

**4**  
**2017**

ИНСТИТУТ ВОЗРАСТНОЙ ФИЗИОЛОГИИ  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ ОБРАЗОВАНИЯ

# НОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

*Возрастная морфология*

*Возрастная психофизиология*

*Возрастная физиология*

**Российская академия образования  
Институт возрастной физиологии**



**НОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ**

№ 4(53) 2017

**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., Москва, РФ  
(ответственный секретарь)

Морозова Л.В., д.б.н., проф.,  
Архангельск, РФ

Лях В.И., д.б.н., проф.,  
Краков, Польша

Криволапчук И.А., д.б.н.  
Москва, РФ

Курганский А.В., к.б.н.  
Москва, РФ

Губарева Л.Н., д.б.н.,  
Ставрополь, РФ

Параничева Т.М., к.б.н.,  
Москва, РФ

Адамовская О.Н., к.б.н.,  
Москва, РФ

Филиппова Т.А., к.б.н.,  
Москва, РФ

**РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ**

Безруких М.М., д.б.н., акад. РАО,  
Москва, РФ

Фарбер Д.А., д.б.н., акад. РАО  
Москва, РФ

Мачинская Р.И., д.б.н., член-корр. РАО  
Москва, РФ

Сонькин В.Д., д.б.н., проф.  
Москва, РФ

Тамбовцева Р.В., д.б.н., проф.,  
Москва, РФ

Айзман Р.И., д.б.н., проф.  
Новосибирск, РФ

Сельверова Н.Б., д.м.н., проф.  
Москва, РФ

Князева М.Г., д.б.н.,  
Женева, Швейцария

**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, 2017, № 4(53). - 186 с.**

# СОДЕРЖАНИЕ

## ОБЗОРЫ

### **ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ МОЗГА ПОДРОСТКОВ И ВОЗМОЖНОСТЬ ЕГО ПРОИЗВОЛЬНОЙ РЕГУЛЯЦИИ**

Фарбер Д.А., Горев А.С. .... 5

### **НЕЙРОЭНДОКРИННЫЕ АСПЕКТЫ СТРЕССА И РАССТРОЙСТВ ПОВЕДЕНИЯ У ПОДРОСТКОВ**

Шарапов А.Н. .... 15

## ВОЗРАСТНАЯ МОРФОЛОГИЯ

### **СТРУКТУРНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ V СЛОЯ КОРЫ БОЛЬШОГО МОЗГА ЧЕЛОВЕКА В ПОСТНАТАЛЬНОМ ОНТОГЕНЕЗЕ**

Цехмистренко Т.А., Васильева В.А., Обухов Д.К., Шумейко Н.С. ....34

## ВОЗРАСТНАЯ ПСИХОФИЗИОЛОГИЯ

### **ОСОБЕННОСТИ ЗРИТЕЛЬНОГО ВОСПРИЯТИЯ И ОКУЛОМОТОРНОЙ АКТИВНОСТИ У ВТОРОКЛАССНИКОВ ПРИ ЧТЕНИИ ТЕКСТОВ РАЗЛИЧНОЙ СЛОЖНОСТИ**

Безруких М.М., Адамовская О.Н., Иванов В.В., Филиппова Т.А. .... 46

### **ОСОБЕННОСТИ ГЛАЗОДВИГАТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ ПРИ ЧТЕНИИ ТЕКСТА С РАЗЛИЧНЫХ УСТРОЙСТВ ОТОБРАЖЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ У ПОДРОСТКОВ 14-15 ЛЕТ**

Иванов В.В. .... 64

### **УСПЕШНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ ЗРИТЕЛЬНО-ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ЗАДАЧ РАЗЛИЧНОЙ СЛОЖНОСТИ ДЕТЬМИ, ПОДРОСТКАМИ И ВЗРОСЛЫМИ**

А. В. Хрянин .... 76

## ВОЗРАСТНАЯ ФИЗИОЛОГИЯ

### **ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ И НЕЙРОЭНДОКРИННОЙ СИСТЕМ У ПОДРОСТКОВ 14-15-ЛЕТНЕГО ВОЗРАСТА**

Шарапов А.Н., Сельверова Н.Б., Рублева Л.В., Кмить Г.В.,  
Дозадкина С.Б., Безобразова В.Н., Ермакова И.В. .... 88

### **ФИЗИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ ПОДРОСТКОВ 14-15 ЛЕТ МОСКВЫ**

Макарова Л.В., Лукьянец Г.Н., Параничева Т.М.,  
Лезжова Г.Н., Орлов К.В., Тюрина Е.В. .... 111

<b>ФИЗИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ, НЕЙРОВЕГЕТАТИВНЫЙ, ГОРМОНАЛЬНЫЙ И ПСИХОЭМОЦИОНАЛЬНЫЙ СТАТУС ДЕТЕЙ НА РАЗНЫХ СТАДИЯХ ПОЛОВОГО СОЗРЕВАНИЯ</b> Ермакова И.В. , Адамовская О.Н., Сельверова Н.Б. ....	127
<b>ВЕГЕТАТИВНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫПОЛНЕНИЯ КОГНИТИВНЫХ ЗАДАЧ В ПОДРОСТКОВОМ ВОЗРАСТЕ</b> Безруких М.М., Логинова Е.С., Комкова Ю.Н., Терехова Н.Н. ....	140
<b>ОСОБЕННОСТИ ТЕРМОВЕГЕТАТИВНОЙ ФУНКЦИИ КОЖИ ПРИ КРАТКОВРЕМЕННОЙ ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ У ПОДРОСТКОВ 14-15 ЛЕТ, СИСТЕМАТИЧЕСКИ ЗАНИМАЮЩИХСЯ ПЛАВАНИЕМ</b> Пронина Т.С., Орлова Н.И., Сонькин В.Д. ....	156
<b>ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ КОНДИЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЬНЫХ СПОСОБНОСТЕЙ У МАЛЬЧИКОВ В ПОДРОСТКОВОМ ВОЗРАСТЕ</b> Криволапчук И.А., Баранцев С.А., Мышьяков В.В., Кесель С.А., Чернова М.Б. ....	162
<b>ВЛИЯНИЕ ОДНОКРАТНОГО ОСТРОГО ГИПОКСИЧЕСКОГО СТИМУЛА НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ЮНЫХ СПОРТСМЕНОВ – ПЛОВЦОВ РАЗНОГО ВОЗРАСТА</b> Малахов М.И., Войтенко Ю.Л., Сонькин В.Д. ....	169
<b>ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ ШКОЛЬНИКОВ 14-15 ЛЕТ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ДВИГАТЕЛЬНОЙ ПОДГОТОВЛЕННОСТИ</b> Криволапчук И.А., Чернова М.Б. Савушкина Е.В. ....	178

## ОБЗОРЫ

### ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ МОЗГА ПОДРОСТКОВ И ВОЗМОЖНОСТЬ ЕГО ПРОИЗВОЛЬНОЙ РЕГУЛЯЦИИ

Д.А. Фарбер, А.С. Горев<sup>1</sup>  
ФГБНУ «Институт возрастной физиологии  
Российской академии образования», Россия, Москва

*Рассматриваются результаты исследований и литературные данные о специфике функционального состояния мозга подростков. Наиболее выраженные изменения функционального состояния наблюдаются в раннем подростковом возрасте (12-13). Избыточная активность глубоких структур мозга снижает возможность коркового контролирующего влияния. При этом у подростков 12-13 лет отмечается высокий уровень эмоционального и вегетативного напряжения, повышение общей психофизиологической активности, возникают трудности произвольной регуляции и организации деятельности.*

*Использование релаксационных методик выявило значимые различия их воздействия на оптимизацию функционального состояния на разных этапах подросткового периода. Установлено снижение влияния релаксации в 12-13 лет по сравнению с 10-11 годами с последующей тенденцией к оптимизации функционального состояния мозга к 14-15 годам.*

*Оптимизация функционального состояния, с использованием методики релаксации повышает готовность подростка к организации деятельности, работоспособность, снижает утомляемость.*

**Ключевые слова:** подростковый возраст, функциональное состояние мозга, организация когнитивной деятельности, релаксационное состояние

**We present the review of scientific studies concerning the brain functional state in adolescents. The most prominent changes of the brain functional state are observed in early adolescence (12-13 y.o.). Excessive neural activity in deep brain structures downgrades the influence of cortical regulatory systems. At the same time, the adolescents aged 12-13 exhibit a high level of emotional and autonomic tension as well as increased general psychophysiological activation. Their voluntary regulation is hindered, activity arrangement is complicated.**

*It is shown that the effect of relaxation techniques on functional state optimization is different depending on a certain stage of adolescence. A decline in relaxation effect is shown in adolescents aged 12-13 as compared with adolescents aged 10-11 with the following tendency towards the optimization of the brain functional state in adolescents aged 14-15.*

*The optimization of the brain functional state applying relaxation techniques increases adolescents' readiness for activity arrangement, working capacity, and decreases fatigability.*

---

Контакты: <sup>1</sup> Горев А.С. – E-mail: <asgorev@rambler.ru>

**Key words:** *adolescents, brain functional state, cognitive activity organization, relaxation state.*

Функциональное состояние – это тот фон, на котором осуществляется функционирование физиологических систем, контакты с внешней средой и различные виды физической и познавательной деятельности. В организации функционального состояния организма ведущая роль принадлежит функциональному состоянию мозга, которое определяется соотношением активности различных мозговых структур и их взаимодействием. В континиуме функциональных состояний человека от состояния активного бодрствования (деятельности) до глубокого сна выделяется особое функциональное состояние - спокойное бодрствование (покой), оптимальное для готовности к приему информации и организации деятельности [16].

У взрослого человека в этом состоянии в электроэнцефалограмме (ЭЭГ) доминирует синхронная ритмическая активность, частотой 8-12 Гц – альфа-ритм. Функциональные характеристики этого ритма определяют его значимость для осуществления готовности к восприятию информации и организации деятельности. Согласованность во времени (синхронность) ритмической электрической активности нейронных сетей мозга, отражающаяся в параметрах электроэнцефалограммы (ЭЭГ) рассматривается как системообразующий фактор [25], обеспечивающий взаимодействие структур мозга [30], их объединение в функциональную рабочую систему, соответствующую конкретной реализуемой когнитивной задачи или организации деятельности. При произвольном внимании, направленном на восприятие стимулов определенной сенсорной модальности наблюдается усиление взаимосвязанности по альфа-ритму сенсорно-специфических корковых зон и регуляторных зон префронтальной коры [9; 20].

Альфа-ритм как доминирующая форма активности в состоянии спокойного бодрствования формируется в онтогенезе человека постепенно по мере структурно-функционального созревания коры больших полушарий [10; 11; 15]. Его формирование проявляется в степени представленности в ЭЭГ, стабилизации, формировании определенной пространственно-временной организации, увеличении частоты. В 6-8 летнем возрасте в ЭЭГ ребенка, наряду с альфа-ритмом, регистрируются колебания, отражающие активность глубинных структур мозга. И только с 9-10 лет альфа-ритм становится доминирующей стабильной формой активности с частотой аналогичной частоте альфа-ритма взрослых. Формирование доминирующего ритма отражает становление зрелого типа баланса активности коры и подкорковых структур с превалированием активности коры больших полушарий. Это обеспечивает функциональное состояние, благоприятное для организации разных видов деятельности.

Начало полового созревания приводит к существенным изменениям степени структурного созревания разных отделов мозга. На начальной стадии полового созревания резко повышается активность гипоталамуса, являющаяся одним из компонентов нейроэндокринной гипоталамо-гипофизарной системы, рассматриваемой как запускающее звено полового созревания, стимулирующее выделение половых гормонов [8]. Согласно имеющимся данным половые гормоны оказывают прямое и гетерохронное влияния на структурное созревание разных отделов

мозга [26; 27; 29; 31]. При этом отмечается опережающее влияние гормонов на глубинные структуры мозга.

Баланс корково-подкорковой активации со временем изменяется в сторону большей активации более зрелых глубинных отделов, в том числе и структур мотивационно-эмоциональной системы. Повышенная активность этих структур приводит к возрастающему эмоциональному напряжению. Следствием этого является увеличение уровня общей психофизиологической активации [7].

В раннем подростковом возрасте происходят изменения функционального состояния мозга в покое, снижающие степень готовности к деятельности, что отражается в специфике когнитивных процессов. Меньшая степень зрелости префронтальной коры и сниженная ее активность по сравнению с глубинными структурами является препятствием для функционирования системы произвольной регуляции и организации деятельности, затрудняется реализация управляющих функций и снижается степень их влияния на активность глубинных структур. В экспериментальных исследованиях это проявляется в снижении функционального взаимодействия корковых структур в ситуации произвольного внимания, направленного на опознание неполных изображений и снижение эффективности выполнения этой когнитивной задачи [18; 19]. Показано также снижение объема рабочей памяти [17].

Изменение управляющих функций на начальном этапе полового созревания проявляется и в снижении тормозного коркового контроля [28], что приводит к возрастающей импульсивности принятия решений и поведения [13; 14]. Обнаруженные на начальном этапе полового созревания изменения деятельности мозга, безусловно, отрицательно влияют на функциональное состояние организма подростка, возникают определенные трудности учебной деятельности и перегрузки, напряжение деятельности физиологических систем, утомление, снижение стрессоустойчивости.

Вследствие снижения тормозного контроля со стороны коры на структуры мотивационно – эмоциональной системы потребности подростка становятся плохо управляемыми, они направлены только на то, что непосредственно интересует подростка и/или дает непосредственное положительное подкрепление [24; 32].

Несмотря на то, что, как и эмоциональное напряжение, так и специфика потребностей подростка не способствуют оптимальному функциональному состоянию и эффективности деятельности, оптимизации функционального состояния подростка возможна. Для этого следует использовать характерный для периода взросления интерес подростка к собственной личности, к возможности изменить, улучшить свои физические и психические качества [12; 21; 22]. Подростков интересует все, что может помочь им лучше ориентироваться в окружающем мире. Этому стремлению препятствует снижение активности коры больших полушарий в сравнении с глубинными структурами и ухудшение в следствии этого механизмов произвольной регуляции функционального состояния.

Реализации механизма произвольной регуляции препятствует высокий уровень психофизиологической активации, связанной с повышенной активностью глубинных структур мозга. Для того, чтобы реализовать потребности подростка к самоусовершенствованию необходимо повысить возможность произвольной регуляции функционального состояния, снизив уровень напряжения и психофизиологической активации. Следует отметить, что повысить уровень активности коры



сравнительно легко, для этого достаточно увеличить приток информации, поступающей в кору. Из жизненного опыта мы знаем, что после непродолжительного или беспокойного сна, ощущая низкий тонус, достаточно сделать физические упражнения и поток импульсации, поступающий через ретикулярную формацию ствола повысит уровень активности коры больших полушарий.

Значительно труднее снизить уровень психофизиологической активации. Для этого требуется вовлечение механизмов произвольного управления функциональным состоянием. Вовлечение высших регуляторных структур префронтальной коры может обеспечить регуляцию общего уровня психофизиологической активации, снять излишнее напряжение, что в свою очередь позволит обеспечить готовность к реализации физической или познавательной деятельности.

Большинство взрослых, при оптимальном соотношении активности коры и глубинных структур способны к произвольной регуляции функционального состояния. Способность к произвольной регуляции функционального состояния, как отмечено выше, формируется по мере созревания префронтальной коры и ее связей с другими структурами. В раннем подростковом возрасте избыточная активность глубинных структур затрудняет возможность произвольной регуляции функционального состояния. Для того чтобы ее реализовать и снять чрезмерную психофизиологическую активность и напряжение, надо овладеть специальными приемами (техниками), способствующими оптимизации функционального состояния. Такими техниками являются методики релаксации.

Состояние релаксации – такое же естественное для организма состояние, как и другие, входящие в континуум функциональных состояний. Оно занимает промежуточное место между спокойным бодрствованием (покоем) и сном. По уровню активации, состояние релаксации противоположно мобилизации. Противоположны они и в энергетическом плане: при мобилизации происходит повышение уровня энергозатрат, при релаксации – накопление энергоресурсов. В этом плане релаксация сходна с состоянием сна, однако существенно отличается от него наличием сознания, готовностью к деятельности. Физиологические сдвиги, возникающие при формировании релаксации, очень напоминают состояние отдыха. Это ослабление мышечного тонуса, снижение минутного объема дыхания (дыхание становится более редким и поверхностным), уменьшение частоты сердечных сокращений, нормализация артериального давления и выравнивание кожной температуры (потепление кистей рук), изменения гормонального профиля в сторону антистрессовой направленности. Релаксационное состояние по всем признакам противоположно состоянию нервно-психического напряжения, стрессу. Характер релаксационных сдвигов в физиологических процессах свидетельствует о его высоком восстановительном потенциале, позволяющем достаточно быстро оптимизировать функциональное состояние организма. Быстрое восстановление функциональных ресурсов – важная сторона использования релаксационных методик.

Роль релаксации в оптимизации функционального состояния мозга определила первоначальное использование релаксационных методик в клинических целях: при стрессах и неврозах [23]. Позднее возник более широкий интерес к релаксации, вызванный информационными и эмоциональными перегрузками, свойственными современному обществу.

Исследования произвольной регуляции функционального состояния в возрастном аспекте [1-6] показали, что способностью обучаться релаксации облада-

ют уже дети младшего школьного возраста. Однако она выявляется только у 30 % детей, при этом изменение значений электрокожного сопротивления (ЭКС) по сравнению с состоянием до релаксации не превышает 10 %, в то время как у взрослых оно достигает 80 %. Низкие возможности произвольной регуляции функционального состояния отражают установленную в онтогенетических исследованиях относительную незрелость регуляторных структур префронтальной коры и, соответственно, механизмов произвольного регулирования. Морфофункциональное созревание системы произвольной регуляции к 9-10 годам [9] определяет существенные изменения возможностей произвольной релаксации. В 10-11 лет способность к релаксации наблюдается у всех детей. Снижение общего уровня активации по ЭКС в этом возрасте достигает 50 % [3].

Формирование к этому возрасту механизмов произвольной регуляции деятельности проявляется в функциональной организации структур мозга, приближающейся к таковой у взрослых. У детей 10-11 лет овладение методикой релаксации способствует не только снижению уровня активации, но и положительно влияет на когнитивные процессы. Установлено [6], что в 10-11 лет функциональная организация мозга при преднастройке к выполнению когнитивной задачи близка к таковой у взрослых. Формируются системы функциональных связей префронтальной коры с проекционными и ассоциативными корковыми зонами, участвующими в приеме и обработке модально-специфической информации, необходимой для решения предъявляемой когнитивной задачи. При этом преднастройка в пострелаксационном состоянии приводит к более выраженному усилению связей по сравнению с преднастройкой в функциональном состоянии, предшествующем релаксации. Такая организация направленного внимания обеспечивает повышение эффективности выполнения когнитивного задания: точность восприятия информации, увеличение объема кратковременной памяти. Таким образом, возраст 10-11 лет можно рассматривать как благоприятный период для обучения произвольной релаксации с целью повышения эффективности когнитивных процессов и, следовательно, учебной деятельности.

В связи с началом полового созревания происходят существенные негативные изменения механизмов произвольной регуляции функционального состояния. Сопоставление показателей произвольной релаксации в возрастных группах 10-11, 12-13 и 13-14 лет [5] показало, что на начальном этапе полового созревания возможности произвольной релаксации значительно меньше, чем в 10-11 лет. У 12-13-летних подростков в релаксационном состоянии уровень активации не отличается от такового до релаксации. В 13-14 лет появляется тенденция к снижению общей активации при релаксации, однако выраженность этих изменений еще не достигает взрослого уровня.

При этом для обеих групп подростков (12-13 и 13-14 лет) характерна меньшая степень изменения общего активационного уровня в сравнении с 10-11 годами. Особенности произвольной релаксации отчетливо выявляются в специфике функциональной организации мозга в процессе преднастройки к выполнению когнитивной задачи в пострелаксационном состоянии. В группе 12-13-летних формирующаяся при преднастройке система мозговых структур, обеспечивающая готовность к выполнению когнитивных задач, не отличается от формирующихся в предшествующем релаксации, состоянии спокойного бодрствования. Соответственно, не наблюдается и улучшения показателей выполнения заданий (кратко-

временная слухоречевая память). В отличие от 12-13-летних, у 13-14-летних появляется характерное для предраспорядки у взрослых и 10-11-летних детей, усиление функциональных связей префронтальной коры с каудальными сенсорными зонами, что приводит к повышению эффективности деятельности – возрастает объем кратковременной памяти.

Показано, что результатом оптимизации функционального состояния в 13-14 лет является улучшение показателей слухоречевой памяти. Эти данные соответствуют результатам исследований, выявивших некоторое улучшение механизмов произвольной организации деятельности к 14 годам [19].

Существенной особенностью раннего подросткового возраста, негативно влияющей на психофизиологическую активацию, а, следовательно, и на оптимизацию функционального состояния как готовности к деятельности, является изменение в мотивационно-эмоциональной системе. Повышенная в сравнении с корой больших полушарий активность глубоких лимбических структур и снижение возможностей коркового контроля приводит не только к избыточному эмоциональному напряжению, но и к качественным изменениям мотивационно-эмоциональной сферы.

Потребности подростка направлены только на то, что представляет для него непосредственный интерес [24; 32] и/или может дать немедленное положительное подкрепление. Показано, что только такие задачи активируют корковые отделы мотивационно-эмоциональной системы. Задания, не представляющие непосредственного интереса, не приводят к характерному для взрослых изменению корковых отделов мотивационно-эмоциональной системы, снижается и их влияние на организацию функциональных систем при когнитивной деятельности [19].

Анализ представленных выше данных свидетельствует о том, что у подростков возможности произвольной регуляции функционального состояния снижены во многом за счет повышенной психофизиологической активации. В связи с этим использование методов релаксации приносит несомненную пользу. Переход в релаксационное состояние снимает избыточную психоэмоциональную активность, тревожность, эмоциональную и вегетативную реактивность подростка, его утомляемость и, тем самым, способствуют нормализации его поведения и эффективности познавательной деятельности.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Анализ литературных данных и результатов многолетних исследований авторов свидетельствует о том, что высокий уровень активации глубоких структур мозга в раннем подростковом возрасте приводит к эмоциональному и вегетативному напряжению, чрезмерному повышению общей психофизиологической активности. Снижается возможность коркового контроля и произвольной регуляции функционального состояния. Следствием этого являются негативные изменения в состоянии спокойного бодрствования как оптимальном фоне для приема информации и организации деятельности.

Использование методик релаксации при регуляции функционального состояния у подростков приводит к снижению чрезмерной общей активации и напряжению. Однако у подростков в 12-13 лет по сравнению с 10-11-ти летними это снижение выражено значительно меньше, снижено влияние релаксации на организа-

цию деятельности. В 13-14 лет наблюдается тенденция к восстановлению возможностей произвольной релаксации. Оптимальным для овладения произвольной релаксацией является возраст 16-17 лет, вместе с тем использование метода релаксации целесообразно в течение всего подросткового периода. Нормализация функционального состояния мозга и организма в целом с помощью релаксационных методик создает оптимальные условия для восприятия информации и организацию деятельности.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горев А.С. Динамика ритмических составляющих альфа-диапазона ЭЭГ детей 7-8 лет в условиях релаксации // Физиология человека. – 1998а. – Т. 24. № 1 – С. 21-26.
2. Горев А.С. Динамика ритмических составляющих ЭЭГ в условиях релаксации у школьников 9-10 лет с различной успешностью обучения // Физиология человека. – 1998б. – Т. 24, № 6. – С. 42-47.
3. Горев А.С. Влияние кратковременной релаксации на организацию биоэлектрической активности мозга в состоянии спокойного бодрствования у младших школьников // Физиология человека. – 2004. – Т. 30. № 5. – С. 30-35.
4. Горев А.С. Влияние произвольной регуляции функционального состояния (релаксация) на организацию корковых процессов при мнестической деятельности у школьников 9-10 лет // Физиология человека. – 2007. – Т.33, №2. – С. 35-42.
5. Горев А.С. Произвольная регуляция функционального состояния и ее влияние на эффективность когнитивной деятельности в подростковом возрасте // Физиология человека. – 2017. – Т. 43, № 2. – С. 15-22.
6. Горев А.С. ЭЭГ-анализ возрастных особенностей влияния произвольной релаксации на когнитивную деятельность у детей 10-12 лет // Новые исследования. – 2015. – №1 (42). – С. 16-26.
7. Гримак Л.П. Психология активности. Психологические механизмы и приемы саморегуляции. – М.: Изд-во Либроком. 2010. – 378 с.
8. Колесов, Д.В. Сельверова Н.Б. Физиолого-педагогические аспекты полового созревания. – М.: Педагогика, 1978. – 224 с.
9. Мачинская Р.И. Функциональное созревание мозга и формирование нейрофизиологических механизмов избирательного произвольного внимания у детей младшего школьного возраста // Физиология человека. – 2006. – Т.32. №1. – С. 26-36.
10. 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.
11. Развитие мозга и формирование познавательной деятельности ребенка/под ред. Д.А. Фарбер, М.М. Безруких. – М.: МПСИ; Воронеж: МОДЭК, 2009.
12. Реминдштадт, Х Подростковый и юношеский возраст. – М.: Изд-во Мир;, 1994. – 317 с.
13. Семенова О.А., Мачинская Р.И. Влияние функционального состояния регуляторных систем мозга на эффективность произвольной организации когнитивной деятельности у детей. Сообщение II. Нейропсихологический и электроэнцефалографический анализ состояния регуляторных функций мозга у детей пред-

подросткового возраста с трудностями учебной адаптации // Физиология человека. – 2015. – Т. 41. № 5. – С. 28-38.

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

15. Структурно-функциональная организация развивающегося мозга / Под ред. Д. А. Фарбер. – Ленингр.: Наука, 1990. – 197 с.

16. Ухтомский А. А. Очерк физиологии нервной системы / А.А. Ухтомский // Собр. соч.: в 6 т. – Л., 1954. – Т.4 – С. 5-229.

17. Фарбер Д.А., Игнатъева И.С., Влияние нейроэндокринных сдвигов пубертатного периода на реализацию рабочей памяти у подростков // Физиология человека. – 2006. – Т. 32, №1. – С. 5-14.

18. 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.

19. Фарбер Д.А., Петренко Н.Е. Особенности мозговой организации произвольного внимания и их влияние на эффективность целостного опознания у подростков 12-13 лет / Д.А. Фарбер, Н.Е. Петренко // Новые исследования. – 2015. – № 4. – С. 4-18.

20. Фарбер Д.А., Мачинская Р., Курганский А., Петренко Н. Функциональная организация мозга в период подготовки к опознанию фрагментарных изображений // Журн. Высш. Нервн. деят. им И.П. Павлова. – 2014. – Т. 64. № 2. – С. 190-200.

21. Фельдштейн Д.И. Проблемы возрастной и педагогической психологии. – М.: Изд-во МГУ, 1995. – 367 с.

22. Фельдштейн Д.И. Трудный подросток – М.: Издательство Московского психолого-социального института; Воронеж: Издательство НПО «МОДЭК», 2008. – 206 с.

23. Эверли Дж.С., Розельфельд Р. Стресс. Природа и лечение. – Мю: Медицина, 1985. 225 с.

## REFERENCE

1. Gorev A.S. Dinamika ritmicheskikh sostavljajushhih al'fa - diapazona JeJeG deej 7-8 let v uslovijah relaksacii // Fiziologija cheloveka, 1998a. –Т.24. №1 – S.21-26.

2. Gorev A.S. Dinamika ritmicheskikh sostavljajushhih JeJeG v uslovijah relaksacii u shkol'nikov 9-10 let s razlichnoj uspešnost'ju obuchenija // Fiziologija cheloveka, 1998b. - Т. 24. N 6. - S.42 – 47.

3. Gorev A.S. Vlijanie kratkovremennoj relaksacii na organizaciju biojel-ektricheskoy aktivnosti mozga v sostojanii spokojnogo boдрstvovaniija u mladshih shkol'nikov//Fiziologija cheloveka. 2004 -Т. 30. № 5. - S. 30 – 35.

