред. Р.Э. Мазо. – Минск: Наука и техника, 1982. – 342 с.
22. Ширяева И.С. Параметры функционального состояния кардиореспираторной системы детей [Текст] / И.С. Ширяева, Б.П. Савельев // Детский доктор. – 1999. – № 1. – С. 41-43.
23. Heart rate variability. Standards of Measurement, Physiological interpretation and clinical use // *Circulation*. – 1996. – № 93. – P. 1043-1065.
24. Kushnir, M.M. Liquid chromatography-tandem mass spectrometry assay for androstenedione, dehydroepiandrosterone, and testosterone with pediatric and adult reference intervals / M.M. Kushnir, T. Blamires, A.L. Rockwood [et al.] // *Clin. Chem.* – 2010. – V. 56, № 7. – P. 1138-1147.
25. Mouritsen, A. The pubertal transition in 179 healthy Danish children: associations between pubarche, adrenarche, gonadarche, and body composition / A. Mouritsen, L. Aksglaede, K. Soerensen // *Eur. J. Endocrinol.* – 2012. – V. 168, № 2. – P. 129-136.
26. Pagani M. Power spectral analysis of heart rate and arterial pressure variabilities as a marker of sympatho-vagal interaction in man and conscious dog / Pagani M, Lombardi F, Guzzetti S et al // *COT Res.* – 1986. – № 59. P. 178-193.
27. Pomeranz M. Assessment of autonomic function in humans by heart rate spectral analysis/ Pomeranz M, Macaulay R.B, Caudill M.A. // *Am J Physiol.* – 1985. – № 248: H151–H153.
28. Saczawa, M.E. Methodological considerations in use of the cortisol/DHEA(S) ratio in adolescent populations / M.E. Saczawa, J.A. Graber, J. Brooks-Gunn [et al.] // *Psychoneuroendocrinology.* – 2013. – V. 15.
29. Thankamony, A. Higher levels of IGF-I and adrenal androgens at age 8 years are associated with earlier age at menarche in girls / A. Thankamony, K.K. Ong, M.L. Ahmed // *J. Clin. Endocrinol. Metab.* – 2012. – V. 97, № 5. – P. 786-790.
30. Topcu B Akalin The autonomic nervous system dysregulation in response to orthostatic stress in children with neurocardiogenic syncope // *Cardiol Young.* – 2010. – Apr;20(2):165–72. Ep 2010 Mar 22.
31. Ubiria I. Relation between Heart Rate Variability and Peak Expiratory Flow in Healthy Schoolchildren / Ubiria I., Telia A., Abuladze G. // *Bull. Of the Georgian Academy of Sciences.* – 2003. – 167, № 3. – P. 546-548.
32. Van Hulle, C.A. Genetic and environmental contributions to covariation between DHEA and testosterone in adolescent twins / C.A. Van Hulle, M.N. Moore, E.A. Shirtcliff [et al.] // *Behav. Genet.* – 2015. – V. 45, № 3. – P. 324-340.
33. Yamamoto Y. Autonomic control of heart rate during exercise studied by heart rate variability/ Yamamoto Y., Hughson RL, Peterson JC // *J. Appl. Physiol.* – 1991. – 71. – P. 1143-1150.

ОСОБЕННОСТИ ГЕМОДИНАМИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ МЫШЕЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ У ДЕТЕЙ И ПОДРОСТКОВ. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ.

Р.М. Васильева¹
ФГБНУ «Институт возрастной физиологии
Российской академии образования», Москва

Рассмотрены различия и сходство гемодинамических реакций у детей разного возраста и пола на динамические нагрузки различной величины и длительности. Проанализированы ответы сердечно-сосудистой системы на сопоставимые нагрузки у детей и взрослых. Выявлено, что сердечно-сосудистая система детей реагирует на физические нагрузки иначе, чем у взрослых. Обсуждаются механизмы, лежащие в основе этих различий. Приведен ряд работ, посвященных исследованию изменений гемодинамики у детей и подростков под влиянием тренировок на выносливость.

Ключевые слова: центральная гемодинамика, физическая нагрузка, дети.

Hemodynamic muscle activity in children and adolescents. Literature review.
There were examined differences and similarities of hemodynamic responses in children of different age and sex to the dynamic loads of various volume and duration. The responses of cardiovascular system to the similar workloads in children and adults were analyzed. It was found out that the cardiovascular system of children responds to exercises differently than that of adults. The mechanisms underlying these differences are discussed. A number of studies on the hemodynamic changes in children and adolescents under the influence of endurance training was held.

Keywords: central hemodynamics, physical exercise, children.

Возможность выполнить физическую нагрузку зависит от вегетативного обеспечения мышечной деятельности и, в значительной степени, от функционального состояния сердечно-сосудистой системы (ССС).

Регуляция кровообращения при мышечной деятельности находится под контролем сложной нейрогуморальной системы, в которую входит комплекс механизмов, начиная от саморегуляции сердца и кончая влиянием на деятельность CCC высших отделов мозга [9; 11; 35; 46; 69; 79]. В условиях нормального функционирования организма все эти механизмы при нагрузке действуют в тесной взаимосвязи и могут оказывать взаимное влияние друг на друга. Однако роль каждого механизма и доля его участия в регуляции гемодинамики, а также характер и степень их взаимодействия при физической нагрузке все еще недостаточно изучены.

ОСОБЕННОСТИ ХРОНОТРОПНОЙ РЕАКЦИИ СЕРДЦА НА ФИЗИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ У ДЕТЕЙ ШКОЛЬНОГО ВОЗРАСТА

Важным условием мышечной деятельности является увеличение МОК, который обеспечивает необходимый уровень кровоснабжения работающих мышц,

Контакты: ¹ Васильева Р.М. – E-mail: <w.rm@yandex.ru>

доставку к ним кислорода и выведение продуктов метаболизма. Из двух составляющих ЧСС и УО, определяющих величину этого параметра, более изучены изменения ЧСС.

Мобилизация сердечной деятельности при мышечной работе в значительной мере, хотя и не всецело, является рефлекторным ответом на импульсацию с рецепторов сокращающихся мышц. В изменении функции циркуляторного аппарата при мышечной деятельности вероятным представляется также участие рефлекторного ответа на импульсацию, передаваемую с мышечных рецепторов, чувствительных к местным химическим сдвигам. Однако этот механизм, по-видимому, присоединяется несколько позднее, поскольку учащение сердцебиений у людей начинается через 1-2 сек. после начала сокращения мышц [69, 70], и за такой интервал времени метаболиты или ионы K^+ скорее всего не успевают накопиться в концентрации, достаточной для раздражения рецепторов. Несмотря на то, что участие рефлекторного воздействия на сердце с рецепторов сокращающихся мышц можно считать доказанным, это не единственный фактор, обеспечивающий учащение и усиление сокращений сердца при мышечной деятельности. Так, предполагается, что возбуждение, возникающее в двигательной зоне мозговой коры, захватывает и нейроны, воздействующие на циркуляторный и дыхательный аппарат. Доказана также возможность условно-рефлекторной мобилизации кровообращения на сигналы предстоящей мышечной деятельности [36; 54; 70].

Длительность сердечного цикла у детей также укорачивается с первой же систолы сердца, и наибольший прирост ЧСС происходит в первые 5-15 сек. мышечной работы. При изучении адаптации сердечно-сосудистой системы к физическим нагрузкам в возрастном аспекте выявлен ряд особенностей реакции ЧСС при мышечной работе у детей школьного возраста. Возрастные особенности изменений ЧСС прежде всего выражаются в скорости развертывания этого параметра.

Многие авторы, изучавшие переходные процессы от покоя к устойчивому состоянию, при таких нагрузках, как бег, плавание, езда на велосипеде, работа на велозргометре, отмечают более быстрое достижение максимальной (для данной нагрузки) частоты пульса у детей младшего школьного возраста по сравнению со старшими [7; 21; 22].

Данные о предельных значениях ЧСС при физических нагрузках показывают, что у детей 10 лет она может достигать значений 200-210 уд/мин. В.С. Фарфель и др. [17] зарегистрировал у спортсменов 11-16 лет после бега на месте ЧСС, равную 240-252 уд/мин. Подобная частота предельного сердечного ритма была отмечена А.А. Маркосяном и В.М. Король [14]. Однако в подавляющем большинстве случаев при физической нагрузке ЧСС колеблется в пределах 160-200 уд/мин. [17]. У 80 здоровых детей (6 лет) при возрастающей нагрузке на беговой дорожке по протоколу Брюса, зафиксирована средняя максимальная ЧСС 193,38 уд/мин у мальчиков и 196,78 уд/мин у девочек [51]. С возрастом при выполнении сопоставимых видов мышечной работы максимальная ЧСС снижается [7; 21; 25; 26].

В фундаментальных исследованиях Astrand P.O. [25; 28], проведенных на испытуемых в возрасте от 5 до 65 лет показано, что ЧСС, зарегистрированная при максимальных и субмаксимальных нагрузках, постепенно снижается с возрастом. По его данным, максимальная ЧСС в 10 лет составляла 210 уд./мин., в возрасте 25 лет равнялась 185 уд./мин., а у 65-летних была равна 165 уд./мин. При этом при максимальных нагрузках не было выявлено значительных различий в величинах ЧСС у испытуемых мужского и женского пола. Однако при нагрузках, состав-

лявших 50 % от максимальной, ЧСС у женщин была на 10 уд/мин. выше, чем у мужчин [25; 28].

Подобные данные о снижении с возрастом ЧСС при выполнении сопоставимых видов мышечной работы, получили и другие авторы. По данным Asmussen, ЧСС при работе обычно не превышает 210 уд/мин и при этом зависит от возраста следующим образом $F = 210 - 0.8 \cdot B$, где F – ЧСС уд/мин. B – возраст в годах. Эта формула считается общепринятой и часто приводится в различных учебниках [8].

В более поздних исследованиях у 284 здоровых мальчиков и девочек в возрасте 5-14 лет, определяли значений ЧСС при нагрузочном тестировании с использованием протокола Брюса. Значения ЧСС, найденные в этом исследовании, предлагаются в качестве эталонных значений для здоровых детей при тестировании. Авторы считают, что модифицированная ими формула $ЧСС = (200 - \text{age} \times 0.85)$ больше подходит для прогнозирования должной величины пульса у детей разного возраста при физических нагрузках [24].

Однако снижение с возрастом ЧСС происходит неравномерно, поэтому ряд авторов не находит существенных возрастных различий в частоте пульса у детей, подростков и юношей в пубертатном периоде при выполнении работы максимальной мощности. [7; 20]. Частота пульса, зарегистрированная ими при этих нагрузках, колебалась в пределах 180-205 уд/мин.

Другие авторы определяли реакцию на максимальные упражнения на беговой дорожке с использованием протокола Брюса у 347 здоровых американских детей и подростков мальчиков и девочек в возрасте от 5 до 18 лет. Девушки имели более низкую выносливость, чем мальчики всех возрастов. Однако авторы не выявили никакого существенного различия в максимальной ЧСС по возрасту или полу [23].

Показано, что у юных спортсменов 10-17 лет при выполнении велоэргометрических нагрузок повышающейся мощности, наблюдается почти линейная зависимость между ЧСС и мощностью выполняемой работы в зоне от 500 до 2000 кгм/мин. [3; 10].

Показано также, что линейная зависимость между ЧСС и величиной нагрузки у детей младшего школьного возраста наблюдается в диапазоне ЧСС от 110 до 160 уд/мин, т.е. при меньшей мощности работы, чем у старших. Более значительное увеличение мощности работы у детей младшего школьного возраста вызывает резкое возрастание ЧСС и может привести к нарушению линейных соотношений между ЧСС и величиной нагрузки [7; 10; 20].

В отношении продолжительности восстановительного периода ЧСС после физической нагрузки в литературе встречаются противоречивые данные. Имеются наблюдения, свидетельствующие, что восстановительные процессы после малых и средних нагрузок у детей протекают быстрее. Это происходит, очевидно, в силу большей мобильности вегетативных систем. После стандартных, продолжительных и интенсивных нагрузок у детей имеет место более затяжной характер восстановления по сравнению с более старшими и взрослыми [19; 20; 21].

Выявлены гендерные различия в скорости восстановления ЧСС после нагрузок максимальной мощности: у девочек отмечено более медленное восстановление ЧСС, чем у мальчиков [52]. Причем такие различия обнаружены в возрасте 6-8 лет [49], 10 лет [52] и 9-11 лет [50]. При нагрузках меньшей интенсивности, динамика восстановления ЧСС у мальчиков и девочек была сходной [52].

Также были протестированы 294 здоровых ребенка в возрасте от 5 до 14 лет на беговой дорожке с использованием протокола Брюса. Максимальный сердечный ритм при нагрузке у детей в зависимости от пола и возраста находился в диапазоне от 187 до 235 уд/мин. Кроме того, авторы особо отмечают, что все дети имели синусовый ритм в состоянии покоя. Аритмии не отмечены и во время упражнений на беговой дорожке. Аритмия была найдена у 5 детей в раннем восстановительном периоде. При отсутствии у детей структурных заболеваний сердца, аритмия в раннем восстановительном периоде, вызванная упражнениями, по мнению авторов, патологией не является [42].

Наряду с ЧСС, величину главного гемодинамического параметра – МОК – определяет ударный объем (УО) сердца.

МЕХАНИЗМЫ УВЕЛИЧЕНИЯ УО ВО ВРЕМЯ ФИЗИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

Применение современных методов измерения сердечного выброса (эхо-доплеркардиографии - ЭхоКГ, грудного биоэлектрического импеданса), позволили определить величин у УО у детей разного возраста в покое и при различных физических нагрузках [55; 61; 66; 64].

За увеличение УО во время работы ответственен ряд механизмов: увеличение симпатической стимуляции, увеличение ЧСС, усиление механизмов инотропизма и Франка-Старлинга, приводящих к увеличению систолического выброса крови и др. Удельный вес каждого из этих факторов зависит от конкретных условий выполнения физической работы [35; 66].

Современные методы ультразвуковой диагностики предоставляют изобилие эмпирической информации о нормальных реакциях кровообращения на динамическую работу. Эти данные согласуются с классической схемой, согласно которой изменение периферического сопротивления, в результате дилатации артериол, облегчают приток крови к работающим мышцам в соответствии с увеличением их метаболических потребностей. В этой модели сердечные реакции регулируются количеством системного венозного возврата и сопровождаются увеличением ЧСС, чтобы поддерживать постоянный объем наполнения желудочков. При возрастающей нагрузке в вертикальном положении УО в начале увеличивается, а затем выходит на плато, по мере того как интенсивность работы возрастает. Первоначальное увеличение УО отражает наполнение сердца кровью от работающих конечностей, что происходит при работе в вертикальное положение. По мере нарастания интенсивности работы хорошо заметны улучшения как инотропной так и лузитропной функций сердца. Это способствует поддержанию стабильности УО и наполнению желудочков, вопреки прогрессивному сокращению продолжительности систолического и диастолического периодов. Значительное падение с периферического сопротивления выступает в качестве основного фактора регулирующего поток крови во время работы [66].

Среди механизмов, которые приводят к увеличению УО во время работы, важная роль принадлежит так называемому «мышечному насосу», который включается с первых движений, при динамических нагрузках. Благодаря «мышечному насосу», сокращения активных мышц приводит к механическому сдавливанию находящихся в них вен и продвижению венозной крови по направлению к сердцу. Значение этого механизма наиболее важно, когда испытуемый выполняет работу в вертикальном положении тела [54]. Усиление дыхательных движений при нагрузке приводит к увеличению абдоминально-грудного градиента давлений

и также улучшает венозный возврат к сердцу [67]. Вопрос о «мышечной помпе» подробно и обстоятельно с современных позиций рассмотрен в обзоре Rowland T.W. [67] с привлечением классических и последних данных. Автор определяет «мышечный насос» как ведущий фактор, обуславливающий максимальный сердечный выброс, соответствующий максимальному потреблению кислорода.

Исходя из этого, при всех исследованиях изменений УО в процессе мышечной работы необходимо принимать во внимание положение испытуемого в пространстве [54]. Это обусловлено тем, что при нагрузке в положении лежа увеличение МОК происходит в основном за счет учащения ЧСС, а УО по сравнению с состоянием покоя, увеличивается незначительно (на 10-20 %). Увеличение МОК при мышечной работе в вертикальном положении происходит преимущественно за счет увеличения УО [29, 30]. Эта закономерность проявляется при исследованиях здоровых мужчин и женщин, спортсменов и не спортсменов [30].

Многokrратно показано, что УО возрастает по мере увеличения нагрузки вплоть до достижения некоторых максимальных значений, которые определяются характером выполняемой работы и индивидуальными особенностями испытуемого [11; 43; 46; 51; 54; 78].

В классических исследованиях Astrand P.O. et al. [27; 28], выполненных на взрослых добровольцах мужчинах и женщинах 20-31 года, с применением прямого метода Фика и катетеризации сердца было установлено, что при работе возрастающей мощности на велоэргометре с началом нагрузки происходит одновременное увеличение ЧСС и УО. С увеличением мощности работы УО продолжает увеличиваться до тех пор, пока ЧСС не составит приблизительно 110 уд/мин. При таком пульсе величина УО сердца приближается к максимальной для данного испытуемого. При этом потребление кислорода достигает всего 40 % от его максимального значения. При дальнейшем увеличении мощности работы МОК растет только за счет увеличения ЧСС, а систолический объем остается без изменений.

В исследованиях на взрослых показано, что при нагрузках аэробного характера МОК возрастает с увеличением мощности работы, причем повышение МОК в зависимости от нагрузки носит линейный характер. [10; 11; 28; 51]. При физической работе МОК у детей также растет пропорционально величине нагрузки.

Многие вопросы относительно динамики изменения УО в период работы при различных видах физических нагрузок до настоящего времени остаются недостаточно выясненными.

Так, при работе, выполняемой в течение 6 минут в условиях максимального потребления кислорода, когда пульс доходил до 200 уд/мин, Astrand P.O. [27] не наблюдал какого-либо снижения УО по сравнению с его значениями во время выполнения меньших нагрузок. Таким образом, при такой высокой ЧСС диастолическое наполнение сердца было, по меньшей мере, достаточным для поддержания максимальных значений ударного выброса.

В исследованиях Eclund et al. [37], испытуемые в течение часа выполняли нагрузку на велосипеде. При этом величина МОК у них не снижалась, а ЧСС и потребление кислорода постоянно возрастали. Артериальное давление в большом круге снижалось, объем крови оставался без изменений. Автор считает, что подобные изменения во время длительных нагрузок связаны с уменьшением тонуса вен и последующим перераспределением объема крови.

В то же время в литературе сообщается о фактах снижения УО в процессе работы, причем чаще это явление наблюдается в исследованиях на детях. Этот фе-

номен может быть связан с двумя причинами: во-первых с нарушением диастолического наполнения желудочков сердца при высоком пульсе (при ЧСС превышающей 180 уд/мин), во вторых с развитием процессов утомления, например, при длительной работе.

При очень тяжелой и продолжительной работе наблюдается уменьшение УО. Б. Салтин [69] наблюдал уменьшение УО и увеличение ЧСС у испытуемых во время непрерывной 3-часовой нагрузки при потреблении кислорода, составлявшем 75% от максимального уровня [68].

В.М. Король [12; 13] исследовала реакции ССС у подростков и юношей 13 – 17 лет, которые выполняли на велоэргометре работу ступенчато возрастающей мощности до отказа. Каждый испытуемый выполнял по 5 нагрузок: 1,0; 1,5; 2,0; 3,0; 4,0 Вт/кг без перерыва. Время работы на первой ступени составляло 5 мин, на второй- 4, на третьей – 3, на четвертой и пятой – по 2 мин. Автором показано, что между мощностью работы и ЧСС выявляется зависимость экспоненциального характера. Самые высокие значения ЧСС отмечались при работе критической мощности на уровне МПК. При работе в зоне умеренной мощности (на I-II ступенях нагрузок), величина ЧСС у школьников 13-17 лет находилась в пределах 109-144 уд/мин. При работе большой мощности ЧСС колебалась в пределах 135-170 уд/мин. Частота пульса, равная 170-190 уд/мин, наблюдалась у школьников 13-17 лет при нагрузках предельной или околопредельной мощности (IV-V ступени нагрузки). С возрастом ЧСС на всех ступенях нагрузки становилась меньше. Более выражены изменения хронотропной функции сердца при работе были в 16-17 лет. При работе ступенчато возрастающей мощности увеличение УО регистрировалось у школьников 13-17 лет на I-III ступенях, т.е. при работе в зонах умеренной и большой мощности. ЧСС при максимальных значениях УО крови колебалась в пределах 140-160 уд/мин. В дальнейшем, при повышении мощности работы, отмечалась стабилизация величины УО крови. При этом учащихся VIII класса автор наблюдала снижение УО на 4-8 мл по сравнению с началом работы на I-III ступенях нагрузки, когда пульс достигал 179-184 уд/мин. [12; 13].

Ряд авторов наблюдал у детей 12-14 лет снижение УО по сравнению с доробочим уровнем после выполнения ими длительных или больших по объему беговых нагрузок при увеличении пульса выше 180 уд/мин. [1; 4].

Применение реографического метода определения УО, позволило зарегистрировать изменения гемодинамических процессов непосредственно во время двигательной деятельности и выявить важные закономерности работы сердца у подростков 12 и 14 лет, занимающихся различными видами спорта [4; 5]. Показано, что формирование адекватного нагрузке сердечного выброса в различных возрастных группах имеет особенности и определяется функциональными возможностями сердца увеличивать УО крови. При этом происходит формирование определенной функциональной доминирующей системы, направленной на обеспечение организма кислородом, как важнейшее условие высокого уровня физической работоспособности.

Сделана попытка установить порог адекватной гемодинамической реакции, не сопровождающейся снижением УО при работе для групп пловцов и подростков, не занимающихся спортом, в возрасте 12 и 14 лет. Таким порогом, по мнению автора, является нагрузка, равная 0,5 Вт/кг. Показано, что типы адаптации УО крови к нагрузке повышающейся мощности зависят от вида спорта и не зависят от возраста [4; 5].

Данные об изменениях УО и МОК у детей при физических нагрузках показывают, что механизмы обеспечения должного МОК при работе имеют свои возрастные особенности. При нагрузках небольшой мощности у детей наблюдается отчетливое повышение УО. При дальнейшем повышении мощности нагрузки это увеличение не столь существенно. Так, у детей 8-9 лет при напряженной мышечной работе систолический объем крови может достигать 70 мл, а у 10-11-летних – 80 мл. При этом МОК у них может увеличиться в 4-5 раз по сравнению с уровнем покоя. Однако происходит это в основном за счет увеличения ЧСС [21].