4. Gorev A.S. Vlijanie proizvol'noj reguljicii funkcional'nogo sostojaniija (relaksacija) na organizaciju korkovyh processov pri mnesticheskoy dejatel'nosti u shkol'nikov 9-10 let //Fiziologija cheloveka, 2007.- Т.33. №2.- S.35-42

5. Gorev A.S. Proizvol'naja reguljacija funkcional'nogo sostojanija i ee vlijanie na jeffektivnost' kognitivnoj dejatel'nosti v podrostrkovom vozraste // Fiziologija cheloveka, 2017. - T. 43. № 2. - S. 15-22

6. Gorev A.S. JeJeG-analiz vozrastnyh osobennostej vlijanija proizvod'noj relaksacii na kognitivnuju dejatel'nost' u detej 10-12 let // Al'manah «Novye Issledovanija», 2015 - №1 (42) - S.16-26

7. Grimak L.P. Psihologija aktivnosti. Psihologicheskie mehanizmy i priemy samoreguljaciji. Izd-vo Librokom. 2010, 378 s.

8. Kolesov, D.V. Sel'verova N.B. Fiziologo-pedagogicheskie aspekty polovogo sozrevanija. – Moskva: Pedagogika, 1978. 224 s.

9. Machinskaja R.I. Funkcional'noe sozrevanie mozga i formirovanie nejrofiziologicheskikh mehanizmov izbiratel'nogo proizvod'nogo vnimanija u detej mladshago shkol'nogo vozrasta//Fiziologija cheloveka. 2006. - T.32. №1 - S.26-36.

10. Mozgovye mehanizmy formirovanija poznavatel'noj dejatel'nosti v predshkol'nom i mladšem shkol'nom vozraste / pod red. R.I. Machinskoj, D.A.Farber. Moskva: NOU VPO «MPSU»; Voronezh: MODJeK, 2014.

11. Razvitie mozga i formirovanie poznavatel'noj dejatel'nosti rebenka/pod red. D.A. Farber, M.M. Bezrukih. M.: MPSI; Voronezh: MODJeK, 2009.

12. Remindshtadt, H Podrostrkovyj i junosheskij vozrast. – Izd-vo Mir: Moskva, 1994. – 317 s.

13. Semenova O.A., Machinskaja R.I. Vlijanie funkcional'nogo sostojanija reguljatornyh sistem mozga na jeffektivnost' proizvod'noj organizacii kognitivnoj dejatel'nosti u detej. Soobshhenie II. Nejropsihologicheskij i jelektrojencefalograficheskij analiz sostojanija reguljatornyh funkcij mozga u detej predpodrostrkovogo vozrasta s trudnostjami uchebnoj adaptacii // Fiziologija cheloveka. 2015. -T. 41. № 5. - S. 28-38.

14. Semenova, O., Machinskaja, R., Lomakin, D. Vlijanie funkcional'nogo sostojanija reguljatornyh sistem mozga na jeffektivnost' programirovanija, izbiratel'noj reguljaciji i kontrolja kognitivnoj dejatel'nosti u detej. Soobshhenie I. Nejropsihologicheskij i jelektrojencefalograficheskij analiz vozrastnyh preobrazovanij reguljatornyh funkcij mozga v period ot 9 do 12 let //Fiziologija cheloveka, 2015. - T.41. № 4. - S.5-17.

15. Strukturno-funkcional'naja organizacija razvivajushhegosja mozga / Pod. red. D. A. Farber, Nauka, Leningr. 1990. 197 s.

16. Uhtomskij A. A. Ocherk fiziologii nervnoj sistemy. Sobr. soch., 1954. T. 4. L., 1954. S.5 – 229.

17. Farber D.A., Ignat'eva I.S., Vlijanie nejrojendokrinnih sdvigov pubertatnogo perioda na realizaciju rabochej pamjati u podrostrkov// Fiziologija cheloveka, 2006. – T. 32, №1 - S.5-14.

18. Farber D.A., Kurganskij A.V., Petrenko N.E. Mozgovaja organizacija prednasrojki k zritel'nomu opoznaniju u detej predpodrostrkovogo vozrasta // Fiziologija cheloveka, 2015. – T. 41. – № 5. – S. 5-15.

19. Farber D.A., Petrenko N.E. Osobennosti mozgovoj organizacii proizvod'nogo vnimanija i ih vlijanie na jeffektivnost' celostnogo opoznanija u podrostrkov 12-13 let/ Farber D.A., Petrenko N.E. //Al'manah «Novye issledovanija», 2015. № 4. C.4-18.

20. Farber D.A., Machinskaja R., Kurganskij A., Petrenko N. Funkcional'naja organizacija mozga v period podgotovki k opoznaniju fragmentarnyh izobrazhenij. Zhurn. Vyssh. Nervn. Dejat. im I.P. Pavlova, 2014. – T. 64. № 2. – S.190-200.

21. Fel'dshtejn D.I. Problemy vozrastnoj i pedagogičeskoj psihologii. Izd-vo MGU, Moskva, 1995. – 367 s.
22. Fel'dshtejn D.I. Trudnyj podrostok – M.: Izdatel'stvo Moskovskogo psihologo-social'nogo instituta; Voronezh: Izdatel'stvo NPO «MODJeK», 2008. – 206 s.
23. Jeverli Dzh.S., Rozel'fel'd R. Stress. Priroda i lečenje. – Mju: Medicina, 1985. 225 s.
24. 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. - V.41. N6 – P. 1-17.
25. Bressler S.L., Tognoli E. Operational principles of neurocognitive networks//*Int. J. Psychophysiol*, 2006. V.60. N2. – P.139-148.
26. Casey, B. J., & Jones, R. M. Neurobiology of the adolescent brain and behavior: implications for substance use disorders//*J Am Acad Child Adolesc Psychiatry*, 2010. – V.49. N.12. - P.1189-1201
27. Casey, B. J., Jones, R. M., & Hare, T. A. The Adolescent Brain//*Annals of the New York Academy of Sciences*, 2008. – V. 1124 – P.111-126.
28. 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 - 15545.
29. Lenroot, R. K., & Giedd, J. N. Brain development in children and adolescents: insights from anatomical magnetic resonance imaging // *Neurosci Biobehav Rev*, 2006. V.30. N.6. – P. 718-729.
30. Palva, J. M., Monto, S., Kulashekhar, S., & Palva, S. Neuronal synchrony reveals working memory networks and predicts individual memory capacity // *Proc Natl Acad Sci U S A*, 2010 - V.107. N.16. - P.7580-7585.
31. Peper, J. S., van den Heuvel, M. P., Mandl, R. C., Hulshoff Pol, H. E., & van Honk, J. Sex steroids and connectivity in the human brain: a review of neuroimaging studies // *Psychoneuroendocrinology*, 2011. V.36. N.8. – P.1101-1113.
32. Somerville, L. H., & Casey, B. J. Developmental neurobiology of cognitive control and motivational systems // *Curr Opin Neurobiol*, 2010. – V.20. N.2. P. 236-241.

# НЕЙРОЭНДОКРИННЫЕ АСПЕКТЫ СТРЕССА И РАССТРОЙСТВ ПОВЕДЕНИЯ У ПОДРОСТКОВ

А.Н. Шарапов<sup>1</sup>

ФГБНУ «Институт возрастной физиологии  
Российской академии образования», Москва

*Приводится анализ зарубежных научных публикаций, посвященных изучению структурных и функциональных особенностей центральной, автономной нервной и эндокринной систем у подростков и лабораторных животных в процессе полового созревания. Дается критическая оценка фундаментальных работ (научных статей, обзоров и книг), отражающих соучастие эндокринной и нервной систем в регуляции физиологических актов (лабораторные и социальные стрессы, синдром дефицита внимания/гиперактивности) и дисфункций психогенного характера в виде расстройств поведения (синдромы «детского несчастья», самотравматизации, расстройств пищевого поведения, панических атак) в подростковом возрасте.*

**Ключевые слова:** подростковый возраст, стресс, поведение, нейроэндокринная система

*Neuroendocrine aspects of stress and behavior disorders in teenagers. The paper presents the analysis of foreign scientific publications devoted to the study of structural and functional features of the central, autonomic nervous and endocrine systems in adolescents and laboratory animals during puberty. There is given critical evaluation of fundamental works (scientific articles, reviews and books) reflecting the joint role of the endocrine and nervous systems in the regulation of physiological acts (laboratory and social stresses, ADD/ADHD) and psychogenic disorders in the form of behavioural disorders ("childhood misfortune" syndromes, self-traumatizing, eating disorders, panic attacks) in adolescence.*

**Key words:** adolescence, stress, behaviour, neuroendocrine system

В период подросткового возраста происходят как психологические, так и физиологические изменения, обусловленные биологическими, социологическими и экологическими факторами. Эти факторы тесно взаимосвязаны, поскольку биологические изменения могут оказывать глубокое влияние на поведение, и наоборот, экологические факторы могут оказывать сильное влияние на процессы нормального биологического развития. С другой стороны, половое созревание относится к биологическим процессам, регулирующим созревание гонад и гамет, приводящим организм к достижению репродуктивной компетентности. Этот процесс очень вариабелен, к тому же, половое созревание может быть нарушено многочисленными экологическими факторами, такими как циркадианное время, психологический и/или физиологический стресс, а также возмущением гонадотропных гормонов. Считается, что подростковое созревание головного мозга является хронологически длительным процессом, охватывающим предпубертатное и постпубертатное развитие, а подростковое созревание головного мозга у людей, по некото-

---

Контакты: <sup>1</sup> Шарапов А.Н. – E-mail: <sharalums@mail.ru>



рым оценкам, продолжается примерно до 25 лет [69].

### **Морфофункциональные особенности нейроэндокринной системы в периоде полового созревания**

Можно провести много параллелей между развитием эмбрионального мозга и развитием мозга у подростков, включая возобновление всплеска нейрогенеза, усиление синаптических образований, увеличение дендритных отростков и укрепление или создание функциональных нейронных сетей [8; 19; 25; 38; 60]. Генетические факторы играют важную роль в сроках полового созревания как у мальчиков, так и у девочек [18; 31]. Ускорение в сроках наступления пубертата в последние десятилетия явно указывает на связь этого процесса с экологическими проблемами, хотя сравнительно недавние исследования свидетельствуют о том, что довольно часто встречаемое ожирение у девочек может быть связано с более ранним созреванием у них половых органов [48; 51; 67]; аналогичные отношения у мальчиков остаются спорными [51; 58; 69]. Общеизвестно, что у девочек появление thelarche является самым надежным начальным признаком эстрогенной активности, в то время как появление лобковых волос объясняется гормонозависимым процессом - началом проявления андрогенпродуцирующей функции надпочечников, которая напрямую не связана с активацией яичников [48].

На основании популяционных исследований считалось, что в течение последних десятилетий период полового созревания удлинялся, хотя в настоящее время нельзя сделать однозначного вывода из-за поперечного характера большинства исследований. Вместе с тем начало пубертата у мальчиков может снижаться, хотя в гораздо меньшей степени, чем у девочек. Однако возрастной предел в 9 лет, классически используемый для определения существенного полового созревания у мальчиков, по-видимому, по-прежнему, остаётся действительным исходя (данные популяционных исследований). Не найдено убедительных доказательств того, что III – V стадии пубертата у мальчиков может наступать в более ранние сроки. Кроме того, изменения в питании плода, детском питании, физической активности и воздействии химических веществ, повреждающих эндокринную систему, являются иными возможными факторами, способными влиять на эндогенную эндокринную среду и, следовательно, потенциально могут влиять на созревание репродуктивной системы [9].

Очевидно, для надёжной оценки пубертатного статуса следует учитывать другие факторы окружающей среды, которые могут модифицировать биодоступность и чувствительность к половым стероидам, такие как отклонения в физической форме [58] и питании, а также возможность воздействия химических веществ, повреждающих эндокринную систему [7]. Оценка степени половой зрелости должна опираться на дополнительные критерии прогрессирования пубертата, уровня скелетного созревания или темпов роста.

Активация гипоталамо-гипофизарно-гонадной (ГГГ) оси является основным триггерным фактором дебюта полового созревания. Ось ГГГ временно активизируется в раннем детстве [9;22], затем следует относительный, но не абсолютный период покоя в детстве [48]. Факторы, ответственные за реактивацию ГГГ оси в начале полового созревания, связаны со сложным взаимодействием между метаболическими, пищевыми и стероидными факторами [9]. Координация этих клеточных взаимодействий, вероятно, требует участия наборов генов, иерархически

расположенных в функционально связанных сетях. Были определены три регулятора транскрипции пубертатного процесса. Выяснилось, что генетические основы полового созревания являются полигенными, и что эпигенетические механизмы могут обеспечивать координационную и транскрипционную пластичность в этой наследственно обусловленной сети, а нарушение этих механизмов приводит к активации репрессорных генов, чья экспрессия обычно снижается в период полового созревания [43].

Для начала пубертата млекопитающих необходимо пульсирующее увеличение высвобождения гонадотропин-рилизинг-гормона (ГрГ) из гипоталамуса, который вызывает каскад гормонозависимых процессов. В этом периоде происходит созревание определенных областей мозга, включая префронтальную кору, но сложные механизмы, лежащие в основе этих динамических изменений, не совсем понятны. Само увеличение связано с изменениями в трансинаптической и глиально-нейронной связи. В частности, было изучено потенциальное участие эпигенетики в этом программировании. Известно, что эпигенома программирует направление на более ранних стадиях развития, и аналогичным образом регулирует жизненно важное созревание головного мозга, вызванное пубертатом. Поскольку эпигенетический механизм обладает высокой степенью чувствительности к экологическим факторам, его участие также может придать этому периоду роста большую уязвимость в отношении внешних возмущающих воздействий, что приводит к перепрограммированию и увеличению риска заболевания. Важно отметить, что возмущения в окружающей среде, включая стресс, инициируя нейropsychические дисфункции, обычно наблюдаемые у людей во время или сразу после полового созревания могут ускорить начало патологического процесса, нарушая нормальную траекторию развития пубертатного мозга посредством эпигенетических механизмов [41].

Заболеваемость, зависящая от успешности (либо не успешности) в решении задач, также изменяется в подростковом возрасте. Например, повышение производительности исполнительской функции по решению задач, объем рабочей памяти и ингибирование этих реакций, связано с повышенной активностью в префронтальной и теменной коре [1; 38]. Развитие важных областей лимбического мозга, включая префронтальную кору, гиппокамп и миндалину в этот период онтогенеза, было продемонстрировано и на животных [40; 55]. Исследования, посвященные долговременным изменениям в мозге и в поведении, вследствие воздействия окружающей среды во время полового созревания, были сосредоточены на неблагоприятных стимулах (каннабис, алкоголь и/или хронический стресс), нередко встречающихся в подростковом возрасте. Однако, важно отметить, что стимулы, обычно связанные с положительными результатами, такие как физические упражнения, также влияют на траекторию развития подросткового мозга через эпигенетические механизмы. Важно отметить, что долгосрочные нейроповеденческие изменения зачастую имеют половую дифференцировку, подчеркивая потенциальное взаимодействие эпигенетического созревания с известными гормональными изменениями во время полового созревания.

Нейропсихотический синдром часто возникает во время или сразу после полового созревания. Следовательно, более глубокое понимание эпигенетических механизмов, участвующих в этом периоде полового созревания, может дать новое понимание факторов риска заболевания. Дисрегуляция нервной системы является

одним из наиболее распространенных эндофенотипов при нейропсихических заболеваниях, причем сообщается о расстройствах в виде как гипер-, так и гипоактивности гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой оси [15; 66]. Различия в реактивности на многих уровнях гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой (ГГН) оси обусловлены наличием глюкокортикоидозависимой отрицательной обратной связи с исходной экспрессией кортикотропин-высвобождающего фактора, в сочетании с нейронной активацией паравентрикулярного ядра. Предполагают [37], что это связано с быстрым изменением стрессовой чувствительности и, что половая зрелость стимулирует тотальные изменения в регуляции оси ГГН. Подчеркивается, что секреция гонадотропинов, также, влияет на реактивность стресса как у взрослых, так и у препубертатных животных, а процессы, имеющие определяющее значение в инициации нейроциркуляторного стресса, вероятно, связаны с эпигенетическими механизмами [53]. Динамические процессы созревания головного мозга происходят во время пубертата, и эпигенетические механизмы явно участвуют в регулировании этого развития, специфичного для каждого пола. Эпигенетические механизмы готовы осуществлять программный контроль над развитием головного мозга во время полового созревания и являются экологически чувствительными, что, вероятно, способствует половому созреванию как в нормальных, так и в неблагоприятных условиях [41].

Нервные центры автономной (вегетативной) нервной системы (АНС) находятся в продолговатом мозге, гипоталамусе, лимбической системе мозга. Высший отдел регуляции – ядра промежуточного мозга. Волокна вегетативной нервной системы подходят и к скелетной мускулатуре, но не вызывают её сокращения, а повышают обмен веществ в мышцах. АНС регулирует работу внутренних органов и обмен веществ, сокращение гладкой мускулатуры. Путь от центра до иннервируемого органа в системе состоит из двух нейронов, которые располагаются в центральной нервной системе и вегетативных ядрах соответственно. Волокна вегетативной нервной системы выходят из ядерных образований ЦНС и обязательно прерываются в периферических вегетативных нервных узлах. Это типичный признак вегетативной нервной системы. В отличие от неё в соматической нервной системе, иннервирующей скелетные мышцы, кожу, связки, сухожилия, нервные волокна от ЦНС доходят до иннервируемого органа, не прерываясь [70].

Автономный контроль сердечно-сосудистой функции опосредуется сложным взаимодействием между центральными, периферическими и врожденными сердечными компонентами. Это взаимодействие опосредует нормальный сердечно-сосудистый ответ на физиологические и патологические стрессоры. Существуют сложные и динамические системы рефлекторного контроля между сердцем и мозгом, включая сердечные и внутригрудные ганглии, спинной мозг, головной мозг и его центральные ядра. Сердечный контроль осуществляется через серию рефлекторных контрольных сетей с участием соматических, внутренних сердечных ганглиев (сердце), внутригрудных внесердечных ганглиев (звездчатые, средние шейки матки), верхних шейных ганглиев, спинного мозга, ствола мозга и высших интеграционных центров. Каждый из этих центров обработки содержит афферентные, эфферентные и локальные нейроны цепи, которые взаимодействуют локально и взаимозависимо с другими уровнями для координации региональных электрических и механических параметров сердечной деятельности [29]. Эта система управления оптимизирована для реагирования на нормальные физиологические

стрессоры (разнообразные состояния, физические упражнения, температура), однако, она может быть катастрофически нарушена патологическими событиями [6].

Автономная нервная система (АНС) состоит из элегантной структуры, благодаря которой организм человека регулирует всё, начиная от сердечного ритма и кровяного давления, с помощью сложных циклов обратной связи. Нейронные элементы, распределенные от уровня островной коры ЦНС до внутренней нервной системы сердца, находятся в постоянной динамической связи друг с другом, чтобы гарантировать соответствие сердечного выброса процессу регионального спроса на кровотоки [3].

На уровне сердца симпатические и парасимпатические стимулы объединяются вместе, чтобы напрямую влиять на сердечную функцию, вплоть до уровня местного потенциала сердечного действия. В свою очередь, петли обратной связи также модулируют реакцию организма на первичную сердечную дисфункцию. Важность проблемы в понимании сложных динамических изменений в модуляции тонуса симпатических/парасимпатических систем и их взаимодействии с физиологическими механизмами, регулирующими контроль сердечного ритма, кровяного давления и других нейро-вегетативных функций [49].

Большая часть сердечного контроля, влияющего на вегетативную нервную систему, осуществляется через нормальную повседневную деятельность. Нейронные механизмы, лежащие в основе постуральных и моторных отделов вегетативной нервной системы, частично, регулируемых через кортикальные и субкортикальные области головного мозга. Некоторые корковые области ЦНС оказывают решающее влияние на регуляцию автономного контроля сердечной деятельности. В дополнение к сенсомоторной коре, медиальная, префронтальная и островная кора головного мозга, также участвует в регуляции нейровегетативного контроля сердца [57]. Сложно взаимодействие между несколькими корковыми центрами хорошо изучено в других областях мозга и подчеркивает важность понимания функций «командного центра» при нормальном вегетативном управлении, симпатический/парасимпатический баланс выходит за рамки простых «рефлексов», которые происходят на подсознательном уровне [56].

Регуляция центральных структур АНС производится в стволе головного мозга, где сердечный симпатический и парасимпатический контроль координируются, главным образом, через ряд ядерных образований этого отдела ЦНС, распространяя своё влияние на парасимпатические преганглионарные нейроны, гипоталамус, таламус и ретикулярную формацию мозга, которые непосредственно участвуют в регуляции АНС.

Большая часть сложных взаимодействий, которые происходят в сердечном отделе нервной системы, регулируется полностью вне ствола мозга. Фактически, спинной мозг представляет значительную часть АНС, особенно, при поступлении командно-информационных импульсов от дистально расположенных органов как к центральным, так и к сердечным компонентам симпатической и парасимпатической нервной системы. Информационные сигналы, обрабатываемые в пределах грудных сегментов спинного мозга, посредством обратной связи через паравerteбральные ганглии перенаправляются к шейной симпатической цепи для осуществления симпатической стимуляции сердца. Ганглии симпатической цепи обычно включают в себя несколько ганглиев, возникающих из преганглионарных

симпатических волокон, которые происходят из спинного мозга. Эти ганглии состоят из трёх шейных и от трех до четырех грудных ганглиев. Эти ганглии, получая по обратной связи симпатические сигналы от нескольких уровней спинного мозга, обрабатывают их до непосредственной доставки в сердце, где осуществляют обратную связь с центральными компонентами АНС на уровне ствола мозга. В то время, как распределение парасимпатических структур АНС кажется более простым по сравнению с симпатическими, всё же они играют решающую роль в афферентных нервных окончаниях, которые, опосредованно, через мозговое стволы, оказывают прямое ингибирующее воздействие на симпатический тонус. Именно это динамическое взаимодействие позволяет поддерживать в определенном диапазоне контрольные параметры сердечного ритма, артериального давления, потоотделения и других физиологических показателей [29].

Другая часть АНС – превертебральные ганглии, может иметь важное значение при некоторых болезнях сердца, но в остальном может быть легко игнорирована [45]. Эти ганглии, обеспечивая как эфферентную, так и афферентную обработку информации, осуществляют обратную связь с цервикальной и грудной симпатической цепью и, в свою очередь, непосредственно влияют на сердечную и сосудистую реакцию. Эти ганглии играют важную роль в нормальном реагировании на физиологические стимулы. Снижение чувствительности нейронов к этим органам может ослаблять нормальные симпатические реакции, в то время как повышенная чувствительность может усиливать симпатический тонус [62].

На уровне сердца внешние входящие нейроны либо прямо иннервируют миокард (в случае постганглионарных нервов), либо взаимодействуют на уровне сердечных ганглиев (в случае преганглионарных нервов). Как правило, предганглионарные парасимпатические и симпатические нервные окончания нуждаются в первом синапсе в сердечном ганглии. Затем эти ганглии действуют как нервные центры, которые реагируют как на парасимпатические, так и на симпатические стимулы, по принципу обратной связи при контроле выхода нейронной сети, а также обеспечивают обратную связь друг с другом. Они способны даже создавать свои собственные локальные стимулы, независимые от внешней нервной системы сердца и тем самым изменять сердечную функцию, независимую от остальной части АНС [4].

Сердечные сенсорные афферентные волокна давно признаны главными в регуляции сердечной функции [10]. Эти афферентные волокна обычно расположены вместе с симпатическими нервами, осуществляющими трофику сердца. Сердечные нервы, по-разному обеспечивают иннервацию узловых и миокардиальных структур тканей сердца и зависят от активности, вырабатываемых нейротрансмиттеров в спинальных нейронах в верхней грудной хорде, образуя синапс с клетками ганглия в звездчатом комплексе с каждой стороны. Сети спинальных интернейронов определяют структуру активной деятельности. Группы спинальных нейронов избирательно нацелены на конкретные области сердца [14].

Автономные сердечные нейроны имеют общее происхождение с нервным гребнем, но подвергаются четкой дифференцировке в процессе развития, созревая в соответствии с фенотипом у взрослых. Когда вегетативные аксоны начинают иннервировать сердечную ткань, нейротрофические факторы из сосудистой ткани становятся необходимыми для поддержания созревающих нейронов до того, как они достигнут своего окончательного развития, приобретая синаптическую силу и

постнатальную выживаемость. И развивающиеся, и зрелые симпатические нейроны экспрессируют пронейрогормональные факторы, а зрелые парасимпатические нейроны сердечного ганглия также синтезируют и высвобождают нейрогормональные факторы. Сердечные автономные нервы тесно связаны между собой в сердечных сплетениях, ганглиях и участках кардиостимуляторных узлов и поэтому чувствительны к высвобождению нейротрансмиттеров, нейропептидов и трофических факторов соседних нервов. Не совсем ясна роль и степень локальной паракринной регуляции на периферические вегетативные структуры во время возрастного развития. Существенно, что нейроны АНС проявляют выраженную пластичность в отношениях с нейротрофинами и воспалительными цитокинами, выполняющими центральную регуляторную функцию, в том числе при возможных изменениях нейротрансмиттеров. По-видимому, нейротрофины и цитокины, регулирующие транскрипционные факторы вегетативных нейронов у взрослых, также выполняют жизненно важные функции дифференцировки в процессе развития. В частности, для парасимпатических нейронов сердечного ганглия дополнительные исследования механизмов регуляции развития потенциально могут помочь понять феномен ослабления парасимпатических функций при ряде состояний [23].

При исследовании стресса у детей и подростков, обычно рассматривают либо состояние вегетативной нервной системы, либо активность гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой оси (ГГН-ось). Однако эти системы тесно скоординированы и физически взаимосвязаны. Процесс утреннего пробуждения связан с заметным увеличением секреции кортизола- «реакцией пробуждения кортизола» (РПК), а также с всплеском сердечно-сосудистой активации. В то время как РПК в значительной степени зависит от вызванной пробуждением активации гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой (ГГН) оси, она подстраивается под непосредственный симпатический вклад в надпочечниковую железу. Параллельно, индуцированная пробуждением активация сердечно сосудистой системы (ССС) связана с переходом к доминированию симпатической ветви вегетативной нервной системы. Сообщается, что секреция кортизола при пробуждении, как и характерная вариабельность сердечного ритма (ВСР), как правило, ассоциируется с психосоциальными показателями. Изучали ассоциации между РПК, единовременными изменениями, вызванными пробуждением, и характерными показателями сердечно-сосудистой деятельности (сердечный ритм – ЧСС и ВСР). Также были получены результаты самооценки трудностей в регулировании эмоций и хронического стресса. Выявлены значительные, вызванные пробуждением изменения в показателях кортизола, ЧСС и ВСР; однако, никаких ассоциаций при одновременных изменениях между этими параметрами после пробуждения обнаружено не было. Аналогичным образом, вызванные пробуждением изменения уровня кортизола, ЧСС и ВСР не были в значительной степени связаны с воспринимаемым стрессом или эмоциональными проявлениями. Тем не менее, было установлено, что РПК значительно положительно коррелирует со стационарными показателями ЧСС и отрицательно коррелирует с показателями устойчивого состояния ВСР, как это было определено во время лабораторных сеансов и периодах пери-пробуждения. Это поперечное исследование показывает, что, несмотря на наличие постоянных ассоциаций между РПК и автономно регулируемым параметрами сердечно-

сосудистой деятельности, их динамика после пробуждения не является взаимообусловленной [61].

### **Психовегетативные дисфункции у подростков**

Активность гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой оси (ГГН) у взрослых проявляет половой диморфизм, и считается, что этот механизм, лежит в основе различий в заболеваниях, связанных с полом, но недостаточно доказательств наличия половых различий по этому признаку у детей и подростков. Считалось, что гендерно-специфические различия в активности гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой оси появляются во время полового созревания. Однако, гендерные различия в метаболизме кортизола проявляются уже в детском возрасте в виде более высокого его уровня в слюне у мальчиков в возрасте менее 8 лет по сравнению с девочками. Подобного феномена не наблюдали после 8 лет. В моче, собранной за 24 часа, концентрация кортизола была последовательно выше у мальчиков, как до 8 лет, так и от 8 до 18 лет, и хотя, различия в уровне сыровоточного кортизола были неубедительными, по мнению авторов, они могли бы способствовать возникновению заболеваний, обусловленных гендерными факторами [64].

Данные о нарушении функционирования ГГН оси при паническом расстройстве противоречивы. При паническом расстройстве некоторые исследователи наблюдали гиперактивность оси ГГН с повышенным уровнем кортизола. Тем не менее, был отмечен и гипокортизолизм. Особого внимания заслуживает кортизол слюны как биомаркер активности оси ГГН. Авторами обзорной статьи [27] не было выявлено каких-либо отличий в характере секреции кортизола у лиц с паническими атаками и здоровых людей. Более того, считают, что панические атаки специфически не опосредуются биологическими процессами, лежащими в основе страха или стресса, а выявляемая периодически активация оси ГГН не является специфической характеристикой паники [39].