При физических нагрузках в условиях максимального потребления кислорода (МПК) величина МОК с возрастом повышается [21]. У детей 8-9 лет МОК в этих условиях увеличивается по сравнению с величиной покоя в 4-5 раз, составляя в среднем 16 л/мин, у подростков 15 лет возрастал в 5-6 раз, равняясь в среднем 23 л/мин, у взрослых – в 6-7 раз, достигая 28-30 л/мин.

Так, максимальные значения УО у детей и подростков в 2 раза превосходят его значения в состоянии покоя, а у взрослых – в 2,5 раза, достигая гораздо больших значений [15]. Вместе с тем, ЧСС при максимальных нагрузках может быть у подростков несколько выше, чем у взрослых [1; 2; 21; 62; 63; 73; 75].

У детей в большей степени, чем у взрослых, МОК в условиях МПК обеспечивается учащением сердечной деятельности [38].

Невозможность значительного увеличения МОК у детей авторы связывают с тем, что УО у них еще не достигает величин взрослого человека из-за меньших размеров сердца и мощности сердечной мышцы [62; 63].

Отмечено, что с возрастом значение УО в поддержании необходимого уровня МОК увеличивается по сравнению с долей ЧСС [15]. При этом анатомический рост миокарда и изменение его морфофункциональных параметров, которые создают условия для увеличения сократительной и насосной функции и возрастания сердечного выброса, адекватного потребностям растущего организма в период от 7 до 16 лет, превосходят гетерохронно [20].

В целом ряде работ, как более ранних, так и недавних, опубликованных за последнее десятилетие и проведенных с использованием современных методов исследования (в частности, доплеровской ЭхоКГ) показано, что и мальчики, и девочки имеют более низкий сердечный выброс (МОК) по сравнению со взрослыми, как при максимальных, так и при субмаксимальных нагрузках при сопоставимых уровнях потребления O_2 (VO_2) [38; 45; 60; 77]. Этот более низкий МОК обусловлен меньшими значениями УО, которые только частично восполняются большим приростом ЧСС. Более высокая артерио-венозная разница по O_2 (a-v O_2) и высокая эффективность метаболизма во время работы у детей также компенсирует их низкий УО, чтобы достигнуть аналогичного уровня VO_2 [38; 45; 60]. Несмотря на то, что большинство исследований находит более низкий УО у детей по сравнению со взрослыми при сопоставимых уровнях нагрузок, эти различия исчезали, когда значения УО были соотнесены с площадью поверхности тела [56; 77].

Подробно проанализировав имеющиеся в литературе данные, К.Р. Turley и J.H. Wilmore [74] пришли к выводу, что в этих исследованиях имеется ряд существенных недостатков, один из которых заключается в том, что многие исследователи не имели собственных данных относительно взрослых, а сравнили свои результаты, полученные на детях, с данными исследований на взрослых, взятыми из литературы [38; 39; 41; 45]. Кроме того, в работах большинства исследователей не уделено достаточного внимания раскрытию механизмов, лежащих в основе раз-

личий между взрослыми и детьми. Чтобы устранить эти недостатки, K.R. Turley и J.H. Wilmore [73; 75; 76] предприняли масштабные и обстоятельные исследования, направленные на выявление ряда механизмов, лежащих в основе различий между детьми и взрослыми. В данных исследованиях приняли участие 24 здоровых ребенка в возрасте от 7 до 9 лет и 24 взрослых в возрасте от 18 до 26 лет мужского и женского пола. Дети и взрослые выполняли максимальную и субмаксимальную нагрузку (60% от Vo_{2max}), на велоэргометре и беговой дорожке. При этом у них определяли большой комплекс показателей, используя ряд современных методов [73; 75; 76].

В покое и во время нагрузки на стадии устойчивого состояния определяли МОК, используя метод возвратного дыхания. В работе регистрировалась ЧСС с 5-секундным и 15-секундным интервалом. В покое и во время работы регистрировалось АД. Непосредственно после работы были взяты пробы крови для определения концентрации гемоглобина и для вычисления МОК.

В покое до работы эхокардиографическим способом были определены размеры левого желудочка сердца каждого испытуемого. Был рассчитан УО, среднее артериальное давление и общее периферическое сопротивление.

Измерены антропометрические показатели, рассчитаны площадь поверхности тела (m^2) и абсолютная масса мышечной и жировой ткани тела. Оценивалась масса мышц, участвующих в работе у детей и взрослых. При обработке данных был использован регрессионный анализ.

Было определено, что при работе как на велоэргометре, так и на беговой дорожке МОК был значительно ниже у мальчиков по сравнению с мужчинами и у девочек по сравнению женщинами при сравнимом уровне потребления O_2 .

Более низкий МОК у детей компенсировался значительно более высокой артерио-венозной разницей O_2 , что позволило достигнуть такого же или подобного Vo_2 . Кроме того, у детей при обоих видах работы ЧСС и общее периферическое сопротивление были выше, а УО был ниже, чем у взрослых [75].

Ударный объем при данном уровне работы был тесно связан с массой левого желудочка с коэффициентами корреляции в пределах $r=0,89-0,92$ у представительниц мужского и $r=0,88-0,93$ у представительниц женского пола.

Было сделано заключение, что реакции ССС при субмаксимальной работе различны у детей и взрослых и что эти различия определяются меньшими размерами сердца у детей. Авторы также предположили, что более низкие значения УО у детей связаны с меньшими размерами тела у них по сравнению со взрослыми. Авторы нашли, что если отнести УО к площади поверхности тела, (т.е. вычислить ударный индекс $мл/м^2$), то эти различия значительно уменьшаются или пропадают вовсе [75].

Авторы также уделили особое внимание еще одному фактору, который может вносить вклад в более низкий УО у детей.

Авторы предположили, что особую роль в меньшем увеличении УО играет объемом работающей мускулатуры, который у детей значительно меньше как по абсолютным, так и по относительным показателям по сравнению со взрослыми при выполнении сопоставимой работы.

Они показали, что общая масса мышц у мальчиков 7-9 лет составляет приблизительно 44 % их веса тела, а у взрослого человека 20-29-лет – 52 %. Таким образом, при работе, когда используется та же самая группа мышц, их объем будет значительно ниже у детей, чем у взрослых. Эти различия наблюдаются вне зави-

симости от вида выполняемых упражнений. Меньшая масса работающей мускулатуры у детей является причиной меньшего венозного возврата, что приводит к более низкому УО. Меньшая абсолютная масса мускулатуры, выполняя одну и ту же работу, может также наращивать большую концентрацию метаболитов при работе, что по системе обратной связи может приводить к более значительному увеличению ЧСС.

Зависимость реакции ЧСС от массы работающей мускулатуры показана также в исследованиях на взрослых [31; 44; 48; 71]. В исследованиях продемонстрировано, что более высокая ЧСС и низкий УО, связанный с меньшей массой мускулатуры при работе руками по сравнению с работой ногами.

Значение массы работающей мускулатуры в реакциях систем организма детей при физической работе оценили в своих исследованиях В.Д. Сонькин и В.М. Король [12; 13]. Они исследовали энерготраты и реакции системы кровообращения при работе верхними и нижними конечностями при нагрузках ступенчато возрастающей мощности на велоэргометре у одних и тех же испытуемых (мальчиков 10 и 16 лет). Авторы показали, что работа руками достоверно менее экономична и вызывает более существенные и напряженные сдвиги в ССС, чем работа ногами, даже при сопоставимом характере нагрузок [13; 18]. Полученные различия, по мнению авторов, в первую очередь объясняются тем, что при работе на велоэргометре, производимой ногами, в работе участвует значительно больший объем мышц, чем при работе руками.

В онтогенезе у детей происходит улучшение регуляции функций, определяющих адаптацию к физическим нагрузкам, что проявляется в возможности более длительно поддерживать достигнутый рабочий уровень ЧСС, МОК и в ускоренном протекании процессов восстановления.

Имеются данные, свидетельствующие о том, что совершенствование механизмов адаптации к физическим нагрузкам у детей школьного возраста происходит неравномерно. Показано, что качество регуляции сердечной деятельности, оцениваемое по ЭКГ и динамике уровня АД, в ответ на велоэргометрическую нагрузку повышающейся мощности у 13-летних мальчиков улучшается по сравнению с 11-12-летними. Однако при достижении 14-летнего возраста оно становится ниже, чем у 13-летних подростков и даже 12-летних детей [13].

На сегодняшний день появилось много работ, где специалисты в области профилактической медицины, возрастной физиологии и оздоровительной физической культуры многих стран мира указывают, что недостаток двигательной активности и психическое перенапряжение у городских детей отрицательно сказываются на их физической форме, работоспособности и формировании адаптивных реакций ССС на физическую нагрузку. Авторы подчеркивают положительное влияние физических упражнений на повышение работоспособности, состояние здоровья и развитие системы кровообращения школьников и обосновывают необходимость обновления национальных государственных программ физической подготовки для городских детей и молодежи [23; 32; 33; 34; 42; 53].

В литературе показано, что систематические занятия спортом способствуют ускорению формирования сердца юных спортсменов [21]. Рост, возрастное развитие ребенка и тренировка изменяют геометрию сердца однонаправлено. Эти процессы суммируются, и в результате под влиянием систематических физических упражнений происходит увеличение размеров сердца ребенка, которое превосходит ожидаемое в соответствии с возрастом. Причем размеры сердца у юных

спортсменов, как и у взрослых, увеличиваются в большей степени при занятиях, нацеленных на развитие общей выносливости, предъявляющих прежде всего большие требования к системе кровообращения [59; 72].

Было выявлено, что в возрасте 10-11 лет 13-недельная тренировка на выносливость привела к росту VO_{2max} , увеличению УО при максимальной нагрузке, как у мальчиков, так и у девочек. При этом мальчики увеличили VO_{2max} и УОmax в большей степени, чем девочки. Данные ЭхоКГ показали увеличение конечного диастолического диаметра ЛЖ в покое одновременно с улучшением диастолической функции у тренированных детей. Авторы предположили, что к этому могли привести морфологические изменения сердца у детей обоего пола [58].

Также обнаружено, что в покое и на последней минуте возрастающего максимального аэробного теста УО была значительно выше у велосипедистов препубертатного возраста, чем у нетренированных мальчиков. Величина УОmax была тем выше, чем выше был УО в покое. Результаты эхоплеркардиографии показали, что величина УО покоя у детей велосипедистов зависит от таких факторов, как сердечная гипертрофия, совершенствование релаксационных свойств миокарда или увеличения объема крови. Отмечено также, что динамика изменения УО во время теста была строго одинакова у тренированных и нетренированных мальчиков [57].

В других исследованиях хорошо тренированные велосипедисты (мальчики 11,9 лет) также продемонстрировали больший УИ в покое и максимальной нагрузке и более высокое VO_{2max} , чем нетренированные дети. Показано, что УОmax является критическим фактором, определяющим высокий VO_{2max} и различия между спортсменами и нетренированными мальчиками. Можно также отметить, что в обеих группах наблюдали плато УО при низком уровне интенсивности работы [65].