Дисрегуляция ГГН оси наблюдается при многих расстройствах психики. Несуицидальное членовредительство (НЧВ) считается актом намеренного, самостоятельного повреждения собственных тканей тела (самотравматизация), является обычным явлением среди подростков в различных культурах. Согласно недавнему мета-анализу, распространенность НЧВ в неклинических условиях составляет 17,2%, среди подростков. В связи с этим, у 201 подростков школьного возраста в течении суток исследовали взаимосвязь между кардио-вегетативными параметрами (измеряли отношение VCP, LF, HF, LF / HF) и активностью ГГН оси (по уровню кортизола в слюне) в ходе экспериментального стресса с заданным алгоритмом по шкале напряжения. У подростков со склонностью к членовредительству (несуицидальному) и здоровых детей того же возраста исследована нейровегетативная реакция в ходе холодной пробы. Активность АНС с оценкой динамики частоты сердечных сокращений и вариабельности сердечного ритма непрерывно регистрировали на протяжении всей процедуры. Контроль АД и слюны для оценки уровня кортизола слюны собиралась до и после ноцицептивной стимуляции. Получены данные, свидетельствующие о связи низкой чувствительности к боли у подростков со склонностью к несуицидальной самотравматизации и ослабленной физиологической и эндокринологической реактивностью на экспериментально вызванную боль по сравнению со здоровым контролем. По сравне-

нию с контролем, подростки, с НЧВ демонстрируют психологические преимущества в ответ на боль. Полученные данные свидетельствуют о снижении физиологического возбуждения до и в процессе возбуждения (ответы на АНС и ГГНС) после болевой стимуляции у подростков с НЧВ. По-видимому большее, вызванное болью вегетативное возбуждение и секреция кортизола могут противодействовать диссоциативным состояниям, уменьшать негативный аффект и повышать осведомленность о телесных возможностях у подростков, с НЧВ поддерживая нейробиологический патомеханизм, лежащий в основе внутрииндивидуальных и антисуицидных функций у лиц с НЧВ [33].

В литературе нередко встречаются сообщения об изменениях в АНС и ГГН оси у субъектов с аутоагрессивным поведением, но, насколько известно, систематических исследований этого психологического расстройства в контексте с подростковым несуицидальным членовредительством (НЧВ) не исследовалось. В случайно-контролируемом исследовании подростков с диагностическими критериями НЧВ (30 подростков-девушек) и их здоровых сверстников (30 человек) проводили диагностическую процедуру стимуляции холодовой болью (холодовая проба). Изучали отчеты о характере психического диссонанса, измеряли артериальное давление, вариабельность сердечного ритма (ВСР) и определяли уровень кортизола слюны. Выявлено, что психобиологический ответ на боль у лиц с НЧВ отличается от такового в контрольной группе. Ответная боль у девушек с НЧВ характеризуется большей секрецией кортизола и длительным вегетативным возбуждением. Указанные изменения могут лежать в основе снижения болевой чувствительности вследствие эндогенной её модуляции [32].

Подростковый возраст, также, характеризуется многими различными физическими, поведенческими и нервными изменениями при переходе к взрослой жизни. В частности, подростковые нейронные изменения у подростков часто имеют большую пластичность и гибкость, но при этом возникает опасность повышенной уязвимости со стороны внешних повреждающих факторов, таких как стресс. Имеются доказательства того, что такие факторы, как стрессовое воздействие оказывает более продолжительный, а иногда, более вредоносный эффект на организм подростков, чем воздействие стресса во время взрослой жизни. Более того, подростковая нейроэндокринная реакция на стресс-воздействие у подростков отличается от таковой у взрослых, не только в активности, но и в характере ролевого участия ГГН оси в дальнейшем половом созревании подростка [35]. У подростков с большим уровнем восприятия стресса (в сравнении с уровнем индукции самой стресс-системы) обнаружена сравнительно более высокая симпато-вагусная модуляция в сочетании с более высокой секреторной реакцией кортизола [54].

Подростки, с синдромом «детского несчастья» (СДН; антипатия, пренебрежение, физическое, психологическое насилие и т.п.) при утреннем пробуждении демонстрируют значительно более высокую ответную реакцию слюнного кортизола по сравнению с нормальными сверстниками и реакция кортизола в ответ на ожидание потенциального напряжения у них намного более выражена, нежели в контроле. Однако повышенный уровень кортизола может не поддерживаться в течение дня, особенно среди подростков с историей [50].

В своём обзоре [36], анализируя литературу по исследованию активности ГГН оси при подростковой депрессии авторы пришли к противоречивым выводам (по мнению авторов из-за методологической неоднородности исследований).



Формальный метаанализ соответствующих исследований показал, что у депрессивных подростков ГГН система, как правило, подвержена дисрегуляторным расстройствам, о чем свидетельствуют атипичные реакции кортизола в летнее время, более высокие исходные значения кортизола и чрезмерная его реакция на психологические стрессоры. Кроме того, по сравнению со сверстниками без депрессии, депрессивные юноши, имея нормальную реакцию на инфузию кортиколиберина, также чрезмерно реагируют на психологические стрессорные стимулы.

Феномен «воспалительный процесс» привлекает внимание, в качестве связи между психосоциальным стрессом и здоровьем, а активность ГГН оси как предполагается оказывает постоянное регуляторное влияние на периферическое воспаление. Так у здоровых людей, протестированных по социальному стрессу (TSST) в течение двух последовательных дней, исследовали секрецию суточного кортизола в слюне и реакционную способность плазменного интерлейкина-6 (ИЛ-6). Обнаружено, что активность ГГН оси в ответ на стрессовое воздействие у здоровых людей выше и более стабильна у лиц с более выраженной реакционной способностью кортизола и ИЛ-6. Это важный шаг в понимании долгосрочных последствий для здоровья острого стресса, и в будущих исследованиях следует использовать продольные конструкции для определения этих взаимоотношений [13].

Несмотря на то, что существуют свидетельства дифференцированной активности гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой (ГГН) оси как при тотальном, так и при абдоминальном ожирении, некоторые стороны функционирования ГГН системы, связанные с ожирением, остаются, по-прежнему, недостаточно определенными. Так, в обзоре [26] утверждается, что в общей картине результатов, некоторые исследователи ставят под сомнение факт, когда наличие большего абдоминального жира ассоциируется с более высокой чувствительностью ГГН оси, после утреннего пробуждения и реакцией на острый стресс. При обследовании в адипоцитах было выявлено явное усиление выхода кортизола (из-за большей экспрессии иристрацеллюлярного фермента  $11\beta$ -HSD1 гидроксистероиддегидрогеназы), но в печеночной ткани этот кортизол подвержен ингибированию. По-видимому, общее ожирение (ИМТ) также связано с гиперреактивностью ГГН оси, например, в ходе острой реактивности на стрессовое воздействие. Получены свидетельства того, что у девочек-подростков с ожирением в течение дня могут наблюдаться снижение уровня кортизола и его повышение в ночное время [24]. В исследовании получены предварительные данные, свидетельствующие об изменении циркадианного ритма кортизола у подростков с ожирением. Предполагают, что ожирение связано с измененной активностью ГГН оси у девочек-подростков. Литература по этому вопросу на сегодняшний день весьма неубедительна, что вполне может быть связано с разнообразными эффектами генерализованного ожирения в отличие от абдоминального ожирения или с такими факторами как пол, половые гормоны и хронический стресс. В то время как взаимосвязь между ожирением и кортизолом адипоцитов представляется выясненной, все же, необходимы дальнейшие исследования, чтобы понять, как метаболизм кортизола адипоцитов влияет на циркулирующий уровень кортизола и выяснить закономерности нарушений в активности кортизола надпочечников как при генерализованном, так и при абдоминальном ожирении.

Следует отметить, что нарушения пищевого поведения, как и другие поведенческие расстройства в подростковом возрасте отражают нейромодуляторные дисфункции ЦНС, АНС, эндокринной и иммунной систем и служат тем интегративным патологическим базисом, который деформирует психику подростка на длительное время (возможно пожизненно) и, следовательно, меры по его выявлению, коррекции и профилактике расстройств пищевого поведения не должны быть менее важными, по сравнению с другими, в том числе антисоциальными поведенческими расстройствами.

Психобиология стресса включает в себя два основных компонента: ГГН ось и АНС. Исследования выявили связь между поведенческими проблемами и психобиологией стресса, но результаты неоднозначны, и лишь в немногих исследованиях были выявлены умеренные корреляции между проблемами поведения и активностью ГГН и АНС. За последнее десятилетие наблюдается заметный рост исследований в отношении поиска физиологических коррелятов поведенческих расстройств у детей и подростков. Основной принцип поиска заключается в том, что нарушения как симпатической, так и адренокортикальной регуляции, очевидно, распространены среди детей с интернализацией и экстернализацией в характере поведения и ассоциированы с нейроэндокринными изменениями в поведении, а также их последствиями, представляющими научно-практический интерес в физиологии стресса, нейроэндокринологии и психопатологии развития. Предполагается, что существенные успехи могут быть достигнуты при изучении закономерностей физиологических реакций между несколькими параллельными системами, а не системами индивидуального реагирования [5].

Девочки начинают демонстрировать более негативные эмоциональные реакции на стресс (в том числе психосоциальный), чем мальчики в подростковом возрасте. Это может отражать одновременное возникновение основополагающих различий в системах физиологического ответа, включая кортиколимбическую схему, гипоталамо-гипофизарно-надпочечную ось и АНС. Действительно, в литературе указывается, что половые различия возникают в подростковом возрасте и сохраняются во взрослой жизни для всех трех систем физиологического ответа. Однако, направленность таких различий зависит от степени вовлечённости и ответа системы на стрессовые воздействия. Появляющаяся литература по кортиколимбической реактивности свидетельствует о большей реактивности девочек и женщин, особенно в лимбических областях, где плотно расположены рецепторы к гормонам половых желёз. Напротив, мальчики и мужчины обычно демонстрируют более высокие уровни реактивности ГГН и АНС. Утверждается, что контрастная направленность кортиколимбических и периферических физиологических реакций может отражать специфические эффекты половых гормонов на различные системы, а также непосредственно влиять на различия в эволюционных поведенческих реакциях, которые требуют различных уровней периферической физиологической активации. Подтверждено, что, начиная с подросткового возраста девочки реагируют на острые стрессоры более интенсивными негативными ответными действиями, чем мальчики, несмотря на их сравнительно более низкие периферические физиологические реакции [46].

Недавние достижения в понимании анатомии и физиологии ГГН оси у людей и ее взаимодействия с другими системами, опосредующими стресс, включая точную оценку уровня кортизола в слюне, более сложные методы нейровизуализации

и различные генетические анализы, привели к расширению знаний о психологических и биологических процессах системного развития у детей и подростков. Основываясь на теории аллостатической нагрузки у 715 подростков (50,9 % девочек) исследовали параметры реактивности ГГН оси и АНС (сердечный ритм, ЧСС, респираторная синусовая аритмия в предтестовом периоде-ПТП). Модель социального стресса использована для прогнозирования параллельных и продольных изменений интернализации и экстернализации симптомов. Иерархическое линейное моделирование выявило высокую реактивность ЧСС и предсказало наличие проблем интернализации у мальчиков. Было обнаружено взаимодействие между реактивностью ГГН (по кортизолу слюны) и симпатической и парасимпатической реактивностью. У мальчиков с высокой реактивностью ГГН и низкой реактивностью РСА наибольший рост проблем интернализации составил от 16 до 19 лет. Подростки с низкой реактивностью ГГН наряду с усилением активации АНС, характеризовались как снижением в РСА, так и сокращением ПТП и имели наибольшие параллельные проблемы, связанные с отклонениями в психологическом статусе, в соответствии с теориями гиповизуализации. У подростков с высокой реактивностью ГГН наряду с увеличением РСА, и снижением в ПТП, также имело место увеличение психологических проблем, особенно у мальчиков. Однако, низкие уровни активности оси ГГН были связаны с более высокими уровнями как экстернализирующих, так и интернализирующих проблем, но только среди детей с низким АНС-возбуждением [11]. В ходе дальнейшего лонгитудинального (в течении года) исследования установили, что возбуждение АНС отрицательно ассоциировалось с вероятностью стабильной коморбидности только среди детей и подростков, которые также имели высокий уровень активности ГГН оси [10].

Эти данные иллюстрируют пользу в изучении парасимпатических и симпатических компонент АНС, которые способны противостоять одна другой для достижения определенного уровня стрессовой чувствительности. Связь между внешними и внутренними психологическими проблемами уменьшилась до незначительной после учета влияния активности оси ГГН и возбуждения АНС, что свидетельствует о том, что психобиология стресса объясняет справедливую долю сопутствующих проблем поведения [10].

Структура аллостаза и аллостатическая нагрузка основывается на том, что комплексное изучение нескольких биомаркеров, на одних и тех же субъектах исследования имеет ценность для понимания проблем психического здоровья сейчас и в будущем. Тем не менее, почти ни одна из теоретических моделей физиологии стресса не получила должного развития, и будущие исследования, по видимому, должны включать в себя фактические сведения о том, как системы взаимодействуют с окружающей средой на протяжении всей жизни при нормальном и атипичном развитии. Успех в наших теоретических достижениях будет зависеть от способности исследователей интегрировать биологические и психологические модели, при осознании важности коммуникаций несмотря на междисциплинарные границы, дабы понять, как опыт влияет на нейроповеденческое развитие [16; 42].

Долгосрочная устойчивость индивидуальных различий в реакциях на стресс неоднократно демонстрировалась у взрослых, но не во многих исследованиях изучалось развитие устойчивости в подростковом возрасте. Настоящее исследование было первым исследованием по изучению устойчивости индивидуальных

различий в частоте проявлений сердечных сокращений (ЧСС), парасимпатических (RMSSD, pNN50, HF), симпатических (LF / HF, SC) реакций и активности ГГН-оси (по уровню слюнного кортизола) в реакции на стресс (публичное выступление) в выборке детей и юношей от 8 до 19 лет. Реакции на публичные выступления измерялись дважды в течение 2 лет. Индивидуальные различия были более стабильными у более зрелых субъектов. Стабильность была умеренно выраженной для абсолютных и дельта-ответов на задачи в ходе спектрального анализа ВСР - HR, RMSSD, pNN50 и HF. Стабильность была ниже для SC и дельта-ответов задачи, LF/HF и кортизола. Дельта-реакции предвидения показали низкую стабильность для HR и кортизола. Последний был модерирован по возрасту или половому созреванию, так что индивидуальные различия были более стабильными у более зрелых подростков [63].

Современные теоретические постулаты допускают наличие множественных путей возникновения расстройств дефицита внимания / гиперактивности (СДВГ) и, сопутствующих им, демонстративно-оппозиционных вызывающих и иных типовых расстройств поведения предполагая, что гетерогенные факторы приводят к различным закономерностям расстройств поведения, когнитивным нарушениям и даже физиологическим признакам, классифицируемым как СДВГ и сопутствующие заболевания. Оппозиционное вызывающее расстройство (ОВР) и расстройство поведения (РП) являются распространенными поведенческими расстройствами в детском и подростковом возрасте, вызываются нейрокогнитивными нарушениями, связанными с отклонениями в основных механизмах мозговой деятельности. Касательно реактивности кортизола к стрессу при СДВГ у подростков выяснилось, что недавно полученные данные были весьма неоднозначными: часть исследований сообщают о нормальных ответах на кортизол, а другие демонстрируют ослабление реакции кортизола при СДВГ без сопутствующей патологии. У детей с СДВГ и сопутствующими нарушениями расстройства поведения наблюдаются ослабленные реакции кортизола, тогда как у пациентов с сопутствующими нарушениями в виде тревожности поведения наблюдаются усиленные реакции кортизола на стресс [20]. По-видимому, низкое физиологическое возбуждение, обусловленное атипичной ГГН осью и симпатическим адреномедулярным функционированием, может быть связано с нарушениями в когнитивной сфере [28]. Есть мнение, что дети с расстройствами поведения характеризуются меньшей активностью АНС и чувствительностью к оси ГГН, но более высокими уровнями эмоционального возбуждения. Возможно, что у детей с нарушениями расстройства поведения ГГН ось и АНС, с одной стороны, и их эмоциональное возбуждение, с другой стороны, плохо скоординированы. Возможно, это может быть связано с генетическими различиями или со стрессовыми состояниями во время, до или послеродовой жизни [65].

Исследования, касающиеся взаимосвязи воспринимаемых как стрессовые и физиологических стрессовых показателей, показали разные результаты. Воспринимаемое возбуждение, неприятность и доминантность были связаны с сердечным ритмом, аритмией дыхательного синуса и ответами кортизола на лабораторный социальный стресс-тест. Выявлена ковариация воспринимаемого стресса и одновременных ответов физиологического стресса как на оси АНС, так и на оси ГГН, а также на обратные ассоциации между реактивностью сердечного ритма и последующей оценкой стресса [44]. Восприятие стрессоров, а также физиологиче-

ская реактивность стресса усиливаются в подростковом возрасте. Обнаруженное при обследовании отсутствие связи между стресс-оценкой после социального стресса, в котором подростки выполняли речевую задачу, и реактивностью физиологического стресса свидетельствует о том, что подростки могут иметь низкий уровень самоосознания физиологического эмоционального возбуждения. Эти результаты также свидетельствуют о том, что оценки стресса у подростков основаны главным образом на их эффективности во время стрессовых ситуаций [52].

Предыдущие исследования сообщают об ослабленном ответе кортизола в сложных ситуациях и снижении кортизольного ответа в ходе тестирования. Результаты указывают на то, что для подростков с СДВГ + ОВР и у подростков с СДВГ + РП характерны как растормаживание, так и недостаточность активности ГГН оси, поскольку ослабленный кортизольный ответ не наблюдался у детей с СДВГ без сопутствующих заболеваний [21]. Yang SJ, Shin DW, Noh KS, Stein MA [68] проанализировали взаимосвязь между агрессией и реакцией кортизола на стресс в двух группах в зависимости от их ответной реакции на стресс. Используя психологическое тестирование как показатель стресса, измеряли уровень кортизола в слюне до и после проведения психологического теста. Выявлено, что увеличение уровня кортизола было обратно пропорционально степени агрессии у подростков с РП, которые сохраняли свою реакционную способность к стрессу. Абсолютно низкие показатели у подростков, которые показали снижение кортизола после стресса отрицательно коррелировали с оценочным уровнем внимания по корейской версии контрольного списка поведения детей (K-CVCL). Авторы считают, что для подростков, которые показали повышение концентрации кортизола в реакции на стресс, гормон может исполнять защитную роль против агрессии.

Надеемся, что изложенные в обзоре сведения будут способствовать более внимательному отношению к социально-биологическим проблемам подростков со стороны не только медиков, но и образовательных, общественных и властных структур с целью разработки и внедрения в повседневную практику более эффективных мер борьбы и профилактики психовегетативных расстройств у подрастающего поколения.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Adleman NE, Menon V, Blasey CM, White CD, Warsofsky IS, Glover GH, Reiss AL: A developmental fMRI study of the Stroop color-word task. *Neuroimage*. 2002; 16:61–75.
2. Aksglaede L, Sorensen K, Boas M, Mouritsen A, Hagen CP, Jensen RB, Petersen JH, Linneberg A, Andersson AM, Main KM, Skakkebaek NE, Juul A: Changes in anti-Mullerian hormone (AMH) throughout the life span: a population-based study of 1027 healthy males from birth (cord blood) to the age of 69 years. *J Clin Endocrinol Metab* 2010; 95:5357–5364.
3. Ardell JL, Andresen MC, Armour JA, Billman GE, Chen PS, Foreman RD, Herring N, O'Leary DS, Sabbah HN, Schultz HD1, Sunagawa K, Zucker IH Translational neurocardiology: preclinical models and cardioneural integrative aspects. *J Physiol*. 2016;594(14):3877-909.
4. Armour JA The little brain on the heart. *Cleve Clin J Med*. 2007;74:P.48–51.

5. Bauer AM, Quas JA, Boyce WT. Associations between physiological reactivity and children's behavior: advantages of a multisystem approach. *J Dev Behav Pediatr.* 2002;23(2):102-13. Review.
6. Beaumont E, Wright GL, Southerland EM, Li Y, Chui R, KenKnight BH, Armour JA, Ardell JL. Vagus nerve stimulation mitigates intrinsic cardiac neuronal remodeling and cardiac hypertrophy induced by chronic pressure overload in guinea pig. *Am J Physiol Heart Circ Physiol.* 2016;310(10):H1349-59.
7. Buck Louis GM, Gray LE Jr, Marcus M, Ojeda SR, Pescovitz OH, Witchel SF, Sippell W, Abbott DH, Soto A, Tyl RW, Bourguignon JP, Skakkebaek NE, Swan SH, Golub MS, Wabitsch M, Toppari J, Euling SY: Environmental factors and puberty timing: expert panel research needs. *Pediatrics* 2008;121(suppl 3):P. 192–S207.
8. Catts VS, Fung SJ, Long LE, Joshi D, Vercammen A, Allen KM, Fillman SG, Rothmond DA, Sinclair D, Tiwari Y, Tsai SY, Weickert TW, Shannon Weickert C. Rethinking schizophrenia in the context of normal neurodevelopment. *Front Cell Neurosci.* 2013; 7:60.
9. Chellakooty M, Schmidt IM, Haavisto AM, Boisen KA, Damgaard IN, Mau C, Petersen JH, Juul A, Skakkebaek NE, Main KM: Inhibin A, inhibin B, follicle-stimulating hormone, luteinizing hormone, estradiol, and sex hormone-binding globulin levels in 473 healthy infant girls. *J Clin Endocrinol Metab* 2003; 88:3515–3520.
10. Chen FR, Raine A, Glenn AL, Granger DA. Hypothalamic pituitary adrenal activity and autonomic nervous system arousal predict developmental trajectories of children's comorbid behavior problems. *Dev Psychobiol.* 2016;58(3):393-405
11. Chen FR, Raine A, Soyfer L, Granger DA. Interaction of adrenocortical activity and autonomic arousal on children's externalizing and internalizing behavior problems. *J Abnorm Child Psychol.* 2015;43(1):189-202.
12. Chen WW, Xiong XQ, Chen Q, Li YH, Kang YM, Zhu GQ. Cardiac sympathetic afferent reflex and its implications for sympathetic activation in chronic heart failure and hypertension. *Acta Physiol (Oxf).* 2015;213(4):778-94.
13. Chen X, Gianferante D, Hanlin L, Fiksdal A, Breines JG, Thoma MV, Rohleder N.HPA-axis and inflammatory reactivity to acute stress is related with basal HPA-axis activity. *Psychoneuroendocrinology.* 2017; 78:168-176.
14. Coote JH, Chauhan RA. The sympathetic innervation of the heart: Important new insights. *Auton Neurosci.* 2016; 199:17-23. Review.
15. Corbett BA, Schupp CW, Levine S, Mendoza S. Comparing cortisol, stress, and sensory sensitivity in children with autism. *Autism Res.* 2009; 2:39–49.
16. Doom JR, Gunnar MR. Stress physiology and developmental psychopathology: past, present, and future. *Dev Psychopathol.* 2013;25(4 Pt 2):1359-73
17. Duschek S, Wörsching J, Reyes Del Paso GA. Autonomic cardiovascular regulation and cortical tone. *Clin Physiol Funct Imaging.* 2015;35(5):383-92.
18. Elks CE, Perry JR, Sulem P, Chasman DI, et al: Thirty new loci for age at menarche identified by a meta-analysis of genome-wide association studies. *Nat Genet* 2010; 42:1077–1085.
19. Ernst M, Romeo RD, Andersen SL. Neurobiology of the development of motivated behaviors in adolescence: a window into a neural systems model. *Pharmacol Biochem Behav.* 2009; 93:199–211.
20. Fairchild G. Hypothalamic-pituitary-adrenocortical axis function in attention-deficit hyperactivity disorder. *Curr Top Behav Neurosci.* 2012; 9:93-111

21. Freitag CM, Hänig S, Palmason H, Meyer J, Wüst S, Seitz C. Cortisol awakening response in healthy children and children with ADHD: impact of comorbid disorders and psychosocial risk factors. *Psychoneuroendocrinology*. 2009;34(7):1019-28.
22. Hagen CP, Main KM, Kjaergaard S, Juul A: FSH, LH, inhibin B and estradiol levels in Turner syndrome depend on age and karyotype: longitudinal study of 70 Turner girls with or without spontaneous puberty. *Hum Reprod* 2010; 25:3134–3141.
23. Hasan W Autonomic cardiac innervation: development and adult plasticity. *Organogenesis*. 2013;9(3):176-93.
24. Hillman JB, Dorn LD, Loucks TL, Berga SL Obesity and the hypothalamic-pituitary-adrenal axis in adolescent girls. *Metabolism*. 2012;61(3):341-8.
25. Holder MK, Blaustein JD. Puberty and adolescence as a time of vulnerability to stressors that alter neurobehavioral processes. *Front Neuroendocrinol*. 2014; 35:89–110.
26. Incollingo Rodriguez AC, Epel ES, White ML, Standen EC, Seckl JR, Tomiyama AJ. Hypothalamic-pituitary-adrenal axis dysregulation and cortisol activity in obesity: A systematic review. *Psychoneuroendocrinology*. 2015; 62:301-18. Review.
27. Jakuszkowiak-Wojten K1, Landowski J, Wiglusz MS, Cubała WJ Cortisol as an indicator of hypothalamic-pituitary-adrenal axis dysregulation in patients with panic disorder: a literature review. *Psychiatr Danub*. 2015; Suppl 1: S445-51. Review.
28. Johnson AC. Developmental pathways to attention-deficit/hyperactivity disorder and disruptive behavior disorders: Investigating the impact of the stress response on executive functioning. *Clin Psychol Rev*. 2015; 36:1-12.
29. Kapa S, DeSimone CV, Asirvatham SJ. Innervation of the heart: An invisible grid within a black box. *Trends Cardiovasc Med*. 2016;26(3):245-57.
30. Kaplowitz PB, Slora EJ, Wasserman RC, Pedlow SE, Herman-Giddens ME: Earlier onset of puberty in girls: relation to increased body mass index and race. *Pediatrics* 2001; 108:347–353.
31. Kaprio J, Rimpela A, Winter T, Viken RJ, Rimpela M, Rose RJ: Common genetic influences on BMI and age at menarche. *Hum Biol* 1995; 67:739–753.
32. Koenig J, Rinnewitz L, Warth M, Hillecke TK, Brunner R, Resch F1, Kaess M Psychobiological response to pain in female adolescents with nonsuicidal self-injury. *J Psychiatry Neurosci*. 2017;42(3):189-199.
33. Koenig J, Rinnewitz L, Warth M, Kaess M. Autonomic nervous system and hypothalamic-pituitary-adrenal axis response to experimentally induced cold pain in adolescent non-suicidal self-injury--study protocol. *BMC Psychiatry*. 2015; 15:150. doi: 10.1186/s12888-015-0544-4.
34. Kwon H, Reiss AL, Menon V: Neural basis of protracted developmental changes in visuo-spatial working memory. *Proc Natl Acad Sci USA*. 2002; 99:13336–13341.
35. Lee TT, Gorzalka BB. Evidence for a Role of Adolescent Endocannabinoid Signaling in Regulating HPA Axis Stress Responsivity and Emotional Behavior Development. *Int Rev Neurobiol*. 2015; 125:49-84. Review.
36. Lopez-Duran NL, Kovacs M, George CJ. Hypothalamic-pituitary-adrenal axis dysregulation in depressed children and adolescents: a meta-analysis. *Psychoneuroendocrinology*. 2009;34(9):1272-83. Review.

37. Lui P, Padow VA, Franco D, Hall BS, Park B, Klein ZA, Romeo RD. Divergent stress-induced neuroendocrine and behavioral responses prior to puberty. *Physiol. Behav.* 2012;107:104–111.
38. Luna B, Marek S, Larsen B, Tervo-Clemmens B, Chahal R. An integrative model of the maturation of cognitive control. *Annu Rev Neurosci.* 2015; 38:151–170.5.
39. Masdrakis VG, Markianos M, Oulis P. Lack of specific association between panicogenic properties of caffeine and HPA-axis activation. A placebo-controlled study of caffeine challenge in patients with panic disorder. *Psychiatry Res.* 2015;229(1-2):75-81
40. Matsuoka T, Sumiyoshi T, Tsunoda M, Takasaki I, Tabuchi Y, Uehara T, Itoh H, Suzuki M, Kurachi M: Change in the expression of myelination/oligodendrocyte-related genes during puberty in the rat brain. *J Neural Transm.* 2010; 117:1265–1268.
41. Morrison KE, Rodgers AB, Morgan CP, Bale TL: Epigenetic mechanisms in pubertal brain maturation. *Neuroscience.* 2014;264:17-24, Review.
42. Nederhof E, Marceau K, Shirtcliff EA, Hastings PD, Oldehinkel AJ. Autonomic and Adrenocortical Interactions Predict Mental Health in Late Adolescence: The TRAILS Study. *J Abnorm Child Psychol.* 2015;43(5):847-61
43. Ojeda SR, Lomniczi A, Sandau U, Matagne V: New concepts on the control of the onset of puberty. *Endocr Dev.* 2010; 17:44-51, Review.
44. Oldehinkel AJ, Ormel J, Bosch NM, Bouma EM, Van Roon AM, Rosmalen JG, Riese H. Stressed out? Associations between perceived and physiological stress responses in adolescents: the TRAILS study. *Psychophysiology.* 2011;48(4):441-52.
45. OndicovaK, MravecB. Multilevel interactions between the sympathetic and parasympathetic nervous systems: a minireview. *Endocr Regul.* 2010 Apr;44(2):69-75.
46. Ordaz S, Luna B. Sex differences in physiological reactivity to acute psychosocial stress in adolescence. *Psychoneuroendocrinology.* 2012;37(8):1135-57. Review.
47. Palmert MR, Hayden DL, Mansfield MJ, Crigler JF Jr, Crowley WF Jr, Chandler DW, Boepple PA: The longitudinal study of adrenal maturation during gonadal suppression: evidence that adrenarche is a gradual process. *J Clin Endocrinol Metab* 2001; 86:4536–4542.
48. Parent AS, Teilmann G, Juul A, Skakkebaek NE, Toppari J, Bourguignon JP: The timing of normal puberty and the age limits of sexual precocity: variations around the world, secular trends, and changes after migration. *Endocr Rev* 2003; 24:668–693.
49. Pop-Busui R What do we know and we do not know about cardiovascular autonomic neuropathy in diabetes. *J Cardiovasc Transl Res.* 2012;5(4):463-78. Review.
50. Reichl C, Heyer A, Brunner R, Parzer P, Völker JM, Resch F, Kaess M. Hypothalamic-pituitary-adrenal axis, childhood adversity and adolescent nonsuicidal self-injury. *Psychoneuroendocrinology.* 2016; 74:203-211.
51. Ribeiro J, Santos P, Duarte J, Mota J: Association between overweight and early sexual maturation in Portuguese boys and girls. *Ann Hum Biol* 2006; 33:55–63.
52. Rith-Najarian LR, McLaughlin KA, Sheridan MA, Nock MK. The biopsychosocial model of stress in adolescence: self-awareness of performance versus stress reactivity. *Stress.* 2014;17(2):193-203.
53. Romeo RD, Lee SJ, McEwen BS. Differential stress reactivity in intact and ovariectomized prepubertal and adult female rats. *Neuroendocrinology.* 2004b; 80:387–393.



54. Rotenberg S, McGrath JJ. Inter-relation between autonomic and HPA axis activity in children and adolescents. *Biol Psychol.* 2016; 117:16-25.
55. Scherf KS, Smyth JM, Delgado MR. The amygdala: an agent of change in adolescent neural networks. *Horm Behav.* 2013;64(2):298-313
56. Sequeira H1, Viltart O, Ba-M'Hamed S, Poulain P. Cortical control of somato-cardiovascular integration: neuroanatomical studies. *Brain Res Bull.* 2000;53(1):87-93. Review.
57. Shoemaker JK1, Wong SW, Cechetto DF Cortical circuitry associated with reflex cardiovascular control in humans: does the cortical autonomic network "speak" or "listen" during cardiovascular arousal. *Anat Rec (Hoboken).* 2012;295(9):1375-84.
58. Sorensen K, Aksglaede L, Munch-Andersen T, Aachmann-Andersen NJ, Petersen JH, Hilsted L, Helge JW, Juul A: Sex hormone-binding globulin levels predict insulin sensitivity, disposition index, and cardiovascular risk during puberty. *Diabetes Care* 2009, 32: 909-914.
59. Sorensen K, Aksglaede L, Petersen JH, Juul A: Recent changes in pubertal timing in healthy Danish boys: associations with body mass index. *J Clin Endocrinol Metab* 2010; 95:263–270.
60. Spear LP. Adolescent neurodevelopment. *J Adolesc Health.* 2013; 52:S7–13.
61. Stalder T1, Evans P, Hucklebridge F, Clow A Associations between the cortisol awakening response and heart rate variability. *Psychoneuroendocrinology.* 2011;36(4):454-62.
62. Szurszewski JH. Physiology of mammalian prevertebral ganglia. *Annu Rev Physiol.* 1981; 43:53-68. Review
63. van den Bos E, Westenberg PM. Two-year stability of individual differences in (para)sympathetic and HPA-axis responses to public speaking in childhood and adolescence. *Psychophysiology.* 2015;52(3):316-24
64. van der Voorn B1, Hollanders JJ1, Ket JCF2, Rotteveel J1, Finken MJJ Gender-specific differences in hypothalamus-pituitary-adrenal axis activity during childhood: a systematic review and meta-analysis. *Biol Sex Differ.* 2017 Jan 19;8:3. doi: 10.1186/s13293-016-0123-5.
65. van Goozen SH, Matthys W, Cohen-Kettenis PT, Buitelaar JK, van Engeland H. Hypothalamic-pituitary-adrenal axis and autonomic nervous system activity in disruptive children and matched controls. *J Am Acad Child Adolesc Psychiatry.* 2000;39(11):1438-45.
66. Walker E, Mittal V, Tessner K. Stress and the hypothalamic pituitary adrenal axis in the developmental course of schizophrenia. *Annu Rev Clin Psychol.* 2008; 4:189–216.
67. Wang Y: Is obesity associated with early sexual maturation? A comparison of the association in American boys versus girls. *Pediatrics* 2002; 110:903–910.
68. Yang SJ, Shin DW, Noh KS, Stein MA. Cortisol is inversely correlated with aggression for those boys with attention deficit hyperactivity disorder who retain their reactivity to stress. *Psychiatry Res.* 2007;153(1):55-60.
69. Yathindar S. Rao, Toni R. Pak microRNAs and the adolescent brain: Filling the knowledge gap/*Neurosci Biobehav Rev.* 2016 Nov; 70: 313-322.
70. Догуревич, О.А. Курс лекций по возрастной анатомии и физиологии человека: учебное пособие / Ольга Александровна Догуревич (Пензенский государственный педагогический университет им. В.Г. Белинского). – Пенза, 2010. – 84 с.

## REFERENCE

70. Dogurevich, O.A. Kurs lekcij po vozrastnoj anatomii i fiziologii che-loveka: uchebnoe posobie / Ol'ga Aleksandrovna Dogurevich (Penzenskij gosudar-stvennyj pedagogicheskij universitet im. V.G. Belinskogo). – Penza, 2010. – 84 s.

# ВОЗРАСТНАЯ МОРФОЛОГИЯ

## СТРУКТУРНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ V СЛОЯ КОРЫ БОЛЬШОГО МОЗГА ЧЕЛОВЕКА В ПОСТНАТАЛЬНОМ ОНТОГЕНЕЗЕ

Т.А. Цехмистренко<sup>1\*\*,\*</sup>, В.А. Васильева<sup>\*\*</sup>,

Д.К.Обухов<sup>\*\*\*</sup>, Н.С. Шумейко<sup>\*\*</sup>

<sup>\*</sup>ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов»,

<sup>\*\*</sup>ФГБНУ «Институт возрастной физиологии  
Российской академии образования», Москва

<sup>\*\*\*</sup>ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный  
университет», Санкт-Петербург

Методом компьютерной морфометрии с применением стандартной технологии *Image Tools* (NIH, USA) на парафиновых срезах, окрашенных по Нисслию, изучали площадь профильных полей пирамидных нейронов (Пн) и толщину слоя V (TcV) в области фронтального глазного поля и дорсальной премоторной коры (поля 8, 6 по К.Бродманну), а также в височно-теменно-затылочной подобласти (зона V5 или поле 37ac по С.А.Саркисову, 1955) левых больших полушарий, полученных у людей обоего пола (103 наблюдения) в возрасте от рождения до 20 лет, погибших без травм мозга. Материал группировали в годовых интервалах. Объем выборки по каждому параметру составлял 250 измерений на возрастную группу. Показано, что увеличение Пн происходит пропорционально уровню интенсивности роста TcV, определенного путем аппроксимации среднегодовых показателей методом наименьших квадратов. Увеличение TcV и Пн в его V<sup>1</sup> подслое синхронизированы только в течение первого года, а в поле 37 ac – в течение первых двух лет жизни. Позднее возрастные изменения анализируемых показателей носят гетеродинамический характер, при этом наиболее выраженные преобразования наблюдаются в премоторной коре к 7 годам, в префронтальной коре – к 3 и 5 годам, в поле 37 ac – к 7 и 10 годам.

**Ключевые слова:** премоторная кора, фронтальное глазное поле, височно-теменно-затылочная подобласть, толщина слоя V, размеры нейронов, постнатальный онтогенез.

**Structural transformations of v layer of cerebral cortex in postnatal ontogenesis.** The method of computer morphometry with the use of standard technology *Image Tools* (NIH, USA) on paraffin sections stained by Nissle was used to study the area of the profile field of pyramidal neurons (pyramidal cells) and the thickness of layer V (TcV) in the region of the frontal eye fields and dorsal premotor cortex (fields 8, 6 K.Brodmann), as well as in the temporal-parietal-occipital subregion (area V5 or field 37ac by S. A. Sarkisov, 1955) of the left hemispheres. The data were obtained from people of both sexes (103 observations) aged 0-20 years old who died without brain injury. The material was grouped into annual intervals. The sample size for each parameter was 250

---

Контакты: <sup>1</sup> Цехмистренко Т.А. – E-mail: <tsekhmistrenko2010@yandex.ru>

*measurements per age group. It is shown that the increase of pyramidal neurons is proportional to the intensity level of TcV growth measured by approximation of annual averages using the method of least squares. Increase of TcV and pyramidal neurons in V sublayer is synchronized only during the first year and in the field 37 ac – during the first two years of life. Later age-related changes of the indices become heterogeneous. The most expressed changes are observed in the premotor cortex by the age of 7, in the prefrontal cortex – by the age of 3 and 5 years old, in the field 37 ac – by the age of 7 and 10 years old.*

**Key words:** *premotor cortex, frontal eye field, temporal-parietal-occipital subregion, thickness of the layer V, sizes of pyramidal neurons, post-natal ontogenesis*

В качестве основы функциональной деятельности мозга в настоящее время рассматривается коннектом – целостная система связей между нейронами всей нервной системы [14]. Исследования коннектома проводятся на микро-, мезо- и макроструктурном уровнях, в том числе путем непосредственного изучения локальных и масштабных нейросетей – специализированных подсистем взаимосвязанных нервных центров, активизирующихся для выполнения тех или иных форм поведения [13]. Известно, что развитие мозга во всем многообразии его связей контролируется генетически, однако, большую роль в этом процессе играет также жизненный опыт, под влиянием которого происходит ряд коннектомных изменений в головном мозге, в первую очередь – в коре больших полушарий и связанных с нею подкорковых образованиях [9]. Было показано, что коннектом – динамическая система, его функциональные возможности формирования связей между различными его регионами непостоянны и могут изменяться с возрастом [23]. При этом выделяются области коры, которые по степени зависимости организации связей от генетической программы развития могут характеризоваться как более консервативные (фронтальная и лимбическая) и более вариабельные (теменная и затылочная) [15].

Интегративным показателем, позволяющим охарактеризовать возрастные внутрискруктурные перестройки на корковом мезоуровне коннектома, являются толщина коры и слагающих ее цитоархитектонических слоев. И если прижизненная визуализация и количественный анализ изменений толщины коры сейчас доступны благодаря применению магнитно-ядерной томографии, то анализ возрастной динамики толщины отдельных слоев коры пока может быть реализован только инвазивными методами. Известно, что структура связей в значительной степени определяет характер иерархических взаимоотношений цитоархитектонических слоев коры, а также особенности их созревания в процессе развития [28]. Проекционные связи коры формируются нейронами глубоких слоев. Большая часть афферентных проекционных волокон заканчивается терминалями на нейронах средних слоев (III-V). Нейроны слоев нижнего этажа коры, особенно слоя V, обеспечивают многоуровневые межкорковые и корково-подкорковые связи коры в системе распределенных сетей коннектома [1]. Включение активно функционирующих связей слоя V определяет специфику созревания различных корковых полей и этапность их формирования в онтогенезе [27].

Послойное распределение корково-корковых связей, так же, как и система проекционных связей подчиняется ряду закономерностей, определяющих конструкцию многоярусной иерархии различных полей коры головного мозга [12].

Толщина V слоя является интегральной характеристикой, позволяющей косвенно судить о степени морфофункциональной зрелости эфферентного звена конкретной корковой зоны и уровне ее взаимодействия с другими нервными центрами. Региональные особенности постнатальных структурных преобразований слоя V в корковых формациях агранулярного типа и коре с развитой внутренней зернистой пластинкой до сих пор изучены недостаточно. Наличие или отсутствие внутренней гранулярной пластинки должно оказывать влияние на построение всей системы внутрикорковых и корково-подкорковых связей, а также отражаться на таких интегральных показателях, как толщина citoархитектонических слоев. Исходя из этого, интересно сравнить этапы развития слоя V в агранулярной премоторной коре и в корковых зонах с четко выраженной внутренней зернистой пластинкой, которые, несмотря на структурно-топографические различия, тесно связаны функционально и участвуют в формировании распределенных сетей с высокой теснотой связи между взаимодействующими нервными центрами.

Цель исследования заключалась в изучении на количественной основе постнатальных структурных изменений слоя V в citoархитектонически отличающихся, но функционально связанных зонах коры большого мозга человека, участвующих в когнитивных процессах, основанных на зрительном восприятии.

## ОРГАНИЗАЦИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

С помощью гистологических и количественных методик были изучены кусочки коры большого мозга, полученные из 103 левых больших полушарий от трупов людей обоего пола в возрасте от рождения до 20 лет, погибших без травм мозга. Материал был собран в судебно-медицинских моргах г. Москвы (при наличии разрешения этической комиссии). На верхнелатеральной поверхности лобной доли коры больших полушарий в заднем отделе средней лобной извилины был выбран задний отдел фронтального глазного поля 8, в области дорсальной премоторной зоны – поле 6 (зона представительства руки), на латеральной поверхности затылочной доли – ассоциативное подполе 37ac височно-теменно-затылочной подобласти коры (зона V5 или hMT). Выбор полей производился в соответствии с citoархитектоническими картами К. Бродманна (1909) и С.А. Саркисова (1955) и определялся функциональной значимостью этих полей для контроля произвольных целенаправленных мануальных действий, основанных на зрительно-пространственном анализе. Поле 8 принимает участие в регуляции избирательных движений глаз при произвольном внимании, направленном на конкретный пространственно локализованный зрительный стимул, а также в когнитивных процессах при обучении распознаванию зрительных образов. Его задний отдел является собственно лобной глазной областью, участвующей в контроле движений глаз и рук при письме («зона письма») [7]. Повреждение этой корковой зоны может иметь следствием проблемы с фиксацией зрительных образов, их цвета и формы, а также слежением за движущимися объектами, узнаванием знакомых объектов, дедуктивным анализом.

Премоторная кора (поле 6) входит в состав предцентральной области коры больших полушарий и имеет непосредственное отношение к процессам выбора алгоритма движения [30]. Так же, как и первичная двигательная кора, премоторная кора отличается относительно большой толщиной слоя V по сравнению с дру-

гими областями коры больших полушарий, однако, не имеет в его составе гигантских пирамидных нейронов (клеток Беца). Кусочки забирали в дорсальном отделе премоторной коры, участвующем в текущей коррекции движений руки при визуальном контроле, способствуя оптимизации целенаправленных движений, в том числе при письме [16].

Височно-теменно-затылочная подобласть коры реагирует активно и выборочно во время задач распознавания объектов, включая лица, различные предметы, текст или цветные рисунки [5]. Кусочки вырезали в области подполя 37ас на латеральной поверхности зрительной ассоциативной коры (зона V5), которое рассматривается в составе полей вентрального зрительного пути в качестве одной из визуальных зон коры, участвующих в формировании цветового зрения [31].

Материал для исследования объединяли в годовых интервалах в 21 возрастную группу по 5-6 случаев в каждой группе. Фиксацию мозга производили в 10 % нейтральном формалине на физиологическом растворе с последующим обезвоживанием в спиртах восходящей концентрации. На фронтальных парафиновых срезах толщиной 10 мкм, окрашенных крезильным фиолетовым по Нисслю, методом компьютерной морфометрии с применением стандартной технологии Image Tools (National Institutes of Health, USA) и программы геометрических измерений микрообъектов ImageExpert™ Gauge (NEXSYS, Россия) на отечественном микроскопе Биолам-15 ЛОМО® с встроенной USB камерой UCMOS01300KPA (Altami, Россия) измеряли толщину коры и толщину слоя V (TcV) на вершине извилины полуавтоматическим методом с визуальным контролем. Объем выборки для каждого среза составлял не менее 10-20, для каждого препарата – 40-80, для каждого возраста – 200-250 измерений. На уровне V<sup>1</sup> подслоя коры измеряли площади профильных полей пирамидных нейронов (Пн) в изучаемых полях (по 250 нейронов на возрастную группу).

Для оценки интенсивности изменения TcV от рождения до 20 лет в годовых интервалах использовали метод наименьших квадратов [26]. Статистическую обработку полученных данных производили методами вариационной статистики с вычислением ошибки средней и доверительного интервала с уровнем значимости P≥95 %. Сравнение средних величин изучаемых параметров различных возрастных групп или разных корковых полей в одной возрастной группе производили с использованием двухвыборочного (непарного) критерия Стьюдента [2].

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Изучение возрастных изменений толщины внутренней пирамидной пластинки показало, что у новорожденных наибольшая TcV наблюдается во фронтальном глазном поле 8, где она составляет в среднем 346±13 мкм, наименьшая – в поле 37ас височно-теменно-затылочной подобласти, где среднегрупповой показатель не превышает в среднем 182±7 мкм; в поле 6 премоторной коры ее толщина составляет 240±10 мкм (табл. 1).

Таблица 1

Среднегрупповые ( $\bar{x} \pm s_x$ ) показатели (в мкм) толщины слоя V (TcV) в коре большого мозга человека от рождения до 20 лет

Возраст, лет	Количество наблюдений, n	Поле 8 ( $\bar{x} \pm s_x$ )	Поле 6 ( $\bar{x} \pm s_x$ )	Поле 37ас ( $\bar{x} \pm s_x$ )
Новорожденные	7	346±13	240±10	182±7
1	6	403±21*	410±15****	230±12***
2	7	454±39	390±18	268±10*
3	6	533±24***	395±20	276±14
4	2	544±24	400±20	278±18
5	3	548±24	406±19	280±20
6	8	598±27	415±23	282±18
7	5	582±29	505±25***	302±10*
8	5	579±17	478±22	291±18
9	6	594±28	507±10	296±16
10	7	589±37	520±21	292±15
11	7	565±32	490±16	294±14
12	6	577±25	503±21	297±11
13	4	578±36	530±28	296±19
14	7	595±27	497±20	298±12
15	2	587±27	524±32	288±21
16	2	585±21	510±30	294±27
17	2	565±24	497±24	302±20
18	4	593±26	500±24	286±25
19	5	574±21	527±44	294±19
20	2	591±29	536±38	298±23

Примечание: различия по сравнению с предыдущим возрастом значимы:

\* -  $p \leq 0,05$ ; \*\* -  $p \leq 0,02$ ; \*\*\* -  $p \leq 0,01$ ; \*\*\*\* -  $p \leq 0,001$

Как видно из таблицы, у новорожденных TcV на вершине извилины в ее префронтальной, премоторной и заднеассоциативной областях имеет значимые различия ( $p < 0,01 \div 0,001$ ). При этом в глазодвигательном поле 8 она составляет  $22,5 \pm 1,6$  % от общего поперечника коры, в премоторной коре –  $17,3 \pm 1,4$  %, а в поле 37ас заднеассоциативной коры –  $13,0 \pm 0,8$  %. Внутренняя пирамидная пластинка является ведущим слоем нижнего этажа коры. Поэтому высокий относительный показатель ее толщины в полях 8 и 6 по сравнению с полем 37ас свидетельствует не только о генетически обусловленном отставании в развитии верхних цитоархитектонических слоев в коре лобной доли, наблюдаемом у новорожденных, но и о гетеродинамическом характере стратификации передне- и заднеассоциативных зон коры в антенатальном периоде.

В течение первого года жизни поперечник слоя V значимо нарастает во всех изученных корковых зонах. К концу 12 мес его толщина увеличивается в поле 8 в 1,2 раза, в поле 6 – в 1,7 раза, в поле 37ас – в 1,3 раза по сравнению с новорожденными. У детей старше 1 года нарастание слоя V в толщину происходит гетерохронно: к 2 годам – в заднеассоциативном поле 37ас, к 3 годам – в глазодвига-

тельном поле 8, к 7 годам – в поле 6 премоторной коры и снова в поле 37ас височно-теменно-затылочной подобласти. К 7 годам ТсV увеличивается в поле 6 в среднем в 1,2 раза, в поле 37ас – в 1,3 раза по сравнению с годовалыми детьми. В области фронтального глазного поля поперечник внутренней пирамидной пластинки уже к 3 годам (раньше, чем в других полях) нарастает в 1,3 раза, а к 6-9 годам сохраняется тенденция к приросту толщины этого слоя на 7-9 % по сравнению с показателями трехлетних детей ( $p > 0,05$ ). После 7 лет ТсV во всех изучаемых цитоархитектонических полях стабилизируется и к 20 годам составляет в среднем в поле 8 –  $591 \pm 29$  мкм, в поле 6 –  $536 \pm 38$  мкм, в поле 37ас –  $298 \pm 23$  мкм.

Анализ региональных различий толщины слоя V показал, что его поперечник на протяжении всего изученного отрезка постнатального онтогенеза имеет наименьшую величину в области заднеассоциативной коры по сравнению с полями коры лобной доли. Однако в течение второго года жизни ТсV в ассоциативном поле 37ас увеличивается опережающими темпами по сравнению с проекционно-ассоциативным полем 6 в премоторной коре. Аналогичным образом в промежутке от 1 года до 6 лет темпы нарастания ТсV в области префронтальной коры больше, чем в поле 6 премоторной коры. К 7 годам поперечник слоя V в поле 8 составляет  $21,2 \pm 1,7$  % от общей толщины коры, в поле 6 –  $21,4 \pm 2,0$  %, тогда как поле 37ас этот показатель почти вдвое меньше –  $12,1 \pm 1,0$  %. Из этого следует, что именно к 7 годам различия по относительным показателям толщины внутренней пирамидной пластинки между изучаемыми полями префронтальной и премоторной коры сглаживаются, в то время как различия между корой лобной доли и височно-теменно-затылочной подобластью сохраняются. Сравнение постнатальных приростов поперечника V слоя, рассчитанных методом наименьших квадратов, демонстрирует, что наиболее интенсивное нарастание ТсV от рождения до 20 лет происходит в области дорсального премоторного поля 6. Вычисленный средний постнатальный прирост ТсV в этом поле варьирует в пределах от 170 до 210 мкм (рис. 1). Среднегрупповой рассчитанный прирост ТсV в поле 8 составляет 120-150 мкм. Прирост толщины внутренней пирамидной пластинки в заднеассоциативной области коры составляет от 40 до 70 мкм. Из этого следует, что на восходящем онтогенезе от рождения до 20 лет в височно-теменно-затылочной подобласти коры наблюдается наименьшая интенсивность общего постнатального роста нижней пирамидной пластинки в толщину по сравнению с другими изученными корковыми зонами. Как известно, в V слое коры располагаются пирамидные нейроны, аксоны которых участвуют в формировании не только проекционных корково-подкорковых связей, но, так же, как и нейроны слоев верхнего этажа коры, обеспечивают тесное межкорковое взаимодействие, включая контрлатеральные прямые и реципрокные связи [11; 19]. Изучение возрастной динамики размеров нервных клеток в V<sup>1</sup> подслое показало, что у новорожденных наибольшая площадь профильных полей пирамидных нейронов (Пн) на срезе регистрируется в поле 6, где она достигает в среднем  $95,00 \pm 3,4$  мкм<sup>2</sup>.

Показано, что интенсивность нарастания толщины слоя V в поле 37ас значительно ниже по сравнению с полями 6 и 8 коры лобной доли ( $p \leq 0,05$ ).



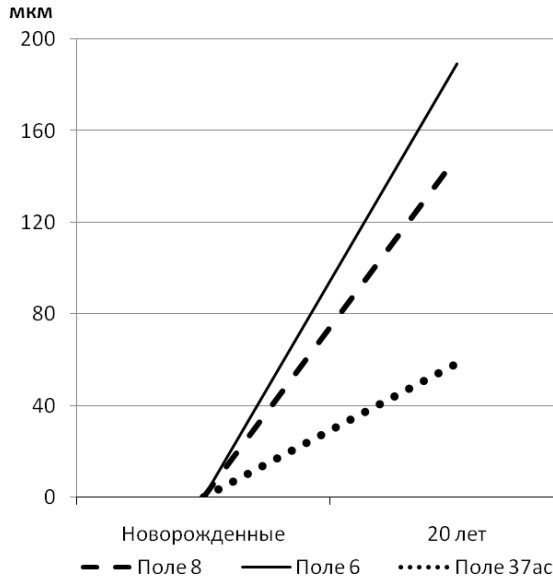


Рис. 1. Интенсивность изменения толщины слоя V от рождения до 20 лет.

Наименьшая Пн наблюдается в поле 37ас, где она не превышает  $27,2 \pm 0,3$  мкм<sup>2</sup>. В поле 8 Пн пирамидных нейронов составляет в среднем  $45,5 \pm 2,2$  мкм (рис. 2). Наиболее интенсивный рост размеров пирамидных нейронов во всех полях наблюдается в течение первого года жизни, к концу которого Пн в глазодвигательном поле 8 префронтальной коры увеличивается в 2 раза, в поле 6 дорсальной премоторной коры – в 1,4 раза, в поле 37ас заднеассоциативной коры – в 2,4 раза по сравнению с новорожденными. У детей старше 1 года увеличение размеров пирамидных нейронов в V<sup>1</sup> подслое коры в различных полях происходит гетерохронно и по срокам значимых изменений не всегда совпадает со сроками нарастания толщины слоя V. Во фронтальном глазном поле 8 увеличение Пн наблюдается к 3 и 5 годам, в поле 6 премоторной коры – к 7 годам, в поле 37ас височно-теменно-затылочной подобласти – к 2, 7 и 10 годам. К 7 годам снова наблюдается синхронное нарастание ТсV и Пн в полях 6 и 37ас. После 7 лет изменения размерных показателей во всех исследованных полях носят гетеродинамический характер: в поле 6 толщина слоя V и Пн в среднем стабилизируются, в поле 37ас заднеассоциативной коры стабилизируется ТсV, но Пн продолжает значимо нарастать вплоть до 10 лет ( $p \leq 0,01$ ), а в поле 8 префронтальной коры на фоне растущего разброса индивидуальных показателей наблюдается слабая тенденция к увеличению поперечника слоя V ( $p > 0,05$ ) при относительной стабилизации среднестатистических размерных показателей пирамидных нейронов.