Некоторые авторы, напротив, нашли, что модель ответа СВ значительно отличалась у пловцов препубертатного возраста, демонстрируя постепенное увеличение УО при тестовой возрастающей нагрузке, в то время как у нетренированных детей наблюдали традиционное плато УО [55].

В своей работе George K.P. et al. [40] изучали влияние 12-недельных аэробных тренировок на морфологии и функции левого желудочка (ЛЖ) у девочек препубертатного возраста (10,5 лет), используя ЭхоКГ. Как у тренировавшихся девочек, так и девочек контрольной группы за период наблюдения произошло увеличение массы ЛЖ, внутреннего размера ЛЖ в диастолу, а также увеличение УО, которые были отнесены к нормальному росту и развитию ребенка. Снижение ЧСС покоя было единственным значимым показателем тренировочного эффекта. Исследователи предположили, что тренировка на выносливость у девочек, не достигших половой зрелости, не влияет на морфологию и функции ЛЖ или им был необходим больший объем подготовки.

Все вышесказанное еще раз подчеркивает необходимость дальнейшего углубления всесторонних знаний о влиянии физических упражнений на различные звенья ССС как одной из основных физиологических систем, обеспечивающих приспособление организма ребенка к мышечной деятельности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абзалов Р.А., Нигматуллина Р.Р. Изменение показателей насосной функции сердца у спортсменов и неспортсменов при выполнении мышечных нагрузок повышающейся мощности // Теория и практика физической культуры. – 1999. – № 8. – С. 24-26.
2. Абзалов Р.А., Нигматуллина Р.Р. Показатели ударного объема крови у юношей, занимающихся физическими упражнениями динамического и статического характера // Теория и практика физической культуры. – 2002. – № 2. – С. 13-14.
3. Белоцерковский З.Б., Любина Б.Г., Борисова Ю.А. Гемодинамическая реакция при статических и динамических физических нагрузках у спортсменов // Физиология человека. – 2002. – Т.28. – № 2. – С. 89-94.
4. Ванюшин Ю.С. Показатели кардиореспираторной системы у спортсменов разного возраста // Физиология человека. – 1998. – Т.24. – № 3. – С. 105-108.
5. Ванюшин Ю.С., Ситдииков Ф.Г. Адаптация сердечной деятельности подростков к нагрузке повышающейся мощности // Физиология человека. – 2001. – Т.27. – № 2. – С. 91-97.
6. Васильева Р.М., Букреева Д.П., Сонькин В.Д. Динамика функционального состояния двигательного аппарата и сердечно-сосудистой системы в процессе работы разной интенсивности у девочек 9-14 лет // Новые исследования. – 2003. – № 1 (4). – С. 208-218.
7. Детская спортивная медицина // Под ред. Тихвинского С.Б., Хрущева С.В. – М.: Медицина, 1991. – С. 259-288.
8. Земцовский Э.В. Спортивная кардиология. – СПб.: Гиппократ, 1995. – 448 с.
9. Карпман В.Л., Белоцерковский З.Б., Гудков И.А. Тестирование в спортивной медицине. – М.: Физкультура и спорт, 1988. – 208 с.
10. Карпман В.Л., Любина Б.Г. Динамика кровообращения у спортсменов. – М.: Физкультура и спорт, 1982. – 135 с.
11. Карпман В.Л., Парин В.В. Сердечный выброс // Физиология кровообращения. Физиология сердца: Сер. «Руководство по физиологии». – Л.: Наука, 1980. – С. 255-275.
12. Король В.М., Сонькин В.Д. Мышечная работоспособность подростков 13-14 лет // Физиология человека. – 1983. – Т. 9., № 6. – С. 907-912.
13. Любомирский Л.Е. Нормирование нагрузок в физическом воспитании школьников // Под ред. Л.Е. Любомирского. – М.: Педагогика, 1989. – 192 с.
14. Маркосян А.А., Король В.М. Критерии функциональных возможностей детей и подростков при мышечной деятельности // Теория и практика физической культуры. – 1964. – № 6. – С. 33-35.
15. Мищенко В.С. Функциональные возможности спортсменов. – Киев: Здоров'я, 1990. – 200 с.
16. Сонькин В.Д., Тамбовцева Р.В. Развитие мышечной энергетики и работоспособности онтогенезе. – М., 2011. – 368 с.
17. Фарфель В.С., Раскин М.В. Частота сердечных сокращений и кровяное давление в покое и при интенсивной мышечной деятельности в возрасте 8-18 лет. // Материалы 1-ой науч. конф. по возрастной морфологии и физиологии. – М., 1952. – С. 126-129.

18. Физиология развития ребенка (теоретические и прикладные аспекты) / Под ред. М.М. Безруких и Д.А. Фарбер. – М.: РАО, 2000. – С. 148-150, 217-237.
19. Филеши П.А., Пачева Т.В. Возрастно-половые особенности переходных процессов параметров сердечной деятельности после стандартной физической нагрузки у школьников 7-18 лет // *Возрастные функциональные особенности сердца при физических нагрузках.* – Ставрополь, 1979. – Вып. 3. – С. 37-44.
20. Фомин Н.А. Морфофункциональные основы адаптации школьников к физическим нагрузкам. – Челябинск, 1984. – 86 с.
21. Хрущев С.В. Врачебный контроль за физическим воспитанием школьников. – М., 1980. – 203 с.
22. Шлык Н.И. Сердечный ритм и центральная гемодинамика при физической активности у детей. – Ижевск: Филиал изд-ва Нижегородского ун-та, 1991. – 418 с.
23. Ahmad F., Kavey R.E., Kveselis D.A., Gaum W.E., Smith F.C. Responses of non-obese white children to treadmill exercise // *J. Pediatr.* – 2001. – Aug; 139 (2):284-90.
24. Akdur H., Sözen A.B., Yiğit Z., Oztunç F., Kudat H., Güven O. The evaluation of cardiovascular response to exercise in healthy Turkish children // *Turk J Pediatr.* – 2009. – Sep-Oct; 51(5):472-7.
25. Astrand P.-O. Aerobic work capacity in men and women with special references to age // *Acta Physiol. Scand.* – 1960. – 49. – Suppl. № 169. – P. 88-92.
26. Astrand P.O. Experimental studies of physical working capacity in relation to sex and age. Copenhagen, 1952. 177 p.
27. Astrand P.-O., Guddy T.E., Saltin B., Stenberg J. Cardiac output during maximal and submaximal work. // *J Appl Physiol.* 1964. V.19, № 2. p. 268-274.
28. Astrand P.-O., Rodahl K. Textbook of work physiology. – New York: McGraw-Hill Co, 1986. – 691 p. – P. 669.
29. Bevegard B.S., Shepherd J.T. Regulation of the circulation during exercise in man. // *Physiol. Rev.* – 1967. – V. 47, № 2, p. 178-214.
30. Bevegard S., Freyschuss U., Strandell T. Circulatory adaptation to arm and leg exercise in supine and sitting position // *J Appl Physiol.* – 1966. – № 2. – P. 37-46.
31. Bevegard S., Holmgren A., Jonsson B. The effect of body position on the circulation at rest and during exercise with special reference to the influence on the stroke volume // *Acta Physiol Scand.* – 1960. – № 49. – P. 279-298.
32. Catley M.J., Tomkinson G.R. Normative health-related fitness values for children: analysis of 85347 test results on 9-17-year-old Australians since 1985 // *Br J Sports Med.* – 2013. – Jan; 47(2):98-108. Review.
33. Chatrath R., Shenoy R., Serratto M., Thoele D.G. Physical fitness of urban American children // *Pediatr Cardiol.* – 2002. – Nov-Dec; 23(6):608-12.
34. Chintala K., Epstein M.L., Singh T.P. Longitudinal changes in heart rate-corrected measures of exercise performance in children // *Pediatr Cardiol.* – 2008. – Jan; 29(1):60-4. Epub 2007 Sep 5.
35. Cottin F., Papelier Y. Regulation of the cardiovascular system during dynamic exercise: Integrative approach // *Crit. Rev. Phys. and Rehabil. Med.* – 2002. – 14, № 1. – P. 53-81.
36. Coyle E.F. Cardiovascular function during exercise neural control factors // *Gatorade Sports Science Institute.* – 1991. – № 4. – P. 1-6.

37. Eclund D., Influence of work duration on the regulation of muscle blood flow // *Acta physiol. Scand.* – 1974. – Suppl. 411. – P. 64-78.
38. Eriksson B.O. Cardiac output during exercise in pubertal boys // *Acta Paediatr Scand.* – 1971. – 217 Suppl 53-55.
39. Gadhoke S., Jones N.L. The responses to exercise in boys aged 9-15 years // *Clin Sci (Lond)* –1969. – № 31. – P. 789-801.
40. George K.P, Gates P.E, Tolfrey K. Impact of aerobic training upon left ventricular morphology and function in pre-pubescent children // *Ergonomics.* – 2005. – Sep 15-Nov 15;48(11-14):1378-89.
41. Godfrey S., Davies C.T.M., Wozniak E., Barnes C.A. Cardio respiratory responses to exercise in normal children // *Clin Sci (Lond).* – 1971. – W. 419-431.
42. Guo Y., Zhou A.Q., Gao W., Li F., Li Y., Yang J.P., Zhu M., Zhang H.Y. Evaluation of physiological index on treadmill exercise testing of 294 healthy children in Shanghai area // *Zhonghua Er Ke Za Zhi.* – 2003. – May; 41(5):338-43.
43. Hermansen L., Ekblom B., Saltin B. Cardiac output during submaximal and maximal treadmill and bicycle exercise // *J. Appl. Physiol.* – 1970. – V. 29. – P. 82-86.
44. Katsuura T. Comparison of cardiac output during work with arms or legs at equal work loads // *J Anthrop Soc Nippon.* – 1985. – № 93. – P. 45-54,
45. Katsuura T. Influences of age and sex on cardiac output during submaximal exercise // *Ann Physiol Anthrop.* – 1986. – №5. – P. 39-57.
46. Laughlin M.H. Cardiovascular response to exercise // *Adv. Physiol. Educ.* – 1999. – V. 22. № 1. – P. 244.
47. Lenk M.K., Alehan D., Celiker A., Alpay F., Sarici U. Bruce treadmill test in healthy Turkish children: endurance time, heart rate, blood pressure and electrocardiographic changes // *Turk J Pediatr.* – 1998. – Apr-Jun; 40(2):167-75.
48. Lewis S.R, Snell P.G., Taylor W.F., Harma M., Graham R.M., Pettinger W.A., Blomqvist C.G. Role of muscle mass and mode of contraction in circulatory responses to exercise // *J Appl Physiol.* – 1985. – № 58. – P. 146-151.
49. Lintu N., Tompuri T., Viitasalo A., Soinin S., Laitinen T., Savonen K., Lindi V., Lakka T.A. Cardiovascular fitness and haemodynamic responses to maximal cycle ergometer exercise test in children 6-8 years of age // *J Sports Sci.* – 2014. – 32(7): 652-9.
50. Lintu N., Viitasalo A., Tompuri T., Veijalainen A., Hakulinen M., Laitinen T., Savonen K., Lakka T.A. Cardiorespiratory fitness, respiratory function and hemodynamic responses to maximal cycle ergometer exercise test in girls and boys aged 9-11 years: the PANIC Study // *Eur J Appl Physiol.* – 2015. – Feb; 115(2): 235-43.
51. Macsween A. The reliability and validity of the Astrand nomogram and linear extrapolation for deriving VO₂max from submaximal exercise data // *J. Sports Med. and Phys. Fitness.* – 2001. – 41, № 3. – P. 312-317.
52. Mahon A.D., Anderson C.S., Hipp M.J., Hunt K.A. Heart Rate Recovery from Submaximal Exercise in Boys and Girls // *Med. Sci. Sports Exerc.* – 2003. – Vol. 35, No. 12. – P. 2093-2097,
53. Malina R.M. Physical fitness of children and adolescents in the United States: status and secular change // *Med Sport Sci.* –2007. № 50: 67-90.
54. Marshall R.J., Shepherd J.T., Cardiac function in health and disease. Функция сердца у здоровых и больных. – М.: Медицина, 1972. – 392 с.

55. McNarry M.A., Mackintosh K.A., Stoedefalke K. Longitudinal investigation of training status and cardiopulmonary responses in pre- and early-pubertal children // *Eur J Appl Physiol.* – 2014. – Aug; 114(8): 1573-80.
56. Nottin S., Vinet A., Stecken F., N'Guyen L.D., Ounissi F., Lecoq A.M., Obert P. Central and peripheral cardiovascular adaptations to exercise in endurance-trained children // *Acta Physiol Scand.* – 2002. – Jun;175(2): 85-92.
57. Nottin S., Vinet A., Stecken F., Nguyen L.D., Ounissi F., Lecoq A.M., Obert P. Central and peripheral cardiovascular adaptations during a maximal cycle exercise in boys and men // *Med Sci Sports Exerc.* – 2002. – Mar; 34(3): 456-63.
58. Obert P., Mandigouts S., Nottin S., Vinet A., N'Gueyn L.D., Lecoq A.M. Cardiovascular responses to endurance training in children: Effect of gender // *Eur. J. Clin. Invest.* – 2003. – 33, № 3. – P. 199-208.
59. Oyen et al. Dynamic exercise echocardiography of left ventricle in physical trained children compared to untrained healthy children // *Int. J. Cardiol.* – 1990. – 29: 29-33,
60. Prado D.M., Braga A.M., Rondon M.U., Azevedo .F., Matos L.D., Negrão C.E., Trombetta I.C. Cardiorespiratory responses during progressive maximal exercise test in healthy children // *Arq Bras Cardiol.* – 2010. – Apr; 94(4):493-9. – Epub 2010 – Mar 5.
61. Punn R., Obayashi D.Y., Olson I., Kazmucha J.A., DePucci A., Hurley M.P., Chin C. Supine exercise echocardiographic measures of systolic and diastolic function in children // *J Am Soc Echocardiogr.* – 2012. – Jul; 25(7):773-81.
62. Rowland T. Echocardiography and circulatory response to progressive endurance exercise // *Sports Med.* 2008;38(7):541-51.
63. Rowland T. et al. Cardiac responses to exercise in children distance running. // *Int J Sports Med.* – 1998. – №19. – P. 385-390.
64. Rowland T. et al. Physiological determinants of maximal aerobic power in healthy 12-year old boys // *Pediatric Exers Sci.* – 1999. – № 11. – P. 317-326.
65. Rowland T., Potts J., Potts T., Sandor G., Goff D., Ferrone L. Cardiac responses to progressive exercise in normal children: a synthesis // *Med Sci Sports Exerc.* – 2000. – Feb; 32(2): 253-9.
66. Rowland T., Wehnert M., Miller K. Cardiac responses to exercise in competitive child cyclists // *Med Sci Sports Exerc.* – 2000. – Apr;32(4):747-52.
67. Rowland T.W. The circulatory response to exercise: role of the peripheral pump. // *J Sports Med.* 2001 Nov; 22(8): P. 558-65. c5
68. Saltin B., Gollnick P.D., Piehl K., Eriksson B. Metabolic and circulatory adjustment at onset of exercise // *Onset of exercise.* – Toulouse, 1972. – P. 63-76.
69. Saltin B. Aerobic work capacity and Circulation at exercise in men with special references to the effect of prolonged exercise and of heart exposure // *Acta Physiol. Scand.* – 1964. – V. 62, Suppl. 230. – P. 1-52.
70. Saltin B. Physiological adaptation to physical conditioning // *Acta Physiol. Scand.* – 1986. – 220, Suppl. № 711. – P. 11-24.
71. Stenberg, J., Astrand P.-O., Ekblom B., Royce J., Saltin B. Hemodynamic response to work with different muscle groups, sitting and supine // *J Appl Physiol.* 1967.– № 22. –P. 61-70.
72. Triposkiadis F., Ghiokas S., Skoularigis I., Kotsakis A., Giannakoulis I., Thanopoulos V. Cardiac adaptation to intensive training in prepubertal swimmers // *Eur. J. Clin. Invest.* – 2002. – 32, № 1. – P. 1-23.

73. Turley K.R. Cardiovascular responses to exercise in children: Sports Med. 1997 Oct;24(4):241-57. Review Erratum in // Sports Med. – 1998. – Feb; 25(2): 130.
74. Turley K.R., Wilmore J.H. Cardiovascular responses to treadmill and cycle ergometer exercise in children and adults // J. Appl. Physiol. – 1997 – 83 (3): 948-957
75. Turley K.R., Wilmore J.H. Submaximal Cardiovascular Responses to Exercise in Children: Treadmill Versus Cycle Ergometer // Pediatric Exercise Science. – 1997. – № 9. – P. 331-341.
76. Turley K.R., Wilmore J.H. Cardiovascular responses to submaximal exercise in 7- to 9-yr old boys and girls Med // Sci SportsExer. – 1997 – № 29. – P. 24-832.
77. Vinet A., Nottin S., Lecoq A.M., Obert P. Cardiovascular responses to progressive cycle exercise in healthy children and adults // Int J Sports Med. – 2002. – May; 23(4):242-6.
78. William W., Stringer B., Whipp J., Wasserman K., Pórszász J., Christenson P., William J. French Non-linear cardiac output dynamics during ramp-incremental cycle ergometry // European Journal of Applied Physiology. – 2005. – V. 93, № 5-6, March. – P. 634-639.
79. Wilmore J.H., Costill D.L. Physiology of sports and exercise. – Springfield, Illinois: Human Kinetics, 1994. – 548 p.

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

VLF (mc^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 (mc^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.

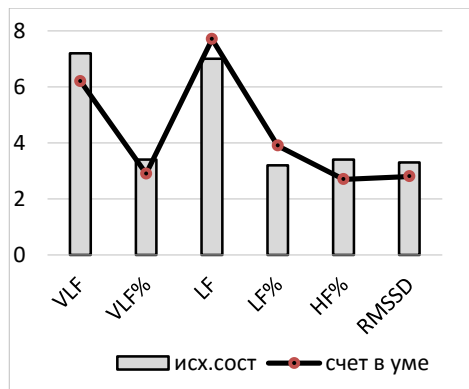
Статистическая обработка включала: приближение распределения значений показателей ВСР и кортизола к нормальному с помощью логарифмического преобразования, нахождение тесноты статистической связи между показателями (коэффициент корреляции Пирсона). Статистическая значимость различий оценивалась по t-критерию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

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

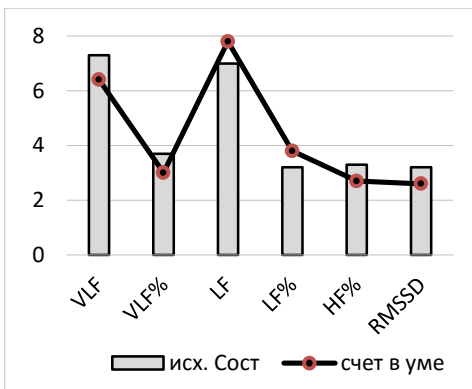
У всех подростков независимо от биологического возраста и пола при выполнении умственной нагрузки выявлено смещение вегетативного баланса в сторону усиления симпатических влияний на СР (δ LF/HF = $0,75 \pm 0,17$). Однако анализ значений показателей ВСР у испытуемых при выполнении функциональной пробы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

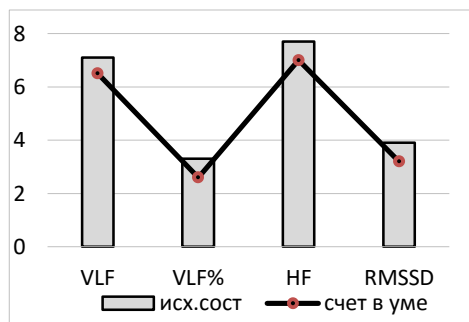
активность парасимпатического отдела ВНС (RMSSD, мс; HF %) и центральных влияний на сердечный ритм (VLF, мс²; VLF %), с одновременным увеличением значений параметров, отражающих активность симпатического отдела ВНС (LF, мс²; LF%).



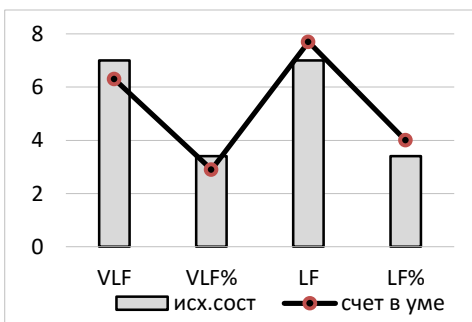
мальчики, I стадия



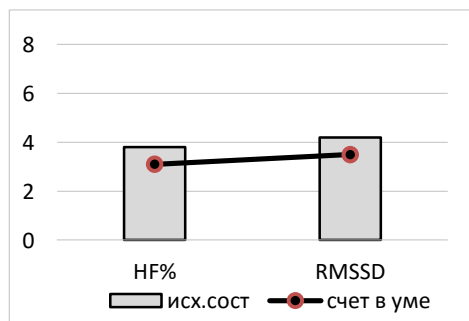
девочки, I стадия



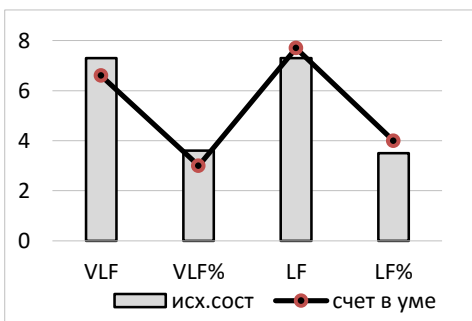
мальчики, II стадия



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 %).

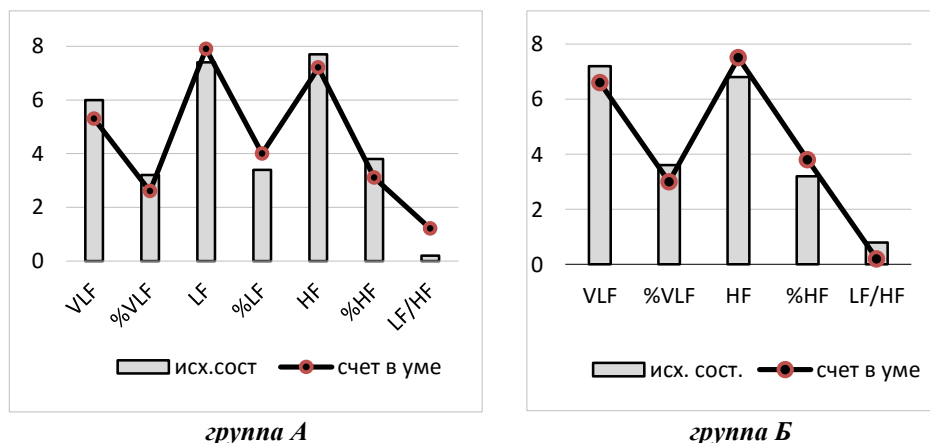


Рис. 2. Динамика показателей variability ритма сердца (ln) у подростков групп А и Б при выполнении счета в уме (при $p < 0,05$)

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.

ФИЗИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ И БИОРИТМОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОДРОСТКОВ 12-13 ЛЕТ, ЗАНИМАЮЩИХСЯ СПОРТИВНЫМ ПЛАВАНИЕМ

А.Д. Колесов*, Н.И. Орлова**, Т.С. Пронина**,
В.Д. Сонькин*,**¹

*Российский государственный университет
физической культуры, спорта, молодежи
и туризма (ГЦОЛИФК), Москва, Россия

** ФГБНУ «Институт возрастной физиологии
Российской академии образования», Москва

С целью изучения сходства и различий в показателях циркадианной ритмической структуры температуры тела у подростков 12-13 лет, находящихся в процессе полового созревания, различающихся половой принадлежностью, а также двигательной активностью, были проведены исследования суточных ритмов температуры тела у 63 подростков мальчиков и девочек. Основную группу составили подростки, занимающиеся плаванием в спортивной школе РГУФКСМиТ, для сравнения использовали данные подростков того же возраста и пола, не занимающихся спортом. Измеряли показатели физического развития, регистрировали суточную динамику кожной температуры на плече с помощью технологии «Thermochron iButton». По результатам компьютерного анализа суточных записей определяли мезор и амплитуду температуры. Показано, что занятия спортом в подростковом возрасте ведут к снижению показателей физического развития, включая индекс массы тела, а также к замедлению процессов полового созревания. Выявлено стабилизирующее влияние занятий спортом на метаболические процессы в организме подростков. Высказано предположение, что девочки, занимающиеся спортом, испытывают некоторое перенапряжение в результате повышенных тренировочных нагрузок, которое проявляется в замедлении пубертатных процессов и особенностях вариабельности морфофункциональных показателей.

Ключевые слова: температура тела; циркадианный ритм; физическое развитие; подростки; занятие спортивным плаванием

Physical development and biorythmological characteristics of 12-13-year-old teenagers involved in swimming sports. The aim of this investigation is to learn the similarities and differences in the structure of the circadian rhythm of body temperature in 12-13-year-old adolescents of different gender, and physical characteristics in puberty. Circadian rhythms of body temperature were studied in 63 teenage boys and girls involved in swimming sports. For comparison, the data of adolescents of the same age and gender not involved in sports was used. The indicators of physical development were measured, the daily dynamics of the skin temperature on the shoulder with the help of «Thermochron iButton» technology was recorded. According to the results of the computer analysis of daily records, mezor and temperature amplitude were determined. It has been shown that exercise during adolescence result in low levels of physi-

Контакты: ¹ Сонькин В.Д. – E-mail: <Sonkin@mail.ru>

cal development, including body mass index, and slowing down puberty processes. There was revealed a stabilizing influence of sports on the metabolic processes in the body of teenagers. It is suggested that the girls involved in sports, experience certain over-voltage due to high training loads, which manifests itself in slowing down the pubertal processes and in peculiarities of variability of morphological and functional indicators.

Keywords: *body temperature; circadian rhythm; physical development; teenagers; swimming sports*

Температура тела является одним из интегративных показателей состояния организма, который характеризует энергетический обмен и функционирование нейроэндокринной системы. Тепловой баланс организма определяется соотношением теплопродукции и теплоотдачи и является результатом деятельности системы терморегуляции (Van Someren et al, 2002), а его проявлением служит температура. С точки зрения температурного гомеостаза организм человека состоит из “ядра”, в состав которого входят мозг и центрально расположенные внутренние органы грудной, брюшной и тазовой полости, и “оболочки”, состоящей из кожи, подкожной клетчатки и поверхностных мышц (Кпюх, 1999; Refinetti, 2010). Температура «оболочки» существенно ниже температуры “ядра”, она колеблется в определенных пределах и зависит от пола, возраста, двигательной активности, питания и других факторов, влияющих на метаболизм и теплоотдачу.

Центральным звеном ответственным за терморегуляцию, является гипоталамус. Супрахиазматические ядра (СХЯ) гипоталамуса играют роль центрального осциллятора (пейсмекера), регулирующего подстройку ритмов обмена веществ и энергии к различным экзогенным ритмам, таким как суточная и сезонная смена освещенности и температуры среды, смена географических поясов при дальних перелетах, ритм работы и отдыха, и множество других. Все эти влияния в конечном итоге сказываются на величине текущей температуры тела и ее ритмических колебаниях (Waterhouse, 2000; Ootsuka et al, 2009; Biatteis, 2012).

Достаточно активно изучаемые с середины XX века циркадианные (околосуточные) ритмы являются результирующей активности множества структур, участвующих в генерации циркадианных ритмов поведенческих, физиологических и биохимических процессов, которые к тому же характеризуются синхронизацией как между собой, так и с ритмическими сигналами внешней среды. К наиболее регулярно исследуемым циркадианным ритмам относятся ритм сон-бодрствование и ритмы температуры (Т) тела (Dijk, 2005; Yoon, 2003).

На рис. 1 схематически представлен суточный и гомеостатический контроль температуры тела по версии Вейнерта (Weinert, 2010). Согласно этому подходу, суточный ритм Т тела представляет собой совокупный результат изменения Т «ядра» и Т «оболочки». СХЯ гипоталамуса – это центр терморегуляции, сигналы от которого активируют механизмы усиления теплопродукции или рассеивания тепла. Поскольку Т ядра и Т кожи меняются вследствие изменений двигательной активности, приема пищи, изменения окружающей Т и т.д., необходима непрерывная коррекция Т тела. Кроме того, СХЯ гипоталамуса модулируют и синхронизируют связь с суточными колебаниями других структур и процессов, что приводит к формированию разнообразных физиологических и поведенческих ритмов. Ежедневные изменения Т кожи участвуют в регуляции цикла сон-бодрствование и согласуют свою активность с другими осцилляторами.

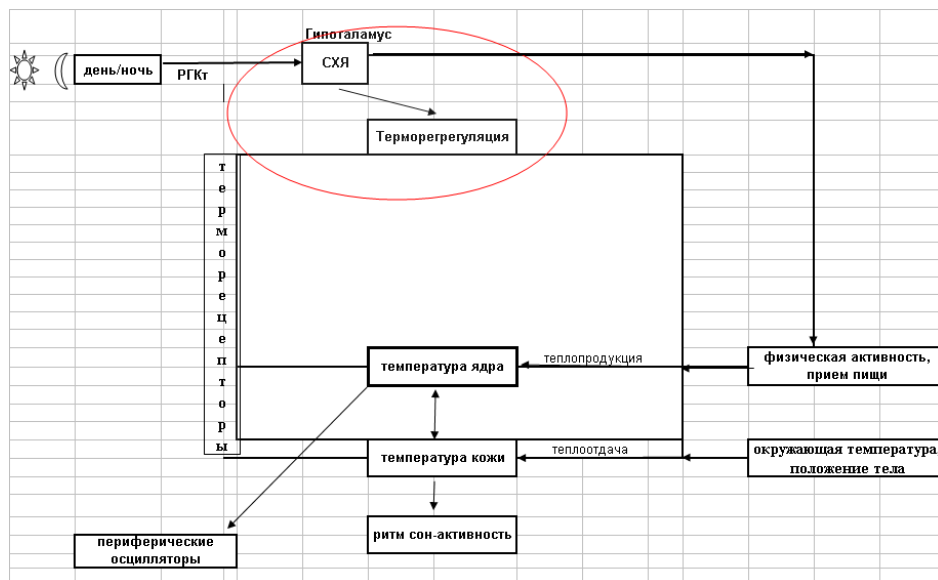


Рис. 1. Суточный и гомеостатический контроль температуры тела (по: Weinert, 2010).

Основными показателями, характеризующими любой физиологический ритм, (в том числе циркадианный) является средний уровень (мезор), амплитуда колебаний и акрофаза (время максимума функции). Мезор (М) характеризует так называемую центральную линию, вокруг которой происходят колебания физиологической функции на протяжении суток. Амплитуда (разница между зарегистрированным максимумом и минимумом) является наиболее пластичным показателем и легко изменяется при воздействии внутренних и внешних факторов. Считается, что ее изменение является показателем адаптационного процесса (Ortiz-Tudella, 2010).

Параметры биологических ритмов могут быть изменены под влиянием постоянно или регулярно действующих раздражителей (Nagler et al., 2001; Shechter, 2010). В частности, на параметры ритмической активности влияют процессы полового созревания, спортивная деятельность и другие подобные причины. Следует отметить, что в литературе практически отсутствуют исследования циркадианных ритмов температуры тела у детей разного возраста при различных состояниях и нагрузках. В то же время, литературные данные и результаты наших многолетних исследований показывают, что эти ритмы обладают индивидуальными, возрастными и половыми особенностями (Рыбаков с соавт., 2000; Пронина с соавт. 2009, 2011, Орлова и соавт., 2014).

Целью настоящего исследования было изучение сходства и различий в показателях циркадианной ритмической структуры температуры тела у подростков 12-13 лет, находящийся в процессе полового созревания, различающихся половой принадлежностью, а также двигательной активностью. В связи с этим, в качестве испытуемых мы привлекали мальчиков и девочек, занимающихся спортивным

плаванием в спортивной школе РГУФКСМиТ а для сравнения использовали подростков того же возраста и пола, не занимающихся спортом.

ОРГАНИЗАЦИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование было организовано совместно с кафедрой плавания РГУФКСМиТ с участием подростков 12-13 лет, занимающихся на базе РГУФКСМиТ в спортивной школе со специализацией «плавание». В качестве контроля были привлечены дети, обучающиеся в обычных московских общеобразовательных школах. В общей сложности в исследованиях приняли участие 63 подростка (35 мальчиков и 28 девочек).

Каждый ребенок проходил обследование показателей физического развития (масса тела, длина тела, расчетный показатель «индекс массы тела» по Кетле), после чего проводилось суточное мониторирование кожной температуры.

Для получения данных о циркадианном ритме температуры школьников был использован современный метод измерения температуры кожи по технологии «Thermochron iButton». Этот метод дает возможность проводить мониторинг Т с любым заданным интервалом времени тестирования. Датчик температуры – «таблетка-термометр» – закреплялась на коже верхней трети плеча, абсолютно не создавая помех для испытуемого. Температуру измеряли в градусах С. Измерения проводили 100 раз в сутки с 10-минутными интервалами. Считывание полученных результатов с термометра-таблетки осуществляли через специальное считывающее устройство, соединенное с компьютером под управлением специализированной программы Thermo Chron. Revisor, 2005 для системы «Термохрон». При анализе данных различали два временных диапазона: дневной (с 7 ч утра до 23 ч вечера) и ночной (с 23 ч до 7 ч утра), результаты для которых анализировали раздельно.