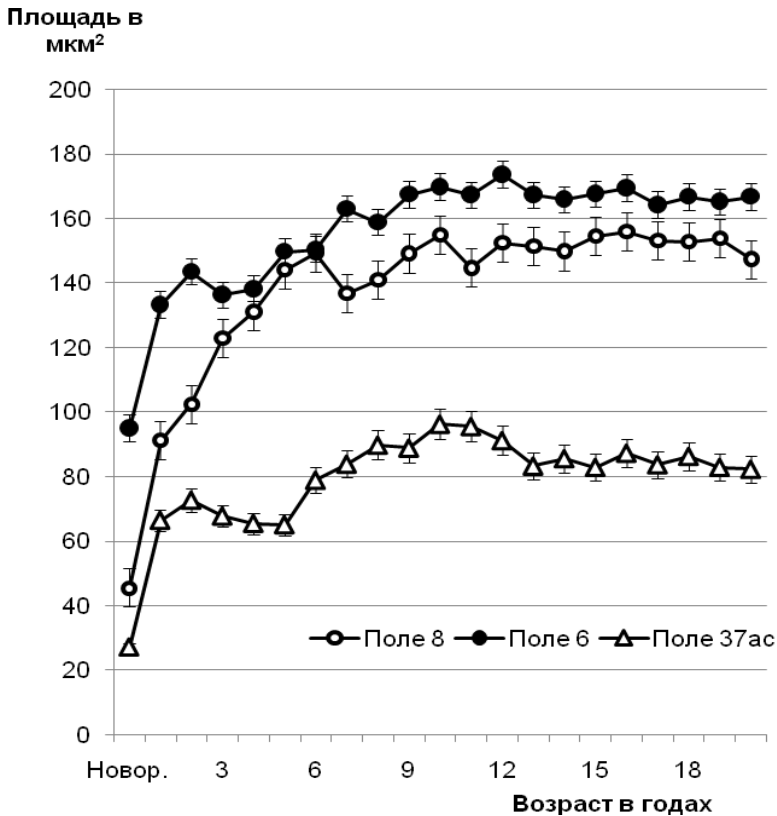


Рис. 2. Изменения площади профильных полей пирамидных нейронов слоя V в коре большого мозга человека от рождения до 20 лет: новор. – новорожденные, вертикальные отрезки – стандартные ошибки средней величины.

Таким образом, во всех полях синхронное нарастание толщины слоя V и размеров пирамидных нейронов наблюдается в течение первого года, а в поле 37ас – также и на протяжении второго года жизни. В премоторном поле 6 от 1 до 6 лет толщина слоя V и размеры пирамидных нейронов изменяются незначительно. В поле 37ас заднеассоциативной коры от 2 до 6 лет ТсV также остается относительно стабильной, нарастание Пн незначительно ( $p > 0,05$ ). В поле 8 префронтальной коры возрастная динамика изучаемых показателей иная: от 1 до 3 лет продолжается синхронное увеличение толщины слоя V и Пн в его верхнем подслое, от 3 до 5 лет – нарастание Пн, в последующие годы до 9 лет сохраняется тенденция к нарастанию поперечника внутренней пирамидной пластинки. Результаты исследования свидетельствуют о том, что в процессе постнатальных преобразований, независимо от этапа развития, увеличение размеров пирамидных нейронов происходит пропорционально не только нарастанию поперечника внутренней пирамидной пластинки, но и уровню интенсивности его роста, определенного путем аппроксимации среднегодовых показателей методом наименьших квадратов в воз-

растном диапазоне от рождения до 20 лет. Увеличение ТсV и Пн в его V<sup>1</sup> подслое синхронизированы только в течение первого года, а в поле 37 ас – в течение первых двух лет жизни. Позднее возрастные изменения анализируемых показателей носят гетеродинамический характер, при этом наиболее выраженные преобразования наблюдаются в премоторной коре к 7 годам, в префронтальной коре – к 3, 5 и в виде тенденции – к 9 годам, в поле 37 ас – к 7 и 10 годам.

Региональные различия в интенсивности и сроках развития отражаются не только на особенностях архитектоники изучаемых зон коры на разных этапах постнатального онтогенеза, но и позволяют предположить влияние средовых факторов на взаимную обусловленность этих изменений, имеющих определенные функциональные последствия. От поля 8 эфферентные волокна следуют через пояс к поясной извилине лимбической доли, к коре вокруг внутритеменной борозды, к дорсальной части поля 6 премоторной коры и дополнительной моторной области, а также через дугообразные волокна в составе верхнего продольного пучка в каудальный отдел коры височной области и височно-теменно-затылочную подобласть [22]. Известно, что искусственная активация фронтальной глазодвигательной коры вызывает последующую модуляцию зрительной зоны коры головного мозга аналогично той, что происходит во время произвольных изменений внимания [18]. При этом сначала увеличивается ответ нейронов в пограничной зоне, так называемой височно-теменно-затылочной подобласти коры (поле 37ас), имеющей отношение к различению цветовых характеристик рассматриваемых объектов. Поэтому полученные данные об опережающих сроках роста толщины слоя V и размеров пирамидных нейронов в поле 8 по сравнению с полем 37ас, могут свидетельствовать о том, что у детей фронтальное глазное поле 8, как и некоторые зоны теменной коры [8], является одним из ключевых центров, оказывающих управляющее воздействие на зрительные центры коры больших полушарий.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Считается общепринятым, что префронтальная кора достигает зрелости позднее других корковых формаций мозга, и этой причиной обусловлено длительное развитие высших форм интегративной деятельности мозга с ее участием [3]. В связи с этим опережающее развитие поля 8 префронтальной коры по отношению к премоторной коре кажется неожиданным. Однако тот факт, что волокна, идущие от поля 8 к другим зонам коры, являются возбуждающими по своей природе, позволяет пересмотреть точку зрения о темпах развития в отношении фронтального глазного поля. Нейроны глазодвигательного поля 8 синтезируют возбуждающий нейротрансмиттер – дофамин [20], с помощью которого сигналы от эфферентных нейронов передаются на пирамидные нейроны соответствующих корковых зон, оказывая модулирующее воздействие на внутрикорковые процессы с их участием путем усиления влияния, актуализирующего местные связи [25]. Вероятно, эта особенность поля 8 оказывает влияние на структурно-функциональные изменения не только премоторной коры, но и на формирование распределенных нейросетей с участием затылочной и теменной коры. Поле 6 является префронтально-зависимой премоторной корковой зоной [24], с которой задний отдел поля 8 имеет ипсилатеральные реципрокные связи. При системати-

ческих изменениях стартовой позиции руки и глаза во время целенаправленного движения нейроны дорсальной зоны премоторной коры контролируют взаимное расположение цели, руки и глаза, всякий раз заново определяя в каждом конкретном случае различия в местоположениях между всеми этими тремя переменными. В свою очередь, способность интегрировать информацию о взаимном положении конечности, целевого объекта и точки наблюдения за объектом возможна при синхронизации соответствующих центров в составе коннектома. При этом все три изучаемых поля премоторной, префронтальной и заднеассоциативной коры играют важную роль в построении распределенных сетей, контролирующих зрительный поиск и координацию движений рук и движений глаз при тонкодифференцированной мануальной деятельности, включая письмо [21].

Для агранулярного типа премоторной коры характерно наличие ярко выраженных глубоких слоев V-VI с самой низкой плотностью нейронов, высоким нейро-глиальным индексом, низким содержанием парвальбумина, но высоким содержанием кальретинина в сравнении с другими корковыми формациями [10]. Кальций-связывающий белок кальретинин синтезируется в интернейронах, оказывающих перисоматическое тормозное воздействие на пирамидные нейроны, а также синхронизирующее воздействие на интернейрональную сеть [4]. Можно предположить, что в агранулярной премоторной коре внутрикоровые афферентные ветвления сравнительно беднее, чем в коре гранулярного типа. Возможно, совокупность этих особенностей премоторной коры является причиной того, что для реализации ее функций необходима дополнительная активизация связей с относительно рано созревающим фронтальным зрительным полем. Поле 8 благодаря связям с ядрами ствола головного мозга, управляющими окуломоторной функцией, а также таламокортикальным волокнам, опосредующим проекционные пути к полю 8 от верхних холмиков пластинки крыши среднего мозга, черного вещества и зубчатого ядра мозжечка [17], уже на первом году жизни, а также на этапах раннего и первого детства играет важную роль в процессах отбора объекта зрительного поиска. Вероятно, структурные преобразования слоя V в поле 8, наблюдаемые к 3-5 годам, оказывают также большое влияние и на темпы морфофункционального созревания тесно связанного с ним поля 46 дорсолатеральной префронтальной коры [6], принимающего непосредственное участие в обработке познавательной информации с использованием рабочей памяти [29].

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ по Программе повышения конкурентоспособности РУДН «5-100» среди ведущих мировых научно-образовательных центров на 2016-2020 гг.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Архитектоника волокон коры большого мозга человека / Е.П. Кононова, И.Н. Боголепова, В.М. Минаева и др.; Под ред. С.А. Саркисова. – М.: Медицина, 1972. – 184 с.
2. Гланц С. Медико-биологическая статистика. – М., Практика, 1998. – 459 с.
3. Фарбер Д.А. Системная мозговая организация зрительного восприятия и ее формирование в онтогенезе // Мозговые механизмы формирования познавательной деятельности в предшкольном и младшем школьном возрасте / Под ред.

Р.И. Мачинской, Д.А. Фарбер. – М.: НОУ ВПО «МПСУ»; Воронеж: МОДЭК, 2014. – С. 65-95.

4. Ahn J.H., Hong S., Park J.H. et al. Immunoreactivities of calbindin-D28k, calretinin and parvalbumin in the somatosensory cortex of rodents during normal aging // *Molecular Medicine Reports*. – 2017. – Vol.16, N 5. – P. 7191-7198.

5. Arcaro M.J., Livingstone M.S. Retinotopic Organization of Scene Areas in Macaque Inferior Temporal Cortex // *J Neurosci*. – 2017. – Vol.37, issue 31. – P.7373-7389

6. Arikuni T., Watanabe K., Kubota K. Connections of area 8 with area 6 in the brain of the macaque monkey // *J Comp Neurol*. – 1988. – Vol.277, N 1. – P. 21-40.

7. Battaglia-Mayer A., Babicola L., Satta E. Parieto-frontal gradients and domains underlying eye and hand operations in the action space // *Neuroscience*. – 2016. – N 334. – P.76-92.

8. Buschman T.J., Miller E.K. Shifting the Spotlight of Attention: Evidence for Discrete Computations in Cognition // *Front Hum Neurosci*. – 2010. – N 4. – P. 194.

9. Chen Y., Wang S., Hilgetag C.C. et al. Features of spatial and functional segregation and integration of the primate connectome revealed by trade-off between wiring cost and efficiency // *PLoS Comput Biol*. – 2017. – Vol.13, N 9. – Article e1005776.

10. Dombrowski S.M., Hilgetag C.C., Barbas H. Quantitative architecture distinguishes prefrontal cortical systems in the rhesus monkey // *Cerebral Cortex*. – 2001. – Vol.11, issue 10. – P. 975-988.

11. Dum R.P., Strick P.L. Frontal Lobe Inputs to the Digit Representations of the Motor Areas on the Lateral Surface of the Hemisphere // *J Neurosci*. – 2005. – Vol.25, issue 6. – P. 1375-1386.

12. Felleman D.J., Van Essen D.C. Distributed hierarchical processing in the primate cerebral cortex // *Cerebral Cortex*. – 1991. – Vol.1, issue 1. – P. 1-47.

13. Gkigkitzis I., Haranas I., Kotsireas I. Biological Relevance of Network Architecture // *Adv Exp Med Biol*. – 2017. – N 988. – P.1-29.

14. Hagmann P., Cammoun L., Gigandet X. et al. Mapping the structural core of human cerebral cortex // *PLoS Biol*. – 2008. – Vol. 6, N 7. – Article e159.

15. Kerepesi C., Szalkai B., Varga B. et al. Comparative connectomics: Mapping the inter-individual variability of connections within the regions of the human brain // *Neurosci Lett*. – 2017. – N 662. – P. 17-21.

16. Lee J.H., van Donkelaar P. The human dorsal premotor cortex generates on-line error corrections during sensorimotor adaptation // *J Neurosci*. – 2006. – Vol.26, issue 12. – P. 3330-3334.

17. Lynch J.C., Hoover J.E., Strick P.L. Input to the primate frontal eye field from the substantia nigra, superior colliculus, and dentate nucleus demonstrated by transneuronal transport // *Exp Brain Res*. – 1994. – Vol.100, N 1. – P. 181-186.

18. Moore T., Armstrong K.M. Selective gating of visual signals by microstimulation of frontal cortex // *Nature*. – 2003. – Vol. 421, issue 6921. – P. 370-373.

19. Mountcastle V.B. Chapter 3: Cells and local networks of the neocortex // In: *Perceptual Neuroscience. The cerebral cortex*. – Cambridge, Massachusetts, Harvard University Press, 1998. – 486 p.

20. Noudoost B., Moore T. Control of visual cortical signals by prefrontal dopamine // *Nature*. – 2011. – Vol. 474, issue 7351. – P. 372-375.

21. Pesaran B., Nelson M.J., Andersen R.A. Dorsal Premotor Neurons Encode the Relative Position of the Hand, Eye, and Goal during Reach Planning // *Neuron*. – 2006. – Vol. 51, issue 1. – P. 125-134.
22. Petrides M., Pandya D.N. Efferent association pathways originating in the caudal prefrontal cortex in the macaque monkey // *J Comp Neurol*. – 2006. – Vol.498, N 2. – P. 227-251.
23. Riccelli R., Passamonti L., Duggento A. et al. Dynamic inter-network connectivity in the human brain // *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc*. 2017. – P. 3313-3316.
24. Rizzolatti G., Luppino G. The Cortical Motor System // *Neuron*. – 2001. Vol. 31, issue 6. – P. 889-901.
25. Schouwenburg M.R., Zwiers M.P., Schaaf M.E. et al. Anatomical connection strength predicts dopaminergic drug effects on fronto-striatal function // *Psychopharmacology*. – 2013. – N 227. – P. 521-531.
26. Strutz T. Data Fitting and Uncertainty. A practical introduction to weighted least squares and beyond. 2nd Edition. Springer Vieweg. 2016. – P. 26-179.
27. Tsekhmistrenko T.A., Chernykh N.A. Age-related features of the microstructure of layer V of human frontal lobe cerebral cortex // *Morfologija*. – 2012. – Vol. 142, N 4. – P. 14-18.
28. Tsekhmistrenko T.A., Vasil'eva V.A., Shumeiko N.S. et al. Quantitative changes in the fibroarchitectonics of the human cortex from birth to the age of 12 years // *Neurosci Behav Physiol*. – 2004. – Vol.34, N 9. – P. 983-988.
29. Ueda K., Fujimoto G., Ubukata S. et al. Brodmann Areas 11, 46, and 47: Emotion, Memory, and Empathy // *Brain Nerve*. – 2017. – Vol.69, N 4. – P. 367-374.
30. Ueta Y., Otsuka T., Morishima M. et al. Multiple layer 5 pyramidal cell subtypes relay cortical feedback from secondary to primary motor areas in rats // *Cerebral Cortex*. 2014. Vol.24, issue 9. P. 2362-2376.
31. Wandell B.A., Dumoulin S.O., Brewer A.A. Visual Field Maps in Human Cortex // *Neuron*. 2007. Vol.56. P.366-383.

## REFERENCES

1. Arhitektonika volokon kory bol'shogo mozga cheloveka/ Kononova E.P., Bogolepova I.N., Minaeva V.M.i dr./ Pod red. S.A.Sarkisova. M., Medicina, 1972. 184 s.
2. Glanc S. Mediko-biologicheskaja statistika. M., Praktika, 1998. 459 s.
3. Farber D.A. Sistemnaja mozgovaja organizacija zritel'nogo vosprijatija i ee formirovanie v ontogeneze //V kn.: Mozgovye mehanizmy formirovanija poznavatel'noj dejatel'nosti v predshkol'nom i mladšem shkol'nom vozraste/ Pod red. R.I.Machinskoj, D.A.Farber. M.: NOU VPO «MPSU»; Voronezh: MODJeK, 2014. P. 65-95.

# ВОЗРАСТНАЯ ПСИХОФИЗИОЛОГИЯ

## ОСОБЕННОСТИ ЗРИТЕЛЬНОГО ВОСПРИЯТИЯ И ОКУЛОМОТОРНОЙ АКТИВНОСТИ У ВТОРОКЛАССНИКОВ ПРИ ЧТЕНИИ ТЕКСТОВ РАЗЛИЧНОЙ СЛОЖНОСТИ

М.М. Безруких, О.Н. Адамовская<sup>1</sup>,  
В.В. Иванов, Т.А. Филиппова  
ФГБНУ «Институт возрастной физиологии РАО», Москва

*В работе представлены результаты исследования зрительного восприятия, сформированности навыка чтения и окулomotorной активности при чтении текстов различной сложности у детей 8-10 лет. Выявлены разные темпы формирования компонентов зрительного восприятия: высокий уровень развития зрительно-моторных координаций и низкие темпы созревания константности, помехоустойчивости и зрительного анализа-синтеза. Окулomotorная активность свидетельствует о послоговом чтении у детей 8-10 лет. Вместе с тем, отмечена дифференциация двух основных показателей окулomotorной активности: продолжительности прогрессивных фиксаций и амплитуды прогрессивных саккад, свидетельствующих о прогрессе развития навыка чтения. Показано, что повышение морфо- и психолингвистической сложности текста сопровождается регрессом навыка чтения, при этом синтетические приемы чтения заменяются аналитическо-синтетическими.*

**Ключевые слова:** чтение, дети, движения глаз, зрительное восприятие.

*In issue presents the results of a study of visual perception, the development of reading skills and the eye movements during the reading of texts of varying complexity in children 8-10 years. Revealed different rates of development of components of visual perception: high level of development of hand-eye coordination and low rates of maturation of constancy, noise stability and visual analysis-synthesis. Oculomotor activity indicates reading by syllable in children 8-10 years. However, the marked differentiation of the two main parameters of the eye movements: the duration of progressive fixations and the amplitude of progressive saccades have been indicating the progress of the development of reading skills. It is shown that increasing morphological and psycholinguistic complexity of the text is accompanied by a regression of reading skill, and the synthetic methods of reading are replaced by the analytical-synthetic.*

**Key words:** reading, children, eye movements, visual perception.

Одна из важнейших задач начальной школы – формирование у детей навыка чтения, являющегося фундаментом всего последующего образования.

Результаты многих исследований подтверждают факт о том, что базовой основой навыка чтения является зрительное восприятие [2; 30]. В период систематического обучения в начальной школе, предъявляющего, как правило, единые, достаточно жесткие требования ко всем учащимся, недостаточный уровень сформированности зрительного восприятия детей является серьезным препятствием

---

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

для успешного формирования базовых школьных навыков чтения и письма [2; 14; 16; 24; 30].

Актуальным вопросом является изучение изменений оculoмоторной активности на разных этапах становления навыка чтения. Oculoмоторная активность является информативным показателем сформированности и совершенствования этого навыка. Доказано, что по мере формирования навыка чтения изменяются показатели движения глаз: увеличивается длина саккады, уменьшается продолжительность фиксации и их частота, количество регрессов [5; 27].

Вопрос влияния психо- и морфофункциональной сложности текста на движение глаз на ранних этапах становления навыка чтения остается малоизученным. Однако нами было выявлено, что у детей 7-8 лет морфо- и психолингвистическая сложность текста не оказывает существенного влияния на параметры оculoмоторной активности в связи с послоговым типом чтения и недостаточным развитием буквенно-слоговых графемно-фонемных связей в этом возрасте [3].

В настоящее время обсуждается идея внедрения электронного портфеля без бумажных учебников, в том числе и в начальной школе, что создает необходимость научных исследований влияния чтения текстов с электронных носителей на функциональное состояние растущего организма младших школьников. Несмотря на имеющиеся немногочисленные литературные данные, свидетельствующие о более высоком напряжении ЦНС и утомлении зрительной системы у детей и подростков при чтении текстов с электронных носителей по сравнению с бумажным аналогом [9; 10], этот вопрос остается мало изученным.

Цель исследования: изучить особенности оculoмоторной активности при чтении текстов различной сложности с экрана монитора и выявить их взаимосвязи с показателями зрительного восприятия и сформированностью навыка чтения у младших школьников.

## **ОРГАНИЗАЦИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Исследование проводилось в образовательном учреждении г. Москвы. В исследовании приняли участие 82 школьника (38 мальчиков, 44 девочки) вторых классов (средний возраст –  $8,4 \pm 0,08$  лет).

Все дети, согласно данным медицинских карт, относились к I-II группам здоровья. Исследование проводили с письменного разрешения родителей в первой половине дня (с 9 до 13 часов), в период наиболее успешной когнитивной деятельности. Этические принципы исследования согласованы с ученым советом ФГНУ «Институт возрастной физиологии» РАО.

Исследование движений глаз при чтении проводилось на установке EyeGaze Analyzing System фирмы «Interactive Minds». Методика основана на бинокулярной регистрации оculoмоторной активности при помощи метода видеорегистрации с элементами фотоэлектрического метода. Поставляемая в комплекте с установкой программа NYAN (версия 1.3.0.20), учитывая угол видеокамеры относительно вектора прямого взгляда, рассчитывает экранную позицию, в которую направлен взгляд, по результатам калибровки на основании x и y компонент смещения коронарного блика. Скорость съемки каждой видеокамеры (частота опроса) составляет 60 Гц. При переменном опросе частота составляет 120 Гц (~1 кадр в 8 мс). Сред-



ная ошибка составляет  $0.45^{\circ}$  (0.38 см на экране). Минимальная продолжительность фиксаций, регистрируемых установкой – 50 мс.

Степень сформированности навыка чтения оценивалась педагогами. При этом учителями учитывалась скорость чтения, беглость, выразительность, безошибочность, понимание прочитанного текста, умение пересказывать. Для более глубокого анализа степени сформированности навыка чтения была использована Методика оценки сформированности навыков письма и чтения у школьников 1 класса (Безруких М.М., Крещенко О.А., 2009).

Исследование проводилось с каждым ребенком индивидуально. Обследуемый садился перед экраном установки, при этом регулировалась высота стула и расстояние до экрана. Расстояние между обследуемым и экраном установки составляло 50-55 см, угловой размер прописных букв –  $0.32^{\circ}$  (19.2 угл. мин.), что соответствует нормам СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03.

Последовательно ребенок читал вслух два текста различной психо- и морфофункциональной сложности. После окончания чтения исследуемым детям задавались вопросы по тексту с целью выяснения степени восприятия и понимания текста, которая оценивалась в баллах (по 5-бальной системе). Средняя продолжительность чтения текста составляла от 3 до 5 минут. Продолжительность опроса также составляла от 3 до 5 минут. Перед чтением следующего текста ребёнку предоставлялось время для отдыха – 3 минуты.

Оценка уровня развития психофизиологической зрелости детей по показателям зрительного восприятия проводилась по методике М. Фростиг (1966) в модификации М.М. Безруких и Л.В. Морозовой (1996). Исследование различных компонентов зрительного восприятия включало анализ:

1. Зрительно-моторной координации; ведущий компонент – зрительно-моторная интеграция, под которой понимается способность скоординировать моторные действия с зрительно-пространственной деятельностью.

2. Фигурно-фонового различения; ведущий компонент – помехоустойчивость восприятия, под которым понимается восстановление сигналов, частично разрушенных помехами. Наиболее ярко проявляется при выделении фигуры (предмета или объекта) из фона.

3. Постоянства очертаний; ведущий компонент – константность восприятия, под которым понимается относительная устойчивость воспринимаемых признаков предметов при изменении условий зрительного восприятия.

4. Положения в пространстве; ведущий компонент – зрительно-пространственное восприятие, под которым понимается зрительное соотнесение предметов по их признакам и их различия положения в пространстве по отношению друг к другу и их основным частям.

5. Пространственных отношений; ведущий компонент – зрительно-пространственное восприятие.

6. Комплексный субтест позволял оценить зрительно-пространственное восприятие и зрительный анализ, под которым понимается анализ фигуры (предмета или объекта) с неполным отражением отдельных свойств и дальнейшим достраиванием полученной информации до целостного образа конкретной фигуры (предмета или объекта).

Все задания выполнялись графически каждым ребенком в ходе индивидуального тестирования. Результаты оценивались в баллах, которые затем пересчитывались по специально разработанной 10-бальной шкале.

### **Стимульный материал**

На основе математико-статистического анализа выявлены основные значимые морфо- и психолингвистические показатели, характеризующие фактор «сложность текста». Для этого отобран комплекс критериев: количественные характеристики текста и слов, количество лемм и абстракций, процент кратких прилагательных, глаголов в личной форме, местоимений-существительных, сложно-подчиненных предложений и сложных предложений, коэффициент Колемана-Лиау, возрастной уровень, необходимый для понимания оцениваемого текста - коэффициент Флеша-Кинкэйда, коэффициент Флеша, скорректированный для русского языка (по Обороневой И.В., 2006). Для исследования было подготовлено 2 варианта текстов различной сложности с учетом школьной программы.

### **Дизайн исследования**



### **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ**

**Особенности зрительного восприятия у детей 8-10 лет.** Полученные результаты исследования свидетельствуют о том, что для большинства (68.5±6.7 %) детей 8-10 лет уровень развития зрительного восприятия соответствует возрастной норме (рис. 1).

Анализ качества выполнения каждого субтеста (рис. 1) позволяет выявить структуру ЗВ, медленно и быстро созревающие компоненты.

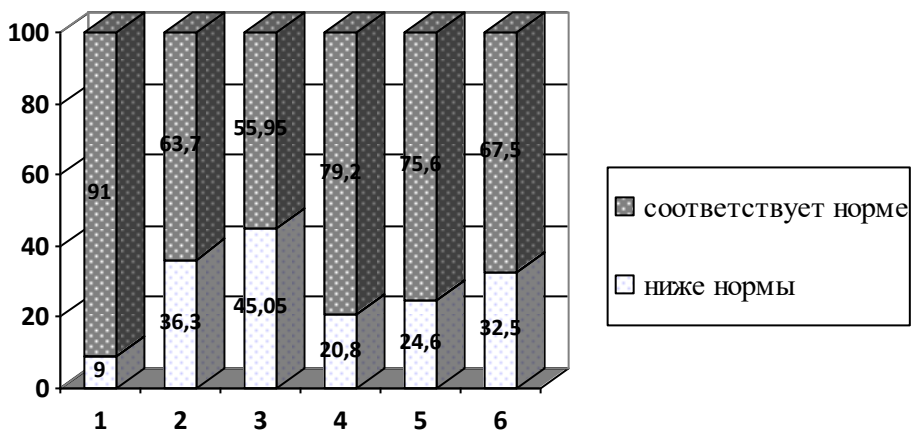


Рис. 1. Количество детей 8-10 лет (%) с разным уровнем сформированности компонентов зрительного восприятия.

Примечание: 1, 2, 3, 4, 5, 6 – субтесты

Зрительно-моторные координации (субтест 1) – один из компонентов ЗВ, отражающий взаимодействие сенсорных поступлений и моторных действий. Высокий уровень развития моторных функций отмечается у  $91.0 \pm 7.4$  % второклассников. В нашей работе не выявлено различий ( $p > 0.05$ ) в успешности выполнения заданий на зрительно-моторные интеграции между учащимися с высоким и низким уровнями развития ЗВ (табл. 1). Это видимо, связано с тем, что формированию ЗВ и совершенствованию моторных функций способствует не только возрастное морфофункциональное созревание мозга [6], но и систематическая тренировка этих функций в процессе обучения.

Результаты выполнения заданий на зрительно-пространственное восприятие (субтесты 4, 5) свидетельствуют, что темпы созревания этого компонента соответствуют возрастным нормативам, однако нами отмечена несформированность зрительно-пространственного восприятия у  $22.72 \pm 1.8$  % учеников.

Наибольшую трудность выполнения у детей вызвали субтесты 2, 3, оценивающие помехоустойчивость и константность зрительного восприятия: у  $36.25 \pm 2.1$  % и  $45.05 \pm 3.6$  % детей, результаты этих тестов ниже возрастных норм. Анализ результатов выполнения комплексного субтеста показывает, что у всех детей менее сформированным оказался такой интегративный компонент ЗВ, как зрительный анализ-синтез. Возможно, это связано как с недостатком сформированности отдельных компонентов ЗВ (константность, помехоустойчивость), с недостаточной сформированностью произвольной организации деятельности, а также с условиями обучения.

Таблица 1

*Средне групповые значения уровня развития зрительного восприятия и отдельных компонентов у детей 8-10 лет*

Структурные компоненты зрительного восприятия	Средние значения	
	Высокий уровень развития ЗВ	Низкий уровень развития ЗВ
Зрительно-моторная координация	9.8±0.24	9.5±0.22
Помехоустойчивость	8.7±0.32	6.7±0.28*
Константность	8.5±0.20	6.8±0.19*
Зрительно-пространственное восприятие	8.6±0.23	7.3±0.26
Зрительный анализ-синтез	8.9±0.30	7.0±0.21*
% восприятия	82.5±2.8	60.5±3.8*

\* - достоверность результатов при  $p < 0.05$

Низкие по отношению к другим компонентам ЗВ темпы созревания помехоустойчивости, константности и зрительного анализа-синтеза, высокая индивидуальная вариативность показателей этих функций у детей младшего школьного возраста отмечены и в ранее проведенных исследованиях [3; 8; 13].

Таким образом, количество детей, имеющих низкий темп формирования тех или иных функций в системе ЗВ, колеблется в пределах от 9 до 45.05 %. Количество детей с соответствием темпов формирования ЗВ возрастным нормативам колеблется от 55.95 % до 91 % по разным компонентам.

По данным ряда авторов [2; 11] в младшем школьном возрасте происходит совершенствование системы зрительного восприятия, однако темпы его индивидуальны и зависят от большого количества внешних и внутренних факторов. Среди внутренних факторов, оказывающих значительное влияние на формирование зрительного восприятия у младших школьников являются возрастные и индивидуальные темпы структурно-функционального созревания лобных отделов коры, контролирующей организацию нейронных сетей, участвующих в реализации процесса восприятия [6]. Нельзя исключать среди факторов, определяющих успешность формирования системы зрительного восприятия - особенности раннего развития ребенка, которые определяют и функциональную зрелость мозга и, следовательно, становление высших психических функций [8; 24]. Среди внешних факторов необходимо особо выделить так называемые «школьные факторы риска», т.е. факторы, которые связаны с неэффективной организацией учебного процесса, неадекватными методиками и требованиями, которые тормозят развитие познавательных функций, в том числе и зрительного восприятия и могут стать причиной возникновения трудностей письма и чтения [2; 4; 16; 17].

**Особенности окуломоторной активности в процессе чтения текстов различной сложности у детей 8-10 лет.** Основные характеристики параметров окуломоторной активности представлены в таблице 2.

Таблица 2

*Показатели окуломоторной активности при чтении текстов различной сложности*

Параметры	Сложность текста		Значимость различий
	Простой текст M±m, V%	Сложный текст M±m, V%	
Среднее значение уровня понимания текста (%)	73.3±2.95, 25.1	61.55±3.58, 35.85	<b>p&lt;0.05</b>
Средняя продолжительность прогрессивных фиксаций (мс)	315.12±7.46, 14.8	343.86±10.37, 18.6	<b>p&lt;0.05</b>
Средняя продолжительность установочных фиксаций (мс)	368.97±11.38, 19.3	382.75±12.78, 20.6	p>0.05
Средняя продолжительность строковых фиксаций (мс)	222.78±7.64, 21.4	204.83±6.11, 18.4	p>0.05
Средняя амплитуда прогрессивных саккад (угл.град)	1.72±0.04, 14.8	1.58±0.05, 17.9	<b>p&lt;0.05</b>
Средняя амплитуда регрессивных саккад (угл.град)	1.37±0.03, 15.1	1.30±0.03, 15.6	p>0.05
Процент регрессов (%)	13.67±0.84, 38.6	15.38±0.77, 30.7	p>0.05
Время чтения (м)	2.51±0.10, 24.7	3.39±0.20, 35.6	
Скорость чтения (символов в секунду)	6.49±0.25, 24.3	5.80±0.0.28, 29.9	p>0.05
Количество фиксаций на букву	0.53±0.02, 24.5	0.57±0.02, 26.5	p>0.05
Количество фиксаций на слово	2.29±0.09, 24.5	3.43±0.15, 26.5	<b>p&lt;0.001</b>
Средний коэффициент вариации прогрессивных фиксаций	56.02±1.09, 12.2	59.01±1.20, 12.5	p>0.05
Средний коэффициент вариации установочных фиксаций	48.67±1.40, 17.9	48.89±1.98, 25.0	p>0.05
Средний коэффициент вариации строковых фиксаций	59.58±2.65, 27.8	56.38±3.06, 33.5	p>0.05
Средний коэффициент вариации прогрессивных саккад	48.64±0.54, 6.9	51.20±0.68, 8.2	<b>p&lt;0.01</b>
Средний коэффициент вариации регрессивных саккад	56.74±1.09, 12.0	62.77±1.26, 12.4	<b>p&lt;0.01</b>

*M – средняя, m – ошибка средней, V% - коэффициент вариации, выраженный в процентах.*

Обращает на себя внимание значимое влияние фактора повторного перечитывания простого текста у младших школьников ( $F(1, 37) = 8.823, p=0.0052$ ). Так, при первичном прочтении уровень понимания текста составляет  $67.65 \pm 3.52\%$  ( $V=26.52$ ), при повторном –  $84.59 \pm 3.90\%$  ( $V=16.6$ ). Опрос учеников показал, что данный простой текст был впервые ими прочитан за шесть месяцев до даты эксперимента. Таким образом, повторное перечитывание текста улучшает его понимание и воспроизведение в среднем на 16-17 %.

Продолжительность прогрессивных фиксаций, т.е. остановок взора, во время которых воспринимается основная информационная составляющая текста, составляет в среднем 315 мс в простом тексте и 344 мс - в сложном. Результаты анализа выявили влияния фактора «сложность» текста на данный показатель оculo-моторной активности ( $F(1, 75)=5.10, p=0.03$ ).

Также выявлены различия по средней амплитуде прогрессивных саккад при чтении простого и сложного текстов активности ( $F(1, 75)=5.28, p=0.02$ ). Так при чтении простого текста среднее расстояние между двумя фиксациями составляло 1.72 угл. град., тогда как в сложном текста это расстояние сокращалось до 1.58 угл. град.

Таблица 3

*Дисперсионный анализ показателей оculoмоторной активности при чтении у детей 8-9 лет  
(влияние фактора «СЛОЖНОСТЬ текста»)*

<b>Показатели ОА</b>	<b>df</b>	<b>F</b>	<b>Sig.</b>
Среднее значение уровня понимания текста (%)	<b>1</b>	<b>6.447</b>	<b>0.013</b>
Средняя продолжительность прогрессивных фиксаций (мс)	<b>1</b>	<b>5.103</b>	<b>0.027</b>
Средняя продолжительность установочных фиксаций (мс)	1	0.650	0.423
Средняя продолжительность строковых фиксаций (мс)	1	3.347	0.071
Средняя амплитуда прогрессивных саккад (угл.град)	<b>1</b>	<b>5.284</b>	<b>0.024</b>
Средняя амплитуда регрессивных саккад (угл.град)	1	1.998	0.162
Процент регрессов (%)	1	2.241	0.139
Время чтения (м)	<b>1</b>	<b>16.429</b>	<b>0.000</b>
Скорость чтения (символов в секунду)	1	3.289	0.074
Количество фиксаций на букву	1	1.166	0.284
Количество фиксаций на слово	<b>1</b>	<b>43.564</b>	<b>0.000</b>
Средний коэффициент вариации прогрессивных фиксаций	1	3.406	0.069
Средний коэффициент вариации установочных фиксаций	1	0.008	0.928
Средний коэффициент вариации строковых фиксаций	1	0.625	0.432
Средний коэффициент вариации прогрессивных саккад	<b>1</b>	<b>8.785</b>	<b>0.004</b>
Средний коэффициент вариации регрессивных саккад	<b>1</b>	<b>13.074</b>	<b>0.001</b>

Таким образом, наблюдается тенденция к дифференциации чтения различных по сложности текстов по основным пространственно-временным показателям движения глаз. Дети 8-10 лет совершают более короткие прогрессивные саккады

и более продолжительные фиксации при чтении сложного текста, который характеризуется большим количеством абстрактных, редких и длинных слов. Такой характер окулomotorной активности присущ опытным чтецам [18, 21, 26]. Фактически у них больше количество и продолжительность фиксаций, что, по-видимому, необходимо не только для осуществления самого процесса чтения, но и для понимания смысла текста.

Анализ количества фиксаций на элементы текста показал, что при чтении у детей 8-10 лет преобладает послоговое восприятие текста - в среднем совершалось по 1.06-1.14 фиксации на две буквы, что составляет среднюю длину слога в использованных текстах (длина слога в простом тексте - 2.17 буквы, в сложном - 2.27 буквы) (рис.3 а, б). Выявленные различия ( $p < 0.001$ ) по количеству фиксаций на слово объясняются тем, что в сложном тексте в 1.4 раза более длинные слова. При этом скорость чтения является постоянной (в среднем 6 символов в секунду) и при чтении простого, и при чтении сложного текста.

Анализ показал, что процент регрессов составляет  $13.67 \pm 0.84$  при чтении простого текста и  $15.38 \pm 0.77$  при чтении сложного текста, однако значимых различий между процентным соотношением прогрессивных и регрессивных саккад при чтении различных по сложности текстов не выявлено. Большее количество регрессов может говорить о том, что паттерны движений глаз, ответственные за позиционирование взора на слове, находятся в процессе совершенствования. Несформированность механизма окулomotorной активности подтверждают высокие значения коэффициента вариации показателей движения глаз, свидетельствующие о нестабильности регуляции этой сложной когнитивной деятельности.

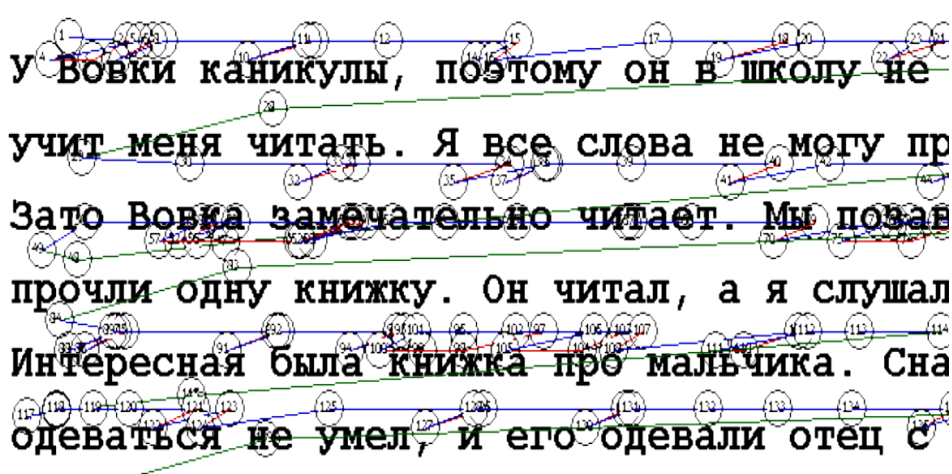


Рис. 3а. Окулomotorная активность при чтении простого текста.  
Маша Л., 9 лет

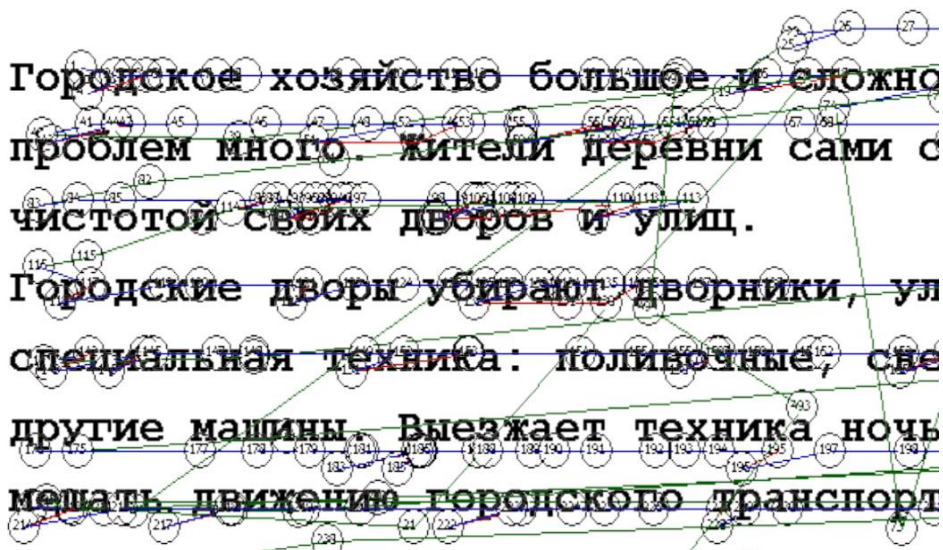


Рис. 36. Окуломоторная активность при чтении сложного текста.  
 Машиа Л., 9 лет

Анализ коэффициентов вариации продолжительности фиксации и амплитуд саккад показал высокую вариативность данных показателей глазодвигательной активности при чтении и простых, и сложных текстов. Вариативность фиксации характеризует влияние информационной, психолингвистической составляющей текста, вариативность саккад – визуальной, морфологической. Значимые различия отмечаются между коэффициентами вариации амплитуд и прогрессивных (в среднем на 2.6% выше в сложном тексте,  $F(1, 75) = 8.78, p < 0.01$ ), и регрессивных (в среднем на 6.0% выше в сложном тексте,  $F(1, 75) = 13.07, p < 0.001$ ) саккад в различных по сложности текстах. Данное наблюдение подтвердил и корреляционный анализ: отмечена положительная корреляция сложности текста только с вариативностью амплитуд прогрессивных ( $r = 0.324$ , при  $p < 0.05$ ) и регрессивных ( $r = 0.385$ , при  $p < 0.05$ ) саккад. Т.е. чем сложнее текст, тем более разнообразные по длине совершаются саккады. Это связано как с более высоким разбросом длины слов, представленных в сложном тексте, так и с их большей структурной сложностью. Таким образом, прослеживается влияние визуальной, морфологической характеристики слов и текста в целом.

При анализе коэффициентов вариации однородность перечисленных показателей движений глаз не выявлена ( $V > 30\%$ ). Высокая вариативность продолжительности фиксации говорит о том, что на данном этапе становления навыка дети 8-10 лет не обладают устоявшимися паттернами чтения, отточенными способами распознавания графем, широким словарным запасом.

Таким образом, проведенный анализ окуломоторной активности показал, что у детей 8-10 лет преобладает послоговое чтение. Вместе с тем, отмечена дифференциация двух основных показателей окуломоторной активности (продолжительности прогрессивных фиксации и амплитуды прогрессивных саккад), что го-



ворит о прогрессе развития навыка чтения. Согласно литературным данным [18; 25], у взрослых чтецов отмечается выраженное влияние психо- и морфолингвистических факторов текста на показатели движений глаз. По нашим данным у детей 8-10 лет наиболее выражено влияние визуальных, морфологических свойств текста и его элементов на пространственные параметры окулomotorной активности: количество фиксаций на слове, коэффициенты вариации прогрессивных и регрессивных саккад. Характер окулomotorной активности позволяет сделать вывод о том, что в данном возрасте у детей начинают проявляться паттерны движений глаз при чтении, характерные для взрослых, такие как: пропуск фиксации на коротких одно- двухбуквенных слов, пропуск окончаний в знакомых словах, уверенное визуальное ориентирование в тексте. В тоже время, отмечено множество ошибок прочтения как знакомых, так и не знакомых слов. В совокупности, это говорит о том, что у детей 8-10 лет хорошо сформированы визуальные образы отдельных слогов, но не целых слов, что характерно для взрослых читателей. При чтении у детей данного возраста показана как достаточно высокая скорость лексической обработки, так и большая интеграция прочитанного в процесс восприятия слова. Наибольшее влияние на движения глаз в процессе чтения в данном возрасте оказывает степень автоматизма лингвистического декодирования слов, включающего в себя орфографическую обработку, графемно-фонемное преобразование, лексический доступ, семантический анализ и т.д. В тоже время, продолжающие совершенствоваться окулomotorные паттерны в дальнейшем не показывают существенного улучшения пространственно-временных параметров глазо-двигательной активности [19].

Уровень **сформированности навыка чтения** у детей 8-10 лет оценивался по следующим показателям: осознанное правильное чтение целыми словами с правильным ударением и с соблюдением соответствующей интонацией, а также общее звучание речи (разборчивость и темп).

При чтении простого текста хорошо сформированный навык отмечен у 71.42 % детей, а при чтении сложного текста - только у 28.57 % младших школьников. У плохочитающих детей выявлено нарушение общего звучания речи - скачкообразный темп чтения (то быстрее, то медленнее в пределах одного предложения), которое является специфическим показателем трудностей формирования навыка чтения. Кроме того, у этих детей многочисленны и разнообразны ошибки: прочтения слогов, перестановки слогов, аграмматизмы, «застревания» при чтении, неправильные ударения, нарушения общего звучания речи, скачкообразный темп чтения. Выявленные ошибки свидетельствуют о несформированности навыка чтения, трудностях автоматизации, что в наибольшей степени проявилось при чтении сложного текста.

### **Корреляционные взаимосвязи параметров зрительного восприятия, окулomotorной активности и сформированности навыка чтения у детей 8–10 лет.**

Сравнительный анализ корреляционных связей (методом ранговой корреляции Спирмана) между показателями окулomotorной активности, параметрами ЗВ и сформированности навыка чтения позволил выявить особенности в структуре корреляций при чтении текстов различной сложности (рис. 2, 3).

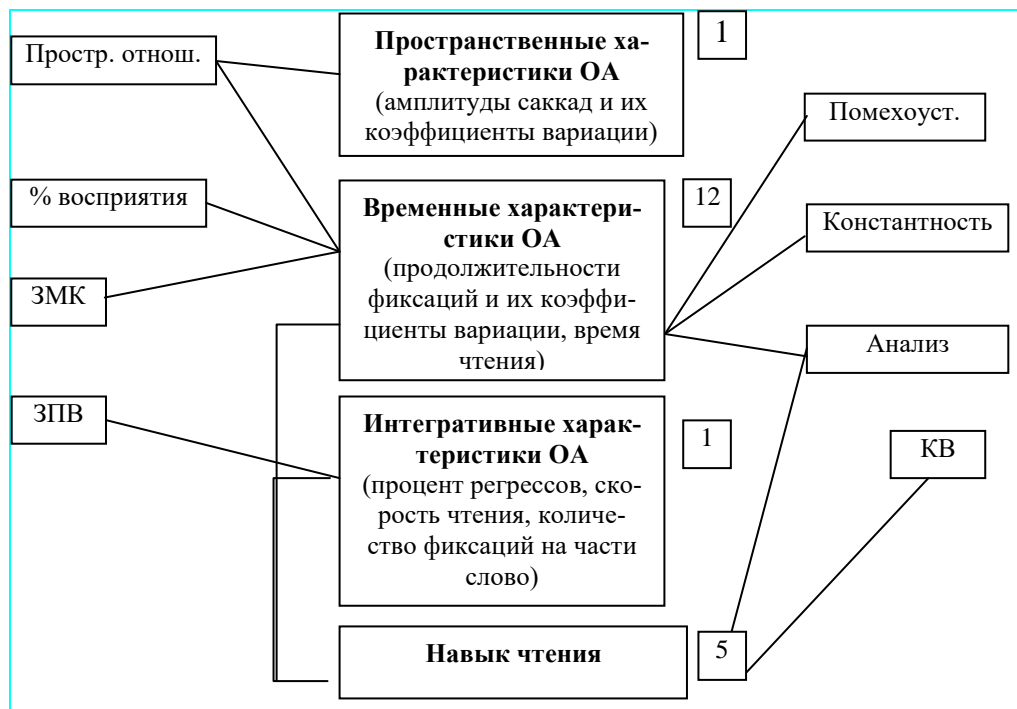
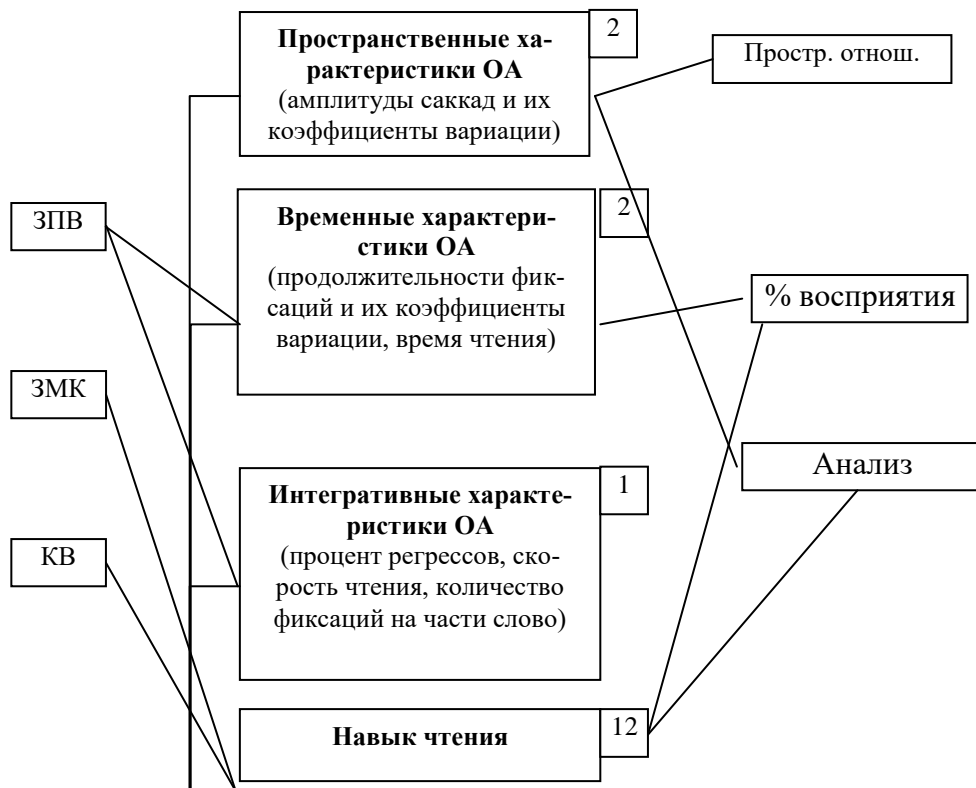


Рис. 2. Корреляционные взаимосвязи между компонентами ЗВ, окулomotorной активности и сформированности навыка чтения у детей 8–10 лет при чтении простого текста

При чтении простого текста у детей обоего пола отмечается большее количество корреляционных связей между параметрами зрительного восприятия и окулomotorной активности (рис. 2). Наличие такой взаимосвязи свидетельствует о широкой вариативности темпов формирования зрительного восприятия у детей 8–10 лет.

Отрицательные корреляции ( $r = -0.64$  -  $-0.42$ ,  $p < 0.01$ ) отмечены между временными и интегративными характеристиками окулomotorной активности и компонентами зрительного восприятия: между зрительно-моторными координациями и продолжительностью прогрессивных и установочных фиксаций ( $r = -0.463$ ,  $p < 0.05$  и  $r = -0.645$ ,  $p < 0.01$ , соответственно); помехоустойчивостью и продолжительностью прогрессивных фиксаций ( $r = -0.433$ ,  $p < 0.05$ ); константностью восприятия, продолжительностью установочных фиксаций ( $r = -0.377$ ,  $p < 0.05$ ), вариативностью строковых саккад ( $r = -0.493$ ,  $p < 0.05$ ); зрительно-пространственным восприятием и процентом регрессов ( $r = -0.373$ ,  $p < 0.05$ ); зрительно-пространственными отношениями и вариативностью прогрессивных фиксаций ( $r = -0.440$ ,  $p < 0.05$ ), зрительным анализом-синтезом и вариативностью прогрессивных ( $r = -0.369$ ,  $p < 0.05$ ) и строковых ( $r = -0.397$ ,  $p < 0.05$ ) фиксаций; коэффициентом восприятия и продолжительностью установочных фиксаций ( $r = -0.426$ ,  $p < 0.05$ ); процентом восприятия и продолжительностью прогрессивных ( $r = -0.390$ ,  $p < 0.05$ ) и установочных фиксаций ( $r = -0.476$ ,  $p < 0.01$ ).



*Рис. 3. Корреляционные взаимосвязи между компонентами ЗВ, оculoмоторной активности и сформированностью навыка чтения у детей 8–10 лет при чтении сложного текста.*

Положительные взаимосвязи отмечены между пространственными характеристиками оculoмоторной активности (амплитуда прогрессивных саккад) и пространственными отношениями ЗВ ( $r = 0.45$ ,  $p < 0.05$ ).

При чтении сложного текста у всех детей 8–10 лет увеличивается количество корреляционных взаимосвязей навыка чтения с глазодвигательными показателями и параметрами зрительного восприятия, и значительно уменьшается количество внутрисистемных связей оculoмоторной активности и зрительного восприятия (рис. 3).

Так, отрицательные корреляции наблюдаются между зрительно-пространственным восприятием, продолжительностью установочных фиксаций ( $r = -0.412$ ,  $p < 0.05$ ) и процентом регрессов ( $r = -0.384$ ,  $p < 0.05$ ), сформированностью зрительного восприятия и продолжительностью установочных фиксаций ( $r = -0.389$ ,  $p < 0.05$ ). Положительные корреляции отмечены при анализе зрительно-

пространственных отношений и амплитудой прогрессивных саккад ( $r = -0.566$ ,  $p < 0.01$ ).

Взаимосвязи между сформированностью навыка чтения и характеристиками окулomotorной активности имеют разнонаправленный характер. Отрицательные связи ( $r = 0.482-0.669$ ,  $p < 0.05$ ) установлены между сформированностью навыка чтения и пространственными и интегративными характеристиками окулomotorной активности (амплитуда прогрессивных и регрессивных саккад, скорость чтения). Положительные корреляции ( $r = -0.601 - -0.669$ ,  $p < 0.05$ ) отмечены между навыком чтения и временными характеристиками окулomotorной активности.

Все взаимосвязи ( $r = 0.400-0.545$ ,  $p < 0.05$ ) между сформированностью навыка чтения и компонентами зрительного восприятия (зрительно-моторные координации, зрительный анализ-синтез, уровень развития ЗВ) имеют положительную направленность.

Наличие взаимосвязей между сформированностью навыка чтения с одной стороны и зрительным восприятием, и скоростью чтения, с другой стороны, было отмечено у младших школьников и другими авторами [16, 23] и свидетельствует о том, что учащиеся, обладающие лучшими навыками визуального восприятия, имеют более высокую скорость чтения и понимание.

Сформированность зрительного восприятия в соответствии с возрастом, отмеченная у 68.5% детей, широкая представленность визуальных образов слов позволяют сконцентрировать внимание на извлечении лингвистической информации из текста, а не на анализе графемно-фонемных связей. Такое смещение в структуре процесса восприятия текстовой информации [26]. проявляется при чтении часто встречающихся, простых и коротких слов, представленных в простом тексте.

В тоже время сложные и длинные слова еще не имеют устоявшегося образа в памяти, языковые конструкции, использованные в тексте повышенной морфо- и психолингвистической сложности, не знакомы. В таком случае происходит неистинный регресс навыка – синтетические приемы чтения заменяются аналитическо-синтетическими – слова читаются по слогам или по грамматическим основам, и только потом собираются в оперативной памяти.

Регресс навыка, вызванный повышенной морфо- и психолингвистической сложностью текста, объясняет малое количество корреляционных связей параметров зрительного восприятия и характеристик окулomotorной активности при чтении такого текста.

Таким образом, анализ корреляционных зависимостей показал, что ребенку 8-10 лет необходима помощь взрослого для понимания сложного текста. Т.е. задача восприятия такого текста, как в нашем исследовании, находится, по определению Л.С. Выготского, в зоне ближайшего развития. Использование текстов повышенной сложности целесообразно для развития навыка чтения, однако, их применение в других областях обучения повышает энергетические затраты при освоении новых знаний, может вызвать ошибки выполнения заданий, повышенную утомляемость, появление нежелания учиться, оказывать негативное влияние на психическое состояние, провоцировать другие школьные трудности.

## ВЫВОДЫ

1. Уровень развития зрительного восприятия у большинства детей 8-10 лет соответствует возрастной норме. Компоненты зрительного восприятия, имеющие сложную психофизиологическую структуру (помехоустойчивость, константность зрительного восприятия и зрительный анализ-синтез) отличаются низкими темпами созревания в этом возрасте, по сравнению с другими компонентами зрительного восприятия.

2. Окуломоторная активность детей свидетельствует о послоговом чтении детей 8-10 лет, однако имеет тенденцию к дифференциации основных параметров при чтении текстов различной сложности: продолжительности прогрессивных фиксаций и амплитуды прогрессивных саккад, связанную с возрастной сформированностью зрительного восприятия и навыка чтения.

3. Повышение морфо- и психолингвистической сложности текста сопровождается регрессом навыка чтения, при этом синтетические приемы чтения заменяются аналитическо-синтетическими.