В качестве основных показателей, характеризующих циркадианный ритм температуры, оценивали МЕЗОР, то есть СРЕДНИЙ УРОВЕНЬ показателя на протяжении периода наблюдения, а также АМПЛИТУДУ колебаний величины показателя. В процессе обработки данных использовали стандартные программы статистического анализа в пакете MS Excel 2007.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. 1 в качестве примера представлены динамические суточные термограммы двух испытуемых – мальчиков, занимающихся плаванием.

Из представленного графика наглядно видно значительное колебание температуры в течение суток, по амплитуде составляющее более 3 градусов Цельсия. Очевидно также, что мальчики различаются величиной мезора – у одного он в среднем на 1,5 градуса выше, чем у другого. Не совпадают также у этих двоих испытуемых временные моменты достижения пиков максимума и минимума. В то же время, у обоих испытуемых видно повышение Т в период 15-16 часов – именно в это время проходили спортивные тренировки, сопряженные с максимизацией энергопродукции.

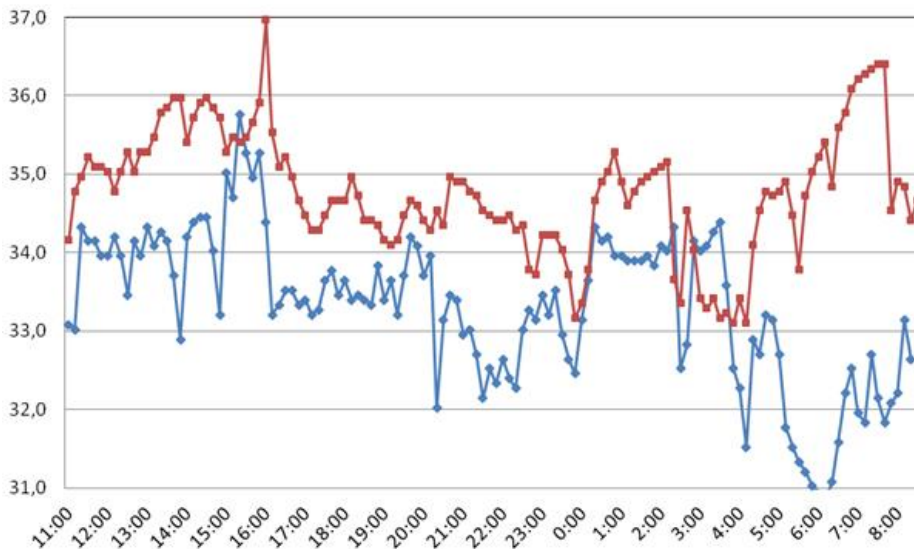


Рис. 1. Пример регистрации динамической термограммы с помощью технологии «Thermochron iButton» 2 испытуемых мальчиков 12-13 лет.
По оси абсцисс – время суток (чч:мин). По оси ординат – температура.

Усредненные результаты измерений показателей физического развития и биоритмов температуры представлены в таб. 1. В таб. 2 приведены коэффициенты вариации (100σ/М) тех же показателей.

Таблица 1

Интегральная усредненная характеристика показателей физического развития и показателей циркадианного ритма температуры у мальчиков и девочек 12-13 лет, занимающихся и не занимающихся спортом
($M \pm \sigma$)

| Пол | Масса тела, кг | Длина тела, см | ИМТ | День | | Ночь | |
|----------------------------------|-----------------|----------------|----------------|------------------|----------------|-----------------|---------------|
| | | | | Мезор | Амплитуда | Мезор | Амплитуда |
| СПОРТСМЕНЫ | | | | | | | |
| Мальчики N = 20 | 43,95± 6,13 | 154,7± 6,10 | 18,23± 1,51 | 34,49 ± 0,785 | 4,46 ± 0,81 | 33,73 ± 0,88 | 4,32± 0,68 |
| Девочки N = 12 | 41,25± 4,55 | 152,3± 4,27 | 17,78± 1,68 | 34,2 ± 0,69 | 3,3 ± 0,98 | 34,1± 0,45 | 3,5± 1,1 |
| НЕСПОРТСМЕНЫ | | | | | | | |
| Мальчики N = 15 | 48,34± 11,51 | 154,3± 8,33 | 20,17± 3,96 | 34,18± 0,88 | 3,15± 0,95 | 33,18± 0,79 | 4,71± 0,72 |
| Девочки N = 16 | 50,34± 8,14 | 155,6± 6,57 | 20,8± 3,03 | 34,1 ± 1,26 | 3,8± 1,06 | 33,8 ± 0,62 | 3,9 ± 0,86 |

Таблица 2

Вариабельность (коэффициенты вариации=100σ/М) показателей физического развития и суточных биоритмов температуры тела у мальчиков и девочек 12-13 лет

| Пол | Масса тела, кг | Длина тела, см | ИМТ | День | | Ночь | |
|----------------------------|----------------|----------------|-------|-------|-----------|-------|-----------|
| | | | | Мезор | Амплитуда | Мезор | Амплитуда |
| СПОРТСМЕНЫ | | | | | | | |
| Мальчики N = 20 | 13,94 | 3,94 | 8,28 | 2,27 | 18,16 | 2,61 | 15,74 |
| Девочки N = 12 | 11,03 | 2,80 | 9,45 | 2,02 | 29,7 | 1,32 | 31,43 |
| НЕСПОРТСМЕНЫ | | | | | | | |
| Мальчики N = 15 | 23,8 | 5,40 | 19,63 | 2,57 | 30,16 | 2,38 | 15,28 |
| Девочки N = 16 | 16,17 | 4,22 | 14,57 | 3,69 | 27,89 | 1,83 | 22,05 |

В качестве предварительного замечания следует подчеркнуть, что все дети, участвовавшие в исследовании, имели показатели физического развития, укладывающиеся в стандарты возрастно-половой нормы.

Полученные результаты могут быть рассмотрены в двух плоскостях. С одной стороны, они характеризуют некоторые различия между мальчиками и девочками 12-13 лет, вступившими в пубертатный период. С другой стороны, они отражают влияние спортивных занятий на изученные морфофункциональные показатели подростков. При этом обнаруживается интерференция влияния этих двух факторов, что представляет несомненный интерес для физиологического анализа.

Так например, по своему физическому развитию незанимающиеся спортом девочки в возрасте 12-13 лет догоняют или даже немного опережают сверстников-мальчиков, что характерно именно для этого возраста. Хотя отмеченные различия не являются достоверными, тем не менее они отражают определенную тенденцию: у девочек-неспорсменов в этом возрасте на 2 кг выше средняя масса тела, на 1,3см выше средняя длина тела, на 0,6 единиц выше ИМТ, чем у мальчиков того же возраста. Это является прямым следствием начавшихся процессов полового созревания, которые у девочек начинаются раньше и к данному возрасту достигают нередко уже III стадии по Таннеру, тогда как большинство мальчиков такого возраста еще не преодолели стадию II (Таннер, 1979). Если обратить внимание на вариабельность рассматриваемых признаков, которая отражена в табл. 2, то легко видеть, что у мальчиков-неспорсменов она заметно выше, чем у девочек, по всем трем показателям физического развития. Очевидно, часть мальчиков уже вступили в пубертатный процесс, а другая часть еще нет, и это формирует повышенную популяционную вариабельность рассматриваемых признаков.

Совсем иная картина наблюдается у спортсменок. Занятия спортом, как известно, нередко замедляют процессы полового созревания и связанные с ними перестройки гормональной регуляции функций и метаболизма (Колесов, Сельверова, 1978). Очевидно, именно таким «притормаживанием» полового развития

можно объяснить два факта: 1) как мальчики, так и девочки, занимающиеся спортом, в возрасте 12-13 лет мельче по массе и длине тела, чем их сверстники, не занимающиеся спортом; 2) занимающиеся спортом мальчики крупнее занимающихся спортом девочек как по массе, так и по длине тела, то есть ростовые процессы у девочек еще не активировались. Об этом же свидетельствуют низкие величины коэффициентов вариации морфологических признаков у спортсменов – существенно ниже, чем аналогичные коэффициенты у не занимающихся спортом подростков.

Отдельного рассмотрения заслуживают данные по величине индекса Кетле ИМТ. Этот показатель сейчас пользуется огромной популярностью в мониторинговых и популяционных исследованиях, поскольку его величина характеризует общую метаболическую «настройку» организма (Björntorp, 1996). Превышение этого показателя выше уровня 25 единиц отражает накопление в организме избыточной жировой массы, что характерно для миллионов детей современного мира. Снижение показателя ниже 15 единиц характеризует противоположный процесс, часто искусственно стимулируемый за счет применения не вполне адекватных диет. В обследованной нами выборке чрезмерно низких показателей ИМТ не выявлено, а показатель выше 25 единиц встречался только у не занимающихся спортом 1 раз среди девочек и 1 раз среди мальчиков. Разницы между мальчиками и девочками по этому усредненному показателю нет, но у занимающихся плаванием подростков ИМТ на 2-3 единицы меньше, чем у неспортсменов. Это – вполне ожидаемое и естественное различие. Интересно, что у неспортсменов выше не только величина показателя, но и намного выше его вариативность (таб.2) – у мальчиков более чем в 2 раза, у девочек – в 1,5 раза. Вероятно, это отражает стабилизирующую функцию спорта по отношению к организации метаболизма в организме. При этом любопытно, что вариативность показателя у мальчиков и девочек, занимающихся спортом, почти одинакова.

Анализ усредненных значений биоритмологических показателей – мезора и амплитуды T тела – не выявил больших различий ни между мальчиками и девочками, ни между спортсменами и неспортсменами. У девочек не обнаружено разницы между дневными и ночными показателями ритма. У мальчиков такая разница есть по величине мезора – у неспортсменов она достигает 1 градуса Цельсия, у спортсменов немного менее выражена, но тоже вполне заметна ($0,76^{\circ}\text{C}$). Амплитуда колебаний T у мальчиков спортсменов выше, чем у девочек, как в дневное, так и в ночное время. У неспортсменов в ночное время эта разница также отмечена – колебания T у мальчиков на $0,8^{\circ}\text{C}$ больше, но в дневное время колебания T имеют больший размах у девочек.

Представляет интерес анализ вариабельности показателей биоритмов T в обследованных группах. Обращает на себя внимание тот факт, что вариативность мезора во всех случаях примерно на порядок ниже, чем вариативность амплитуды. При этом вариативность дневного мезора и дневной амплитуды у неспортсменов обоего пола значительно выше, чем у спортсменов. И это несмотря на то, что диапазон изменений метаболических состояний у спортсменов, разумеется, гораздо шире, так как они регулярно испытывают околопредельные физические нагрузки, существенно активизирующие метаболические процессы в организме. Повидимому, это может свидетельствовать о серьезном стабилизирующем влиянии спорта на метаболические процессы в организме подростков обоего пола. В ночное время вариабельность мезора и амплитуды у спортсменов и неспортсменов

примерно одинакова. Несколько повышенный показатель отмечен у девочек спортсменок – возможно, это отражает какие-то важные эндокринные перестройки, начинающиеся у девочек этого возраста. Следует отметить, что и в дневное время этот показатель (вариабельность амплитуды) у девочек – спортсменок намного выше, чем у мальчиков, тогда как у незанимающихся спортом различия не выявлены.

При анализе этих фактов следует учитывать данные суточных мониторингов вариабельности ритма сердца у спортсменов. Такие технологии в последние годы приобрели большую популярность в спортивной медицине и физиологии и используются для сопровождения тренировочных процессов. Особое значение при этом придается соотношению симпатических и парасимпатических влияний на ритм сердца и динамику этого соотношения в ночное время. При оптимальном проведении тренировочного процесса указанное соотношение у спортсменов в течение первой половины ночного отдыха может оставаться повышенным, что отражает активационную роль симпатической активности, однако во второй половине ночного сна должно снижаться, отражая переход на парасимпатический режим регуляции сердечного ритма. Если нагрузки в течение тренировочного дня или более длительного периода были избыточны, то нормализация соотношения симпатикус/вагус не наблюдается, а если это соотношение исходно низкое, то это характеризует уровень тренировочной нагрузки как недостаточный (Martinnmäki et al., 2006).

В соответствии с этими новыми взглядами, можно представить себе, что активация метаболизма под воздействием симпатической активации будет приводить к увеличению мезора и амплитуды T тела как интегральных показателей метаболической активности. Как уже говорилось выше, заметных различий в биоритмологических показателях мы не обнаружили, однако у занимающихся спортом девочек в ночное время выявлена очень высокая вариабельность амплитуды. Это может говорить о том, что для части девочек-спортсменок их тренировочные нагрузки оказываются чрезмерны и в течение ночи не происходит полное восстановление функций организма. Возможно, именно этот эффект проявляется в выявленном нами торможении процессов полового созревания у девочек, занимающихся плаванием.

Определенный интерес представляют результаты корреляционного анализа массива полученных данных. Здесь следует выделить 3 группы выявленных корреляционных связей.

1 группа – очевидные и ожидаемые – это взаимосвязи между показателями физического развития. Так, между массой и длиной тела у мальчиков коэффициент корреляции Пирсона достигает значения 0,86, тогда как у девочек только 0,53 у спортсменок и 0,38 у незанимающихся спортом. Сходные высокие корреляции отмечены с показателем ИМТ. Все эти корреляции хорошо известны и большого интереса не представляют, хотя любопытно, что занятия спортом повышают степень взаимосвязи массы и длины тела у девочек (видимо, за счет снижения доли наиболее вариативной жировой ткани).

2 группа – корреляции между различными биоритмологическими характеристиками. Например, дневные показатели мезора коррелируют с ночными, причем у спортсменов эта корреляция высокая ($r=0.601$ у девочек спортсменок), а у неспортсменов она – средняя по силе ($r=0.38$ у девочек, не занимающихся спортом). Напротив, корреляция между мезором и амплитудой в ночное время высока у де-

вочек-неспортсменов ($r=-0.745$), и значительно слабее у тренированных подростков ($r=-0.375$). Интерпретация этих различий в настоящий момент затруднительна.

3 группа – неожиданные корреляции, выявленные между биоритмологическими показателями и данными по физическому развитию. В частности, у девочек – как занимающихся спортом, так и у незанимающихся – обнаружена умеренная отрицательная корреляция между дневным мезором и массой тела ($r=-0,365$; $-0,354$), а также ИМТ ($r=-0,316$; $-0,349$). Ночной мезор достоверных связей с показателями размеров тела не имеет. У мальчиков такие корреляции вообще не обнаружены.

Выявленные факты на сегодняшний момент не могут найти всеобъемлющего объяснения и нуждаются в дальнейшем изучении, проверке и интерпретации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования показали, что половая принадлежность и занятия спортом накладывают глубокий отпечаток как на морфологические, так и на биоритмологические характеристики организма подростков. Занятия спортом стабилизируют метаболические процессы в организме и несколько замедляют процесс биологического созревания. Половые особенности адаптации к тренировочным нагрузкам состоят в большей чувствительности организма девочек к таким воздействиям, что, возможно, отражает избыточный уровень физических нагрузок в тренировке девочек-пловчих. Полученные результаты стимулируют продолжение биоритмологических исследований с участием спортсменов-подростков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колесов Д.В., Сельверова Н.Б. Физиолого-педагогические аспекты полового созревания. – М.: Педагогика, 1978. – 145 с.
2. Орлова Н.И. Циркадианные ритмы у детей пубертатного возраста: подходы и факты / Орлова Н.И., Пронина Т.С. // Новые исследования. – 2014. – № 1. – С. 33-39.
3. Пронина Т.С. Возрастные изменения параметров циркадного ритма температуры тела у детей 8-13 лет. / Т.С. Пронина, В.П. Рыбаков // Альманах: Новые исследования по возрастной физиологии. – 2010. – Т. 36, №1. – С. 75 - 83.
4. Пронина Т.С. Особенности циркадианного ритма температуры кожи у детей 8-9 лет и молодых людей. / Т.С. Пронина, В.П. Рыбаков // Журн. Физиол. Человека. – 2011 – Т. 37, № 4. – С. 1-7.
5. Пронина Т.С. Циркадианный ритм температуры – опосредованный метод определения мелатонина у девочек, девушек и пожилых женщин. / Т.С. Пронина // Матер. конф. Физиологические проблемы адаптации. Ставрополь. – апрель. - 2013. – С. 201-202.
6. Рыбаков В.П. Биологические ритмы ребенка / В.П. Рыбаков, Н.И. Орлова, Т.С. Пронина, Ю.Н. Чернышева, И.А. Момот // Физиология развития ребенка. – М.: Изд-во РАО, ИВФ, 2000. – С. 287-295.
7. Теннер Дж. Рост и конституция человека // Биология человека. – М.: Мир, 1979. – С. 366-471.

8. Biatteis C.M. Age-Dependent Changes in Temperature Regulation / C.M. Biatteis // *Gerontology*. – 2012. – V. 58, №4. – P. 289-295.
9. Björntorp P. The regulation of adipose tissue distribution in humans // *Int J Obes Relat Metab Disord*. 1996 Apr;20(4):291-302.
10. Dijk D.J. Timing and consolidation of human sleep, wakefulness, and performance by symphony of oscillators / D.J. Dijk // *J. Biol. Rhythms*. – 2005. – V. 20, № 4. – P. 279-290.
11. Harper D.G. Stress induced disorganization of circadian and ultradian rhythms: comparisons of effects of surgery and social stress / D.G. Harper, W. Tornatzky, K.A. Miczek // *J. Psychol*. – 2001. – V. 25. – P. 138-140.
12. Knox D.M. Core body temperature, skin temperature, and interface pressure: Relationship to skin integrity in nursing home residents. / D.M. Knox // *Adv. Wound Care*. – 1999. – Jun., V. 12, №5. – P. 246-252.
13. Martinmäki K1, Rusko H, Kooistra L, Kettunen J, Saalasti S. Intraindividual validation of heart rate variability indexes to measure vagal effects on hearts. // *Am J Physiol Heart Circ Physiol*. – 2006. – Feb;290(2):H640-7; Epub 2005 Sep 19.
14. Ootsuka Y. Brown adipose tissue (BAT) thermogenesis heats brain and body as part of the brain-coordinated ultradian basic rest-activity cycle (BRAC). / Y. Ootsuka, C. Rodrigo, A. Abbas, V. Z. Dmitry et al. // *Neuroscience*. – 2009. – 164, №2. – P. 849-863.
15. Ortiz-Tudela E. A new integrated variable based on thermometry, actimetry and body position (TAP) to evaluate circadian system status in humans. / E. Ortiz-Tudela, A. Martinez-Nicolas, M. Compos, MA Rol, JA Madrid // *PLoS Comput Biol*. – 2010. – V. 11, № 6: e1000996.
16. Refinetti R. The circadian rhythm of body temperature. / R. Refinetti // *Front. Biosci*. – 2010. – Jan., V. 1, № 15. – P. 564-594
17. Shechter A. Circadian variation of sleep during the follicular and luteal phases of the menstrual cycle. / A. Shechter, F. Varin, D.B. Boivin // *Sleep*. – 2010 – May, V. 33, № 5. – P. 647-56.
18. Van Someren E.J. Circadian and age-related modulation of thermoreception and temperature regulation: mechanisms and functional implications. / E.J. Van Someren, R.J. Raymann, E.J. Scherder, H.A. Daanen, D.F. Swaab // *Ageing Res. Rev*. – 2002. – Sep., V. 1, № 4. – P. 721-78.
19. Waterhouse J. A comparison of some different methods for purifying core temperature data from humans. / J. Waterhouse, D. Weinert, D. Minors, S. Folkard, D. Owens, G. Atkinson, I. Macdonald, N. Sytnik, P. Tucker, T. Reilly // *Chronobiol Int*. – 2000. – Jul., V. 17, № 4. – P. 539-66.
20. Weinert D. Ageing Research Reviews. / D. Weinert // *Thermodynamics and Ageing*. – 2010. – V. 9, № 1. – P. 51-60.
21. Yoon I.Y. Age-related changes of circadian rhythms and sleep-wake cycles / I.Y. Yoon // *J. Clin. Physiology*. – 2003. – V. 51, № 8. – P. 1085-1091.

К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ

В альманахе «Новые исследования», выходящем 4 раза в год, могут быть опубликованы прошедшие рецензирование статьи по всем направлениям возрастной физиологии, морфологии, школьной гигиены и физического воспитания детей и подростков.

При направлении статьи в редакцию рекомендуется руководствоваться следующими правилами:

1. На первой странице указываются название статьи, Инициалы и Фамилия автора, учреждение, из которого выходит статья.

2. Объем статьи: Обобщающих теоретико-экспериментальных работ и обзорных работ – не более одного авторского листа (24 стр.), экспериментальных работ – не более 0.8 авторского листа (18 стр.), кратких сообщений и методических статей – не более 4–5 стр.

3. Изложение материала в статье экспериментального характера должно быть представлено следующим образом: краткое введение, методы исследования, результаты исследования и их обсуждение, выводы, список литературы. Таблицы (не более 3) печатаются на отдельных страницах и должны быть пронумерованы в порядке общей нумерации, в тексте отмечается место, где должна быть помещена таблица.

4. Для иллюстраций статей принимается не более 4 рисунков. Рисунки представляются на отдельных страницах, на полях рукописи указывается место, где должен быть размещен рисунок. Рисунки, как и таблицы, выполняются на отдельных страницах, в тексте отмечается место, где должен быть помещен рисунок.

5. Цитирование авторов производится цифрами в квадратных скобках, список литературы располагать по алфавиту.

6. К статье прилагается аннотация в размере не более 10 строк на русском и английском языках.

7. Статьи направлять на электронном носителе (Word; шрифт Times 14, через 1.5 интервала, поля стандартные: сверху – 2.5 см, снизу – 2.0 см, слева – 3.0 см, справа – 1.5 см)

8. Редакция оставляет за собой право на сокращение и исправление статей. Рукописи, не принятые в печать не возвращаются. В случае возвращения статьи авторам для исправления согласно отзыву рецензента статья должна быть возвращена в течение 2 мес. в доработанном варианте с приложением первоначального.

9. С аспирантов и докторантов плата за публикацию рукописей не взимается.

Статьи следует направлять по адресу:

*119121, Москва, ул. Погодинская 8, корп.2, Институт возрастной физиологии РАО,
отв. секретарю альманаха Догадкиной С. Б. (комн. 32)
Тел/факс: (499) 245-04-33, тел: 708-36-83; E-mail: almanac@mail.ru*

Номер подписан в печать 10.12.2015.
Усл. п. л. 8. Тираж 500 экз.
Отпечатано ИП Скороходов В.А.
111401, г. Москва, ул. 3-я Владимирская, 11-18