4. Доказана высокая значимость сформированности всех компонентов зрительного восприятия в процессе формирования навыка чтения.

*Работа выполнена при поддержке гранта РГНФ №16-06-00799а.*

**Благодарности:** Авторы выражают искреннюю благодарность д.псих.н., профессору В.А. Барабаницкову и к.псих.н., доценту А.А. Демидову за помощь в техническом обеспечении исследования.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анисимов В.Н., Федорова О.В., Латанов А.В. Параметры движений глаз при чтении предложений с локальной и глобальной синтаксической неоднозначностью // Материалы VII международной конференции по когнитивной науке – Светлогорск, 2016. – С. 685.

2. Безруких М.М. Трудности обучения в начальной школе / М.М. Безруких. – М.: Bookscriptor, 2016. – 524 с.

3. Безруких М.М., Адамовская О.Н., Иванов В.В. Особенности зрительного восприятия и окуломоторной активности у первоклассников при чтении текстов различной сложности // Физиология человека. – 2017. – № 2.

4. Безруких М.М., Крещенко О.Ю. Психофизиологические критерии трудностей обучения письму и чтению у школьников младших классов // Физиология человека. – 2004. – Т. 30. № 5. – С. 24.

5. Безруких М.М., Иванов В.В. Окуломоторная активность при чтении у детей с разной степенью сформированности навыка (Сообщение 2. Особенности окуломоторной активности у хорошо и плохо читающих детей 9-10 лет) // Новые исследования. – 2015. – № 2. – С. 2-14.

6. Васильева В.А., Шумейко Н.С. Особенности ансамблевой организации в коре большого мозга у детей от 8 до 12 лет // Новые исследования. – 2014. – № 4. – С. 4.

7. Жукова Е.А. Острота зрения, зрительное восприятие и факторы, влияющие на них у младших школьников: автореф. дис.... канд. биол. наук. – Киров, 2004. – 33 с.
8. Звягина Н.В., Морозова Л.В., Терехова Н.Н. Психофизиологические закономерности формирования системы зрительного восприятия у детей 6-8 лет: Монография. – Архангельск, 2011. – 152 с.
9. Кочина М.Л., Яворский А.В., Маслова Н.М. Особенности влияния разных видов визуальной нагрузки на функциональное состояние зрительной системы детей и подростков// Актуальні проблеми сучасної медицини: Вісник української медичної стоматологічної академії, 2017, Т.17, Вып.1, с.112-116
10. Кучма В.Р., Текшева Л.М., Вятлева О.А., Курганский А.М. Физиолого-гигиеническая оценка восприятия информации с электронного устройства для чтения (ридера) // Гигиена и Санитария. – 2013. – № 1. – С. 22-26.
11. Морозова Л.В. Специфика психофизиологического обеспечения зрительного восприятия детей 7-8 лет с разным темпом его формирования // Журнал медико-биологических исследований. – 2016. – № 1. – С. 63-72.
12. Рубинштейн С.Л. Проблемы общей психологии. – М., 1973. – 416 с
13. Спасенникова Е.В., Спасенников Б.А. Психофизиологические особенности зрительного восприятия детей 7-10 лет // Novainfo. – 2017. – Том № 59, № 2. – С. 415-433
14. Barnes, M.A., & Raghobar, K.P. (2014). Review: Mathematics development and difficulties: The role of visual-spatial perception and other cognitive skills. *Journal of Pediatric Blood Cancer*, 61, 1729-1733.
15. Brown, T. (2012). Are motor-free visual perception skill constructs predictive of visual-motor integration skill constructs? *Hong Kong Journal of Occupational Therapy*, 22, 48-59. DOI: 10.1016/j.hkjot.2012.06.003
16. Çayır A. Analyzing the Reading Skills and Visual Perception Levels of First Grade Students // *Universal Journal of Educational Research* 5(7): 1113-1116, 2017 <http://www.hrpub.org> DOI: 10.13189/ujer.2017.050704
17. Guntayung, C., Chinchai, S., Pongsakri, M., & Vittayakorn, S. (2013). Determination of normative values of the developmental test of visual perception (DTVP-2) in Thai children. *International Journal of Medicine and Pharmaceutical Sciences*, 3(2), 113126.
18. Haikio, T. et al. Development of the letter identity span in reading: Evidence from the eye movement moving window paradigm / T. Haikio, R. Bertram, J. Hyona, P. Niemi // *Journal of Experimental Child Psychology*. – 2009. – Vol. 102. – P.167-181.
19. Huestegge, L., et al. Oculomotor and linguistic determinants of reading development: A longitudinal study / L. Huestegge, R. Radach, D. Corbic, S.M. Huestegge // *Vision Research*. – 2009. – V.49. – pp. 2948–2959.
20. Humphreys G.W., Riddoch M.J. Routes to object constancy: Implications from neurological impairments of object constancy // *Quart. J. Exp. Psychol.* 1984. A.36, №3. P.385-415.
21. Luke, S.G., et al. Children's eye-movements during reading reflect the quality of lexical representations: an individual differences approach : [Электронный ресурс] / S.G. Luke, J.M. Henderson, F. Ferreira // *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*. – 2015.

URL: <http://dx.doi.org/10.1037/xml0000133>).

22. McGeown S., Goodwin H., Henderson N., Wright P. Gender differences in reading motivation: Does sex or gender identity provide a better account? *J. Res. Read.* 2012;35:328–336

23. Memiş, A., AyvazSivri, D. (2016). The Analysis of Reading Skills and Visual Perception Levels of First Grade Turkish Students. *Journal of Education and Training Studies*, V4, n8, RedfamePub

24. Pienaar, A.E., Barhorst, R., & Twisk, J.W.R. (2013). Relationships between academic performance, SES school type and perceptual-motor skills in first grade South African learners: NW-CHILD study. *Child: care, health and development*, 40(3), 370-378. DOI: 10.1111/cch.12059

25. Rayner, K. et al. Eye movements and the perceptual span in older and younger readers / K. Rayner, M.S. Castelhana, J. Yang J. // *Psychology and Aging*. –2009. – V.24(3). – pp. 755-760.

26. Rayner, K. Models of the reading process / K. Rayner, E.D. Reichle // *Wiley Interdiscip. Rev. Cogn. Sci.* – 2010. – Vol. 1, № 6. – P. 787-799.

27. Søvik, N., Arntzen, O., and Samuelstuen, M., Eyemovement parameters and reading speed // *Interdiscip. J.* – 2000. – Vol. 13, № 3, – P. 237.

28. Vlok, E.D., Smit, N.E., & Bester, J. (2011). A developmental approach: A framework for the development of an integrated visual perception programme // *South African Journal of Occupational Therapy*. – 2011. – Vol. 41(3). – P. 1-9.

29. Völkel G., Seabi J., Cockcroft K., Goldschagg P. The Impact of Gender, Socioeconomic Status and Home Language on Primary School Children’s Reading Comprehension in KwaZulu-Natal // *J. Environ Res Public Health*. – 2016. – Mar; 13(3): 322.

30. Werpup-Stüwe L., Petermann F. Visual perception abilities in children with reading disabilities // *Kinder Jugendpsychiatr Psychother.* – 2015. – May;43(3):195-205

## REFERENCE

1. Anisimov, V.N., Fedorova, O.V., and Latanov, A.V., Parameters of eye movements while reading sentences with local and global syntactical ambiguity, *Sbornik tezisev Sed'moi mezhdunarodnoi konferentsii po kognitivnoi nauke (Proc. 7th Int. Conf. on Cognitive Science)*, Svetlogorsk, 2016, p. 685.

2. Bezrukikh, M.M., *Learning Difficulties in Elementary School*, Moscow: Book-scriptor, 2016.

3. Bezrukikh M.M., Adamovskaya O.N. and Ivanov V.V. Visual and Oculomotor Activity of First-grade School Students during Reading Texts of Varying Complexity// *Human Physiology*, 2017, Vol. 43, No. 2, pp. 168–176.

4. Bezrukikh, M.M. and Kreshchenko, O.Yu., Psychophysiological correlates of writing and reading difficulties in children of elementary school age, *Hum. Physiol.*, 2004, vol. 30, no. 5, p. 521.

5. Bezrukikh, M.M. and Ivanov, V.V., Oculomotor activity while reading in children with different reading skills. Communication 2. Oculomotor activity in 9–10 year old children with good and poor reading skills, *Nov. Issled.*, 2015, no. 2, p. 2.

6. Vasil'eva, V.A. and Shumeiko, N.S., Features of the ensemble organization of the human cerebral cortex in children aged 8–12 years, *Nov. Issled.*, 2014, no. 4, p. 4.

7. Zhukova E. A. Visual acuity, visual perception and the factors that influence them in primary school: Abstract: Phd. Kirov, 2004.p.33
8. Zvyagina N. In. Morozova L. V., Terebova N. N. Psychophysiological regularities of formation of system of visual perception in children 6-8 years: Monograph, Arkhangelsk, 2011-152c.
9. Cochina N. L., Yavorsky V. A., Maslova N. M. Features of the impact of visual load on the functional state of the visual system for children and teenagers// Topical problems of modern medicine: Journal of the Ukrainian medical dental academy, 2017, vol. 17, Issue.1, sec.112-116
10. Kuchma V.R., Teksheva L.M., Vyatleva O.A. , Kurgansky A.M. Physiological and hygienic assessment of information perception from electronic device for reading (reader)// Hygiene and Sanitation, 2013, no. 1, pp. 22-26
11. Morozova, L.V., The specificity of psychophysiological support of visual perception of children 7-8 years old with different rate of its formation/ Journal of biomedical research, 2016. -№ 1.-p.63-72
12. Rubinstein S.L. Problems of General psychology. M., 1973.416
13. Spasennykh E. V., Spasennov B. A. Psychophysiological characteristics of visual perception of children 7-10 years // Novainfo, 2017.- Vol 59, no. 2. p. 415-433



# ОСОБЕННОСТИ ГЛАЗОДВИГАТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ ПРИ ЧТЕНИИ ТЕКСТА С РАЗЛИЧНЫХ УСТРОЙСТВ ОТОБРАЖЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ У ПОДРОСТКОВ 14-15 ЛЕТ

В.В. Иванов<sup>1</sup>

ФГБНУ «Институт возрастной физиологии  
Российской академии образования», Москва

*В данном исследовании проведен анализ пространственно-временных параметров окулomotorной активности при чтении сложного текста с различных дисплеев (TFT и e-ink) подростками 14-15 лет. Было показано, что основное различие между чтением с различных электронных устройств заключается в различной скорости процесса перелистывания страниц текста, которое дольше при использовании устройства с e-ink-дисплеем. Различия в параметрах окулomotorной активности не значительны и имеют тенденциозный характер только при группировке детей по разным классам обучения: ученики 9 класса обладают лучшими показателями глазодвигательной активности при чтении с TFT-дисплея, а также лучше понимают представленный текст, чем восьмиклассники.*

**Ключевые слова:** чтение, окулomotorная активность, дисплеи

**Oculomotor activity in 14-15-year-old children when reading text on digital devices.** *The study presents the analysis of spatio-temporal parameters of oculomotor activity in 14-15-year-old teenagers while reading complex text on different types of displays (TFT and e-ink). It has been shown that the main difference between reading on various electronic devices is enclosed in the different speed of page's changing process that last longer when using a device with an e-ink display. Differences in parameters of oculomotor activity are not significant, it is tendentious only when grouping children by different grades: pupils of grade 9 have better parameters of oculomotor activity in reading from TFT display, and also they understand the text better than children of grade 8.*

**Key words:** reading, oculomotor activity, display

Проведение исследования глазодвигательной активности с использованием различных электронных устройств отображения текста у детей подросткового возраста обусловлено недостаточной изученностью механизмов чтения. Исследования движений глаз ведутся по разным направлениям, и одна из ключевых - роль движений глаз в различных образовательных процессах, таких как чтение. Чтение – сложный когнитивный, многоступенчатый процесс, важнейшими компонентами которого является визуальное восприятие текста и извлечение лексической информации. Глазодвигательная активность при этом рассматривается как отражение сложных познавательных процессов, связанных с восприятием текста, его лексическим и семантическим анализом и переработкой информации [1; 3; 15]. Изучение окулomotorной активности важно в связи с широким внедрением в повседневную и образовательную деятельность различных электронных устройств.

---

Контакты: <sup>1</sup> Иванов В.В. – E-mail: <Ronin1024@bk.ru>

Были проведены исследования [7; 13; 16], результаты которых показали, что некоторые характеристики движений глаз при чтении с бумаги и с различных дисплеев различаются, например, длинные строки на экране увеличивают скорость чтения текста, но уменьшают его понимание; более опытные пользователи персональных компьютеров и электронных средств быстрее читают с экрана, а менее опытные - с листа. В тоже время особенности движений глаз при чтении с различных электронных устройств на разных этапах формирования навыка изучены не достаточно.

Пубертатный период характеризуется дисбалансом отдельных звеньев регуляторной системы и снижением коркового контроля [5], которые сопутствуют биологическим перестройкам организма, что проявляется как в виде эмоциональной неустойчивости и неуправляемости, так и в виде снижения работоспособности и адаптационных возможностей в процессе когнитивной и образовательной деятельности.

Целью данного исследования является выявление у подростков 14-15 лет особенностей глазодвигательной активности при чтении текста с электронных устройств, оборудованных разными типами дисплеев.

## ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В исследовании принял участие 31 подросток 14-15 лет (средний возраст –  $14.6 \pm 0.10$ ). 14 человек читали с дисплея TFT, средний возраст  $14.61 \pm 0.15$ , 17 человек с дисплея e-ink, средний возраст  $14.66 \pm 0.14$ . В 8 классе с дисплея TFT читали 8 человек, средний возраст  $14.28 \pm 0.13$ , с дисплея e-ink - 8 человек, средний возраст  $14.13 \pm 0.13$ . В 9 классе с дисплея TFT читали 6 человек, средний возраст  $15.06 \pm 0.19$ , с дисплея e-ink - 9 человек, средний возраст  $15.14 \pm 0.07$ .

Экспериментальная часть исследования основана на бинокулярной регистрации окуломоторной активности при помощи метода видеорегистрации с элементами фотоэлектрического метода на установке Eye gaze Analyzing System фирмы «Interactive Minds». Система состоит из системного блока, жидкокристаллического дисплея на кронштейне, двух особых высокоскоростных камер и специального программного обеспечения. Скорость съемки каждой видеокамеры (частота опроса) составляет 60 Гц. При переменном опросе частота составляет 120 Гц (~1 кадр в 8 мс). Средняя ошибка составляет  $0.45^0$  (0.38 см на экране). Минимальная продолжительность фиксации, регистрируемых установкой – 50 мс. Данная аппаратура позволяет регистрировать макродвижения глаз, расположение точек фиксации, диаметр зрачка и рассчитывать на основе этих данных продолжительность фиксации и амплитуду саккад.

Для реализации цели исследования данная аппаратура была снабжена специально изготовленным дополнительным держателем. Держатель крепился на экран установки. В специальную рамку вставлялась электронная книга или планшетный компьютер. Геометрический центр экрана электронного устройства совпадал с центром экрана установки. Таким образом расположение текста было всегда одинаковым при чтении с различных устройств. Все визуальные характеристики текстов (размер букв, начертание, межстрочный интервал и т.п.) были аналогичными. Чтение проводилось с планшета или ридера, установленного на экране, на черном несветящемся фоне.

Технические характеристики используемых средств для вывода текстовой информации (электронные устройства/книги) представлены в таблице 1.

Таблица 1

*Характеристики дисплеев электронных книг, использованных в исследовании*

<b>Характеристики дисплея</b>	<b>PocketBook 301 Plus</b>	<b>Digma Optima 7303M</b>
Технология	e-ink	TFT
Диагональ (дюйм)	6	7
Яркость (кд/м <sup>2</sup> )	37.9	250-300
Контраст	7.4:1	300:1
Точек на дюйм	167	216
Размер экрана (пкс)	800x600	1280x800
Размер экрана (мм)	121.68x91.26	139x87
Размер букв (мм)	4	4
Тип перелистывание	Нажатие клавиши	Жестом по экрану

Исследование проводилось с каждым ребенком в индивидуальном порядке. Во время исследования, ребенок должен был упираться лбом и подбородком в специальную рамку, которая минимизировала движения его головы во время чтения, поскольку детям исследуемого возраста еще достаточно трудно сохранять неподвижность головы продолжительное время. Ученик усаживался перед установкой, которая подстраивалась под его рост и строение головы таким образом, чтобы его глаза находились как можно ближе к оси, перпендикулярной экрану и выходящей из центра экрана. Расстояние между испытуемым и экраном составляло 45-50 см, что соответствует нормам СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 и обеспечивает достаточный для чтения угловой размер букв (около 0.32° (19.2 угл.мин.)), а также позволяет свободно дотянуться до экрана электронного устройства. После прочтения текста ребенку задавались вопросы по тексту, ответы на которые оценивались по принципу ответил/не ответил. На основании данных ответов оценивалась степень понимания/воспроизведения текста. Средняя продолжительность исследования одного ученика составляла 8-10 минут. Исследование проводили в первой половине дня (с 9 до 13 часов), в период наиболее успешной когнитивной деятельности. Обследование детей проводилось с письменного разрешения родителей.

На основе математико-статистического анализа выявлены основные значимые морфо- и психолингвистические показатели, характеризующие фактор «сложность текста» [6]. Для этого отобран комплекс критериев: количественные характеристики текста и слов, количество лемм и абстракций, процент кратких прилагательных, глаголов в личной форме, местоимений-существительных, сложноподчиненных предложений и сложных предложений, коэффициент Колемана-Лиану, возрастной уровень, необходимый для понимания оцениваемого текста – коэффициент Флеша-Кинкэйда, коэффициент Флеша, скорректированный для русского языка. На основе данных критериев был подобран максимально сложный для данного возраста текст. Значимые морфо- и психолингвистические характеристики текста указаны в таблице 2.

Таблица 2

*Значимые морфо- и психолингвистические свойства текста, используемого в исследовании*

Количество букв в тексте	Количество предложений	Количество слов	Среднее количество слов в предложении	Среднее количество букв в слове	Среднее количество слогов в слове	Среднее количество букв в слоге
1084	11	173	15.73	6.266	2.746	2.23
Количество сложносочиненных предложений	Количество сложноподчиненных предложений	Количество сложных предложений	% сложносочиненных предложений	% сложноподчиненных предложений	% сложных предложений	Количество 3х сложных слов
2	4	3	18.18	36.36	27.27	89
% слов, содержащих 3 и более слога	Количество слогов	Количество лемм	% лемм	Количество абстрактных слов	% абстрактных слов	Коэффициент Колемана-Лиау
51.45	475	114	65.9	13	7.514	19.2
Коэффициент Флеша-Кинкэйда (возраст)	Коэффициент Флеша-Кинкэйда (класс)	Коэффициент Флеша (русский язык)	% существительных	% прилагательных	% местоименных существительных	% глаголов в личной форме
27.94	22.94	4.078	35.26	10.98	7.514	9.249
% причастий	% деепричастий	% инфинитивов	% местоименных предикативов	% местоименных прилагательных	% числительных	% порядковых числительных
1.156	0	0.578	0	7.514	0.578	0.578
% наречий	% предикативов	% предлогов	% союзов	% междометий	% частица	% вводное слово
9.249	0	10.4	2.89	3.468	0	0
% краткое прилагательное	% краткое причастие	Количество символов в тексте				
0.578	0	1294				

Обработка количественных показателей осуществлялась при помощи статистического пакета SPSS 13.0 для Windows. Выявление степени влияния фактора

«сложность текста» осуществлялось при помощи факторного дисперсионного анализа (General Linear Model). Для исследования структуры взаимосвязей показателей окулomotorной активности в процессе чтения текста применялся корреляционный анализ на основе метода ранговой корреляции Спирмана.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Статистический анализ пространственно-временных параметров окулomotorной активности при чтении текста с различных устройств показал, что средние основные характеристики движений глаз составляют: продолжительность прогрессивных фиксаций – 235-240 мс, амплитуда прогрессивных саккад – 2.6-2.7 угл. градуса, амплитуда регрессивных саккад – 2.07-2.11 угл. градуса, процент регрессивных саккад – 7.7-7.9 %, время чтения – 1.4-1.6 минуты, скорость чтения – 12.6-13.3 символа в секунду, количество прогрессивных фиксаций на слово – 1.3-1.5, процент времени перелистывания – 6.7-11.5 %. Анализ коэффициентов вариации продолжительности фиксаций и саккад показал, что вариативность этих показателей больше 30% и характеризуются неоднородностью. Проведенный анализ коэффициентов вариации продолжительности фиксаций и саккад показывает, что при чтении у подростков отсутствует механистичность, характерная для детей на начальном этапе формирования навыка. Скорость лексического доступа и особенности процесса контекстного анализа влияют на продолжительность фиксаций [12, 14], объясняя их широкую вариативность.

Дисперсионный анализ выявил значимое влияние характеристик использованных электронных устройств на такие параметры чтения, как среднее время перелистывания ( $F(1, 29)=24.03, p<0.001$ ) и средний процент времени перелистывания ( $F(1, 29)=12.41, p<0.01$ ). Так среднее общее время перелистывания при чтении с RocketBook с дисплеем, выполненным по технологии e-Ink, составляет  $11.92\pm 0.86$  секунды (11.47% от общего времени чтения), тогда при чтении с планшетного компьютера Digma (TFT технология) это время составило всего  $5.84\pm 0.89$  секунды (6.72 % от общего времени чтения). Влияние типа дисплея электронного устройства на совокупное время чтения имеет тенденциозный характер ( $p<0.1$ ). Корреляционный анализ подтвердил взаимосвязь между типом электронного устройства, средним временем перелистывания ( $r=0.696, p<0.01$ ) и средним процентом времени перелистывания ( $r=0.543, p<0.01$ ).

В тоже время, факторный анализ не выявил статистически значимых различий основных временно-пространственных характеристик окулomotorной активности при чтении с различных электронных устройств. При чтении текста с ридера RocketBook количество фиксаций больше всего на 10-15 %, а продолжительность различных фиксаций находится в пределах статистической ошибки средней.

В ходе рангового корреляционного анализа методом Спирмана были выявлены взаимосвязи между классом, в котором учится испытуемый, и некоторыми характеристиками окулomotorной активности. Так, при чтении текста с планшетного компьютера Digma выявлены сильные корреляции между классом обучения и средним количеством строковых саккад ( $r=0.683, p<0.05$ ), продолжительностью установочных саккад ( $r=-0.859, p<0.05$ ), коэффициентом вариации амплитуды прогрессивных саккад ( $r=-0.609, p<0.05$ ), средним количеством саккад в строко-

вой серии ( $r=0.752$ ,  $p<0.05$ ). При чтении с ридера PocketBook взаимосвязей параметров движений глаз и класса обучения не выявлено.

Факторный анализ выявил влияние класса обучения на следующие показатели окулomotorной активности при чтении текста с экрана, выполненного по технологии TFT (Digma): продолжительность установочных фиксации (F(1, 12)=14.66,  $p<0.01$ ), количество строковых фиксации (F(1, 12)=11.08,  $p<0.01$ ), коэффициент вариации прогрессивных саккад (F(1, 12)=7.53,  $p<0.05$ ), среднее количество фиксации в строковой серии (F(1, 12)=12.13,  $p<0.01$ ).

Таблица 3

*Средние характеристики окулomotorной активности при чтении текста с различных устройств у подростков 8х классов.*

Технология дисплея / Показатель ОА	e-Ink	TFT
	M±m	M±m
Средний балл понимания текста (%)	3.41%±0.02	5.51%±0.02
Среднее количество фиксации	393.50±25.65	342.75±25.09
Средняя амплитуда прогрессивных саккад (в градусах)	2.45±0.17	2.69±0.09
Средняя амплитуда регрессивных саккад (в градусах)	1.98±0.12	2.22±0.12
Среднее количество прогрессивных фиксации	268.00±18.98	229.00±15.13
Среднее количество прогрессивных фиксации на букву	0.25±0.02	0.21±0.01
Среднее количество прогрессивных фиксации на слог	0.56±0.04	0.48±0.03
Среднее количество прогрессивных фиксации на слово	1.55±0.11	1.32±0.09
Средняя продолжительность прогрессивных фиксации (мс)	243.74±6.55	243.87±8.40
Среднее количество регрессивных фиксации	34.88±8.65	31.00±4.89
Средняя продолжительность регрессивных фиксации (мс)	289.05±27.46	268.00±6.64
Среднее количество установочных фиксации	59.00±3.25	57.63±1.99
Средняя продолжительность установочных фиксации (мс)	308.73±16.46	295.10±10.95
Среднее количество строковых фиксации	31.63±6.58	25.13±4.97
Средняя продолжительность строковых фиксации (мс)	194.26±12.24	197.75±4.39
Средний процент регрессов (%)	8.30%±1.45	8.71%±0.88
Среднее время чтения (в мин)	1.66±0.13	1.44±0.11
Средняя скорость чтения (символов в секунду)	11.31±0.73	13.08±0.96
Средний коэффициент вариации продолжительности прогрессивных фиксации (%)	47.57±1.97	48.52±2.09
Средний коэффициент вариации продолжительности регрессивных фиксации (%)	52.20±6.91	42.68±4.61
Средний коэффициент вариации продолжительности строковых фиксации (%)	47.25±10.13	39.23±4.23
Средний коэффициент вариации продолжительности установочных фиксации (%)	38.16±3.42	36.18±2.18
Средний коэффициент вариации амплитуды прогрессивных саккад (%)	57.29±1.68	56.19±1.14
Средний коэффициент вариации амплитуды регрессивных саккад (%)	58.23±4.60	67.38±3.13
Среднее количество саккад в строковой серии	1.52±0.07	1.43±0.07
Среднее совокупное время чтения (с)	111.82±8.04	92.93±6.25
Среднее общее время перелистывания (с)	12.43±1063.46	6.56±13.04
Средний процент общего времени перелистывания (%)	11.37%±0.01	7.51%±0.02

Данные наблюдения дали основание для проведения статистического анализа, выполненного с разбиением учеников на два класса: 8 и 9 (корреляция с возрастом:  $r=0.680-0.842$ ,  $p<0.05$ ). Средние характеристики параметров движений глаз представлены в таблицах 3 и 4.

Для учеников 8 класса обучения отмечены следующие характеристики основных параметров окуломоторной активности: средняя продолжительность прогрессивных фиксаций – 243.74 мс и 243.87 мс (при чтении с PocketBook и Digma, соответственно), средняя амплитуда прогрессивных саккад – 2.45 и 2.69 угловых градуса, средняя амплитуда регрессивных саккад – 1.98 и 2.22 угловых градуса, средний процент регрессивных саккад – 8.3% и 8.71%, средняя скорость чтения – 11.31 и 13.08 символа в секунду, средний процент времени перелистывания – 11.37% и 7.51%, среднее количество всех фиксаций – 393.5 и 342.75, среднее количество прогрессивных саккад на слово – 1.55 и 1.32. В совокупности можно говорить о том, что показатели движений глаз при чтении текста с экрана, выполненного по технологии TFT, на 10% лучше, чем при чтении текста с e-ink дисплея.

Для учеников 9 класса обучения средние характеристики основных параметров окуломоторной активности составляют: продолжительность прогрессивных фиксаций – 236.33 мс и 224.75 мс (при чтении с PocketBook и Digma, соответственно), амплитуда прогрессивных саккад – 2.74 и 2.71 угловых градуса, амплитуда регрессивных саккад – 2.15 и 1.96 угловых градуса, процент регрессивных саккад – 7.47% и 6.45%, скорость чтения – 13.77 и 13.63 символа в секунду, процент времени перелистывания – 11.56% и 5.68 %, среднее количество всех фиксаций – 385.78 и 363.33, количество прогрессивных саккад на слово – 1.44 и 1.32. В среднем показатели движений глаз при чтении текста с экрана, выполненного по технологии TFT, на 8 % лучше, чем при чтении текста с e-ink дисплея.

В тоже время, дисперсионный анализ не выявил статистически значимых различий основных временно-пространственных характеристик окуломоторной активности при чтении с различных электронных устройств. Влияние фактора «Тип экрана» выявлено в 8 классе только на время перелистывания ( $F(1, 14)=12.19$ ,  $p<0.01$ ), влияние на процент времени перелистывания данного фактора имеет тенденциозное значение. В 9 классе отмечено влияние фактора «Тип экрана» на время перелистывания ( $(1, 13)=11.91$ ,  $p<0.01$ ) и процент времени перелистывания ( $F(1, 13)=8.65$ ,  $p<0.05$ ).

Проведенный анализ степени понимания текста при чтении с различных электронных устройств не выявил значимых различий при использовании TFT дисплея и e-ink дисплея. В среднем подростки 14-15 лет понимали и могли воспроизвести 8.38-8.49 % текста. В 8 классе процент понимания текста составил 3.41 %  $\pm 0.02$  при чтении с экрана PocketBook и 5.51 %  $\pm 0.02$  при чтении с экрана Digma. В 9 классе процент понимания текста гораздо выше и составляет 12.80 %  $\pm 0.05$  при чтении с экрана PocketBook и 12.47 %  $\pm 0.06$  при чтении с экрана Digma.

С возрастом скорость и эффективность лексического доступа, интеграции прагматических знаний и уровень репрезентации дискурса повышается. В нашем исследовании таким интегративным показателем является степень понимания текста, которая выше у подростков 14-15 лет, учащихся в 9 классе. При опросе данных учеников отмечены более структурированные ответы на вопросы по стимульному тексту, а не практически полное отсутствие понимания. В данном воз-

расте когнитивное развитие включает в себя два взаимосвязанных процесса: накопление общих и специфических знаний, и развитие компонентов обработки и использования информации. У подростков, владеющих более эффективными методами хранения и актуализации информации, формируются более полные базы знаний [4].

Таблица 4

*Средние характеристики оculoмоторной активности при чтении текста с различных устройств у подростков 9х классов.*

Технология дисплея / Показатель ОА	e-Ink	TFT
	M±m	M±m
Средний балл понимания текста (%)	12.80%±0.05	12.47%±0.06
Среднее количество фиксаций	385.78±51.06	363.33±24.82
Средняя амплитуда прогрессивных саккад (угл. град.)	2.74±0.20	2.71±0.26
Средняя амплитуда регрессивных саккад (угл. град.)	2.15±0.16	1.96±0.18
Среднее количество прогрессивных фиксаций	248.56±34.51	227.50±23.60
Среднее количество прогрессивных фиксаций на букву	0.23±0.03	0.21±0.02
Среднее количество прогрессивных фиксаций на слог	0.52±0.07	0.48±0.05
Среднее количество прогрессивных фиксаций на слово	1.44±0.20	1.32±0.14
Средняя продолжительность прогрессивных фиксаций (мс)	236.33±9.84	224.75±11.17
Среднее количество регрессивных фиксаций	31.67±7.92	23.50±2.54
Средняя продолжительность регрессивных фиксаций (мс)	260.46±15.54	245.45±14.37
Среднее количество установочных фиксаций	63.33±4.98	63.33±4.27
Средняя продолжительность установочных фиксаций (мс)	266.64±12.16	243.00±5.48
Среднее количество строковых фиксаций	42.22±8.00	49.00±4.95
Средняя продолжительность строковых фиксаций (мс)	191.96±9.05	195.32±18.92
Средний процент регрессов (%)	7.47%±0.96	6.45%±0.60
Среднее время чтения (в мин)	1.58±0.26	1.35±0.09
Средняя скорость чтения (символов в секунду)	13.77±1.99	13.63±0.81
Средний коэффициент вариации продолжительности прогрессивных фиксаций (%)	46.51±3.06	47.66±3.38
Средний коэффициент вариации продолжительности регрессивных фиксаций (%)	46.66±3.86	54.91±11.46
Средний коэффициент вариации продолжительности строковых фиксаций (%)	47.55±7.77	42.27±6.10
Средний коэффициент вариации продолжительности установочных фиксаций (%)	32.16±1.62	33.45±2.60
Средний коэффициент вариации амплитуды прогрессивных саккад (%)	51.37±2.15	51.11±1.52
Средний коэффициент вариации амплитуды регрессивных саккад (%)	62.22±6.35	66.69±5.80
Среднее количество саккад в строковой серии	1.64±0.09	1.78±0.07
Среднее совокупное время чтения (с)	106.35±16.37	85.94±5.31
Среднее общее время перелистывания (с)	11.46±1.35	4.87±1.13
Средний процент общего времени перелистывания (%)	11.56%±0.01	5.68%±0.01

Анализ пространственно-временных характеристик оculoмоторной активности при чтении текстов с дисплеев различных электронных устройств показал, что



чтение с дисплея, выполненного по технологии TFT характеризуется меньшим количеством саккад, сниженной на 8-10 % продолжительностью фиксации, меньшим на 50 % временем, затрачиваемым на процесс перелистывания страницы.

Существуют основные типы экранов электронных устройств для чтения: жидкокристаллические (TFT) экраны на тонкопленочных резисторах; экраны на технологии электронных чернил (e-ink). В отличие от традиционных плоских жидкокристаллических экранов (TFT), в которых используется просвет матрицы для формирования изображения, электронная бумага (e-ink) формирует изображение в отражённом свете как обычная бумага. Физиологических различий при чтении с бумажного носителя и с электронного устройства нет. Отличается в основном только принцип организации перелистывания страниц. При использовании сенсорного TFT экрана смена слайда текста происходит при помощи скользящего движения пальца по поверхности устройства. При использовании e-ink ридера – смена слайда осуществляется при нажатии соответствующей клавиши в зоне управления устройством. Процесс нажатия клавиши, согласно анализу движений глаз при чтении с e-ink дисплея (PocketBook), составляет 40-50% времени, которое тратится при смене страницы. При чтении с экрана Digma (TFT дисплей) подросток не отвлекается на визуальный поиск органов управления, основные саккадические движения глаз носят ориентировочный и контролирующий смену слайда характер, а также и осуществляются для поиска начала нового текстового блока.

В проведенное у подростков [7] исследование движений глаз при чтении с трех различных носителей информации: бумаги, персонального компьютера и ридера выявило наличие затруднения при чтении с экрана устройства, выполненного по технологии e-ink по сравнению с листом бумаги, проявляющееся в относительном увеличении соотношения количества реверсивных и прогрессивных саккад. Результаты, полученные авторами работы, свидетельствуют о том, что чтение с экрана электронного устройства с e-ink дисплеем вызывает у подростков ряд физиологических изменений, свидетельствующих о более высокой физиологической стоимости его использования по сравнению с бумажным носителем. Сопоставление общего количества саккад при чтении с разных носителей выявило их наибольшее количество при использовании TFT-дисплея, что свидетельствует о большей трудности восприятия текста и более выраженном утомлении мышц глаза при чтении с этого электронного устройства. В тоже время, эффект утомления глаз и увеличения количества саккадических движений начинал проявляться после прочтения с TFT-дисплея более 3-4 тысяч символов. В нашем исследовании количество символов с пробелами составило всего 1.3 тысячи, поэтому отмечено обратное наблюдение, когда количество саккад было выше при чтении текста с экрана PocketBook (e-ink дисплей).

Работа с TFT дисплеем приводит к перенапряжению зрительной системы, вызывает негативные сдвиги в нервно-эмоциональном состоянии, потому как развитие зрительной системы происходило под действием отраженного света. Неестественным для зрительной системы является долгое сокращение аккомодационной мышцы при чтении с яркого экрана – такая деятельность требует расслабления аккомодации при изменении фиксационной точки [9]. Условия освещения существенно влияют на чувствительность визуального восприятия и, в частности, при различении букв [10]. Следовательно, продолжительное чтение на TFT-дисплее

вызывает в большую усталость глаз, чем на устройстве с дисплеем e-ink или с листа бумаги [11]. Неудачные сочетания цвета символов и фона также вызывают зрительное напряжение при чтении [8]. Как отмечено в исследованиях [2], напряжение зрительного анализатора способствует также появлению головной боли, увеличивает частоту и продолжительность заболеваний, связанных с нарушением кровообращения и тонуса стенок сосудов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основное различие между чтением с различных электронных устройств заключается в различной скорости процесса перелистывания страниц текста, который в 2 раза дольше при использовании устройства с дисплеем, выполненным по технологии e-ink.

Различия в параметрах окуломоторной активности у подростков 14-15 лет при чтении с различных электронных устройств не значительны, однако имеют тенденцию к различению при группировке детей по разным классам обучения. При этом ученики 9 класса обладают лучшими показателями глазодвигательной активности при чтении с TFT дисплея. В тоже время данные подростки, по сравнению с восьмиклассниками, лучше понимают представленный текст.

В случае использования в образовательных задачах небольших текстов (1500-2000 символов), можно подавать информацию на различных электронных устройствах, выполненных как по технологии e-ink, так и по технологии TFT. Однако, в случае необходимости достаточно продолжительного чтения следует использовать бумажный носитель или устройство, оборудованное высоко контрастным e-ink дисплеем.

***Благодарности.** Автор выражает искреннюю благодарность д. псих. н., профессору В.А. Барabanщикову и к. псих. н., доценту А.А. Демидову за помощь в техническом обеспечении исследования.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барabanщиков, В.А. Окуломоторные структуры восприятия. / В.А. Барabanщиков. – М.: Издательство "Институт психологии РАН", 1997. – 384 с.
2. Баранов, А.А., Кучма, В.Р., Текшева, Л.М. Чтение, компьютер и здоровье / А.А. Баранов, В.Р. Кучма, Л.М. Текшева // Вопросы современной педиатрии. – 2008. – № 1. Т.7. – С. 21-25.
3. Белопольский, В.И. Взор человека. Механизмы, модели, функции. / В.И. Белопольский/ – М: Институт психологии РАН, 2007. – 415 с.
4. Грэйс, К. Психология развития / К. Грэйс. – СПб.: Питер, 2001. – 992 с.
5. Дубровинская, Н.В. Психофизиология ребенка: Психофизиологические основы детской валеологии: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Н.В. Дубровинская, Д.А. Фарбер, М.М. Безруких. – М.: Гуманит. изд. центр ВЛАДОС, 2000. – 170 с.
6. Иванов, В.В. К вопросу о возможности использования лингвистических характеристик сложности текста при исследовании окуломоторной активности

при чтении у подростков / В.В. Иванов // Новые исследования. – 2013. – №1 (34). – С. 42-50.

7. Кучма, В.Р. и др. Особенности восприятия информации с электронного устройства для чтения (ридера) / В.Р. Кучма, Л.М. Текшева, О.А. Вятлева, А.М. Курганский // Вопросы школьной и университетской медицины. – 2012. – № 1. – С. 39-46.

8. Новикова, Ю.В. Психофизиологические особенности восприятия печатного текста при разных цветовых сочетаниях символов и фона / Ю.В. Новикова // Международный студенческий научный вестник. – 2016. – №4. – С. 299-301.

9. Тарасов, Д.А. Зрение и чтение: монография / Д.А. Тарасов // Екатеринбург: УрФУ, 2015. – 76 с.

10. Aparicio, J.A. et al. Quantitative and functional influence of surround luminance on the letter contrast sensitivity function / Aparicio J.A., Arranz I., Matesanz B.M., Vizmanos J.G., Padierna L., Gonzalez V.R., Mar S., Menendez J.A., Issolio L. // *Ophthalmic and physiological optics*. – 2010. – № 30. – P. 188-199.

11. Benedetto, S. et al. E-readers and visual fatigue / S. Benedetto, V. Draï-Zerbib, M. Pedrotti, G. Tissier, T. Vaccino // *PLoS One*. – 2013. – №8 (12). – Режим доступа: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3873942>, свободный.

12. Blythe, H.I. The uptake of visual information during fixations in reading in children and adults / H.I. Blythe, S.P. Liversedge, H.S.S.L. Joseph, S.J. White, K. Rayner // *Vision Research*. – 2009. – Vol. 49. – P. 1583-1591.

13. Dyson, M.C., Haselgrove, M. The influence of reading speed and line length on the effectiveness of reading from screen / M.C. Dyson, M. Haselgrove // *International Journal of Human Computer Studies*. – 2001. – Vol. 54(4). – P.585-612.

14. Paterson, K.B., McGowan, V.A., Jordan, T.R. Eye Movements Reveal Expects of Visual Content on Eye Guidance and Lexical Access during Reading / K.B. Paterson, V.A. McGowan, T.R. Jordan // *PLoS ONE*. – 2012. – Vol. 7(8). – P. 1-11. Режим доступа: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0041766>, свободный.

15. Rayner, K. Eye movements in Reading and Information Processing: 20 Years of Research / K. Rayner // *Psychological Bulletin*. – 1998. – Vol. 124/3. – P. 372-422.

16. Siegenthaler, E., Wurtz, P., Groner, R. Improving the Usability of E-Book Readers / E. Siegenthaler, P. Wurtz, R. Groner // *Journal of usability studies*. – 2010. – Vol. 6, Issue 1. – P.25-38.

## REFERENCE

1. Barabanshnikov, V.A. Okulomotornye struktury vospriyatija. / V.A. Barabanshnikov. – М.: Izdatel'stvo "Institut psihologii RAN", 1997. – 384 s.

2. Baranov, A.A., Kuchma, V.R., Teksheva, L.M. Chtenie, komp'yuter i zdorov'e / A.A. Baranov, V.R. Kuchma, L.M. Teksheva // *Voprosy sovremennoj pediatrii*. – 2008. – № 1. Т.7. – P. 21-25.

3. Belopol'skij, V.I. Vzor cheloveka. Mehanizmy, modeli, funkcii. / V.I. Belopol'skij/ – М: Institut psihologii RAN. – 2007a. – 415 s.

4. Grjejs, K. Psihologija razvitija / K. Grjejs // SPb.: Piter, 2001. – 992 s.

5. Dubrovinskaja, N.V. Psihofiziologija rebenka: Psihofiziologicheskie osnovy detskoj valeologii: Ucheb. posobie dlja stud. vyssh. ucheb. zavedenij / N.V. Dubrovinskaja, D.A. Farber, M.M. Bezrukih. – М.: Gumanit. izd. centr VLADOS, 2000. - 170 s.

6. Ivanov, V.V. K voprosu o vozmozhnosti ispol'zovanija lingvisticheskikh harakteristik slozhnosti teksta pri issledovanii okulomotornoj aktivnosti pri chtenii u podrostkov / V.V. Ivanov // *Novye issledovanija*. – 2013. – №1 (34). – P. 42-50.

7. Kuchma, V.R. i dr. Osobennosti vosprijatija informacii s jelektronnogo ustrojstva dlja chtenija (ridera) / V.R. Kuchma, L.M. Teksheva, O.A. Vjatleva, A.M. Kurganskij // *Voprosy škol'noj i universitetskoj mediciny*. – 2012. – № 1. – P. 39-46.

8. Novikova, Ju.V. Psihofiziologicheskie osobennosti vosprijatija pechatnogo teksta pri raznyh cvetovyh sochetanijah simbolov i fona / Ju.V. Novikova // *Mezhdunarodnyj studencheskij nauchnyj vestnik*. – 2016. – №4. – P. 299-301.

9. Tarasov, D.A. Zrenie i chtenie: monografija / D.A. Tarasov // Ekaterinburg: UrFU, 2015. – 76 s.

# УСПЕШНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ ЗРИТЕЛЬНО-ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ЗАДАЧ РАЗЛИЧНОЙ СЛОЖНОСТИ ДЕТЬМИ, ПОДРОСТКАМИ И ВЗРОСЛЫМИ

А. В. Хрянин<sup>1</sup>

ФГБНУ «Институт возрастной физиологии  
Российской академии образования», Москва

Целью настоящего исследования являлось изучение сложности обработки зрительных образов в разном возрасте. В психофизиологическом эксперименте дети 7–8, 9–10 лет, подростки 13–14 лет и взрослые испытуемые решали зрительно-пространственные задания, в которых требовалось найти идентичное образцу целевое изображение среди похожих изображений-дистракторов. Стимулами являлись геометрические фигуры и китайские иероглифы. Регистрировалось количество ошибок для каждого типа заданий. Полученные результаты позволяют сравнить успешность зрительно-пространственной деятельности разной сложности испытуемыми разного возраста и пола.

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

*Assessment of visuospatial processing in children, adolescents and adults. We studied the difficulty of visual images processing in the visual search tasks depending on the age of the participants. 7–8, 9–10-year-old children, 13–14-year-old adolescents, and adults participated in the psychophysiological experiment and performed match-to-sample tasks. The task consisted in matching the series of 5 stimuli simultaneously shown on the screen to the target one. The stimuli, complex geometrical objects and Chinese characters, were specially designed for the task. The error rates were calculated separately for each type of the task. The results showed the age and sex differences in accuracy of visuospatial tasks performance.*

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

В постоянно изменяющейся окружающей среде обязательным условием эффективного взаимодействия с ней является быстрота обработки и интерпретации зрительных образов, которые появляются одновременно и быстро сменяют друг друга. Обработка информации в зрительной системе всегда включает зрительно-пространственные операции, в результате которых определяется взаиморасположение отдельных объектов в окружающем пространстве. Сложная многоуровневая зрительная система быстро и эффективно производит анализ целостного образа, его формы, ориентации в пространстве, взаимного расположения его отдельных элементов. При этом происходит дифференцировка сходных объектов, выделение их из зрительного шума. Зрительное восприятие и связанная с ним когнитивная деятельность делает возможной оптимальную адаптацию во внешней среде, обеспечивая целенаправленную деятельность и поведение человека.

---

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

Существуют разные подходы к анализу зрительного восприятия и различные гипотезы, объясняющие этот сложный когнитивный процесс

Предполагается, что одни конфигурации контуров легче обнаруживать, чем другие. При этом контекстные контуры, сами по себе не заключающие целевой информации, могут значительно влиять на эффективность обработки зрительных образов. Когда контекстные контуры сочетаются с целевыми линиями, то появляются признаки, которые выделяются в большей степени, чем их составные части по отдельности, и это облегчает зрительный поиск. Такое явление получило название «эффекта превосходства конфигурации» [14; 15]. Лин Чен предложил интересную гипотезу, согласно которой наблюдатели должны быть наиболее чувствительны к тем элементам в структуре объекта, которые остаются инвариантными при максимально возможном количестве трансформаций. Проще всего обнаруживаются такие изменения формы, которые выражаются в изменениях соединений контуров или количества пустот в объекте, остающихся инвариантными во всех возможных топологических преобразованиях [10].

Следующими по простоте нахождения отличий в изменённых формах будут инвариантные признаки, выраженные в том, представляет ли собой контур прямую или кривую линию.

Обнаруживать отличия по этим признакам, в свою очередь, проще, чем находить, являются ли инвариантные пары контуров параллельными или нет.

И наименее стабильными для выделения являются такие признаки, как относительная длина различно ориентированных контуров.

Данную гипотезу можно соотнести с иерархией геометрий Клейна, которая рассматривает свойства фигур, не меняющиеся при рассматриваемых преобразованиях.

Одна из возможных причин, по которым работа зрительной системы направлена на выделение инвариантных признаков в изменяемых образах, – облегчение константности восприятия формы. Это свойство может быть особо значимо в естественной среде, где человек постоянно сталкивается с неизбежным искажением предметов при оптическом проецировании трёхмерных объектов в двухмерные. Такие инварианты как связанные паттерны контуров, противопоставление прямых и кривых, параллельных и непараллельных линий – важные источники информации при опознании объектов [18]. Тодд с коллегами нашли подтверждение гипотезе Чена по результатам экспериментов, в которых использовались модели MTS (match-to-sample).

Виткин с соавторами [13] на основе иллюзорного восприятия вертикальных линий как наклонных, если они расположены в наклонной рамке, выделили два типа людей: полезависимых и полenezависимых. Полезависимые в большей степени зависимы от контекстной информации, присутствующей в зрительном образе, и с большим трудом выделяют часть из целого. Полenezависимые, напротив, способны лучше концентрироваться на деталях образа, игнорируя при этом контекстную информацию.

Однако исследования Уолтера и Дассонуилла [19] показывают отрицательные корреляции результатов выполнения зрительных задач EFT (embedded figures tasks) с восприимчивостью к иллюзиям визуального контекста (эффекта Рулофса), в которых положение целевого объекта наклоняется в зависимости от наклона

подсвеченной рамки вправо или влево от среднесагиттальной плоскости наблюдателя.

В научной литературе имеются данные о возрастных особенностях обработки зрительной информации при выполнении заданий на идентификацию изображения при сравнении с эталоном (match-to-sample tasks). Результаты нейрофизиологических исследований свидетельствуют, что дети, подростки и взрослые используют одинаковый механизм для идентификации и выбора целевого стимула, однако дети затрачивают больше времени на данный процесс, вероятно, вследствие возрастной нейрокогнитивной незрелости.

Существуют нейрофизиологические доказательства того, что эффективность зрительных селективных процессов возрастает в детском и подростковом возрасте. Селективные механизмы включаются в функционирование зрительной системы при выполнении задач на внимание не только у взрослых, но и у детей [9].

Результаты исследований Шими с соавторами [7] показали, что дети 10 лет демонстрируют задержку при опознании целевого стимула, требуя больше времени для его идентификации.

В исследовании Баррига-Паулино [11] показано, что 6–7-летние дети требуют больше времени для обработки релевантного стимула, чем дети 8–9 и 10–13 лет. Параметры ССП в этих исследованиях также могут быть отражением того, что более старшие дети способны с большей эффективностью исключать или отфильтровывать иррелевантную информацию при обработке зрительных стимулов. Приобретение навыка концентрации внимания или исключения нежелательной информации может характеризовать развитие изменений в избирательном внимании на разных возрастных этапах [16].

Таким образом, вопросы, связанные со сложностью обработки зрительных образов и её возрастными особенностями остаются открытыми, дискуссионными и актуальными в современной возрастной физиологии и психофизиологии. Это определило цель и задачи настоящего исследования. Целью являлось изучение сложности обработки зрительных образов в разном возрасте. Задачи заключались в сравнительном анализе успешности выполнения зрительно-пространственных заданий различного сложности детьми 7–8, 9–10 лет, подростками 13–14 лет и взрослыми.

## **ОРГАНИЗАЦИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

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. Целевой (таргетный) стимул во время выполнения задания экспонируется в центре экрана. Под ним находится ряд из пяти стимулов, среди которых один идентичен целевому, другие отличаются пространственным положением одного или нескольких элементов, составляющих изображение. Одинаковые изображения в ряду отсутствуют.

Первый тип стимулов («F») предъявляет собой сочетания пяти простых геометрических фигур: круга, овала, треугольника, прямоугольника и квадрата. Все фигуры расположены отдельно друг от друга. Стимулы отличаются взаиморасположением фигур и углом поворота целого изображения на 30, 60 и 90° в обе стороны. Дистракторы различаются только пространственным положением фигур (рис. 1).

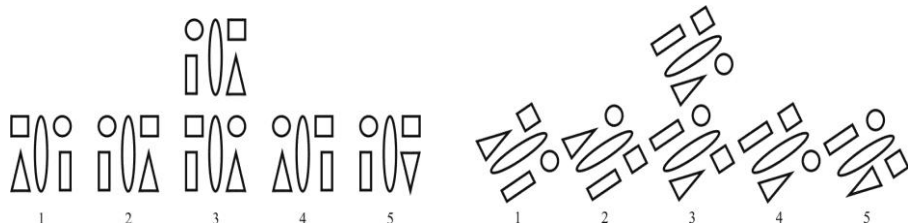


Рис.1. Примеры заданий со стимулами "F"

Стимулы второго 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 pxl. Стимулы этого типа различаются также углом поворота фигуры относительно центра на 20, 40, 60 и 90° в обе стороны (рис. 2).

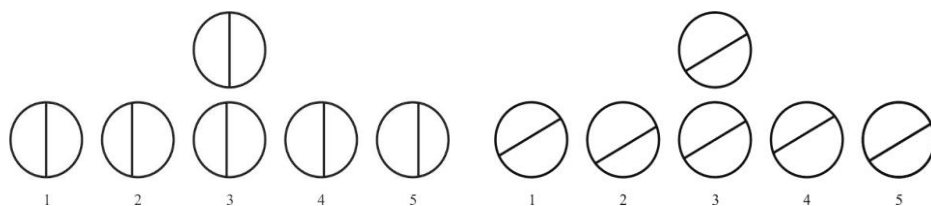
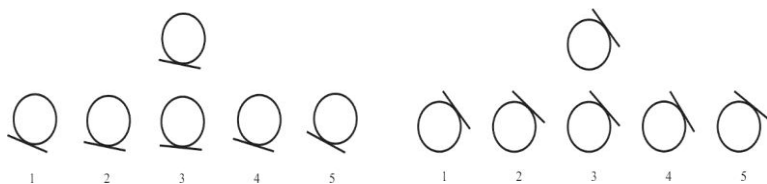


Рис. 2. Примеры заданий со стимулами "С"

Дистракторы отличаются от целевого стимула только смещением разделительной линии.

Третий тип стимулов («CL») – окружность с линией, представляющей собой отрезок касательной прямой. 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 координат на плоскости. Дистракторы также отличаются от целевого стимула только углом поворота, который составляет от 5 до 15° (рис. 3).





**Рис. 3. Примеры заданий со стимулами "CL"**

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, 4, 8]. Аналогичные задания используются при диагностике когнитивного стиля с использованием теста MFFT Дж. Кагана [12].

Иероглифы традиционно считаются изображениями высокой сложности и используются исследователями в качестве зрительных стимулов [2, 3]. Для людей, использующих в письме и чтении алфавит, иероглифы 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 "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.

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.

Стимул каждого типа использовался в 30 пробах. Таким образом, эксперимент включал всего 120 проб. Одинаковых заданий не было.

Все стимулы предъявлялись в случайном порядке.

Анализировалось количество ошибочных ответов или их отсутствие (ответ «не знаю»). Если ответ был дан после завершения экспозиции, то он также фиксировался.

В исследовании приняли участие 80 испытуемых разных возрастных групп: дети 7–8, 9–10 лет, подростки 13–14 лет и взрослые в возрасте от 18 до 50 лет. Контингент возрастно-половой группы составляли 10 человек. Все дети и подростки – учащиеся ГБОУ г. Москвы «Лицей № 138». Взрослые – студенты, преподаватели и научные сотрудники. Никто из испытуемых не изучал китайский или другие языки, в которых используются иероглифы.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Сравнительный анализ ответов испытуемых выявляет существенные различия в качестве выполнения заданий различных типов.

Во всех возрастных группах наиболее простыми оказались задания с поиском одинакового расположения сгруппированных простых геометрических фигур («F»). Изображения знакомых, легко называемых образов проще обрабатываются в зрительной системе, что облегчает операции по идентификации их взаиморасположения. Количество ошибок у детей 7–8 лет для этих заданий составил  $16,52 \pm 1,41$  %, в 9–10 лет он составил  $6,67 \pm 1,02$  %, в 13–14 лет –  $4,17 \pm 0,82$  %, у взрослых –  $5,56 \pm 0,99$  % (рис. 5).

Следующими по уровню сложности являются задания с разделённым кругом («C»). Доля невыполненных заданий этого типа среди детей 7–8 лет составила  $43,91 \pm 1,89$  %, среди 9–10-летних –  $35,00 \pm 1,95$  %, 13–14-летних –  $29,50 \pm 1,86$  %, у взрослых –  $21,85 \pm 1,78$  %.

Ещё более сложными заданиями были те, где требовалось идентифицировать угол наклона касательной («CL»). В группе 7–8 лет не выполнено  $65,94 \pm 1,8$  % заданий, в группе 9–10 лет –  $56,17 \pm 2,03$  %, в 13–14 –  $49,83 \pm 2,04$  %, взрослыми –  $42,41 \pm 2,13$  %.

Сложность заданий в категории «CL» может быть связана с восприятием сочетаний контуров, создающих эффект зрительной иллюзии, и касательная в целевом стимуле, параллельная с таковой в эталоне, воспринимается как наклонная к

ней. Оценивая успешность выполнения данного типа заданий, вероятно, можно говорить об эффекте интерференции дистракторов [5, 6, 17].

Наиболее сложным типом зрительно-пространственных задач является идентификация иероглифа («Cha»). Поиск различий в пространственном расположении большого количества мелких деталей, не являющихся вербализуемыми значимыми геометрическими фигурами, в условиях дефицита времени требует значительной нагрузки на селективное зрительное внимание. При выполнении таких заданий было допущено максимальное количество ошибок, во многих пробах ответ не был получен. Полученные результаты подтверждают данные более раннего нашего исследования с использованием указанных стимулов, в котором участвовали взрослые испытуемые [6].

Дети 7–8 лет неверно ответили или не дали ответа в  $70,43 \pm 1,74$  % проб, 9-10 лет – в  $63,67 \pm 1,96$  %, 13-14 – в  $55,00 \pm 2,03$  %, взрослые – в  $52,04 \pm 2,15$  % проб.

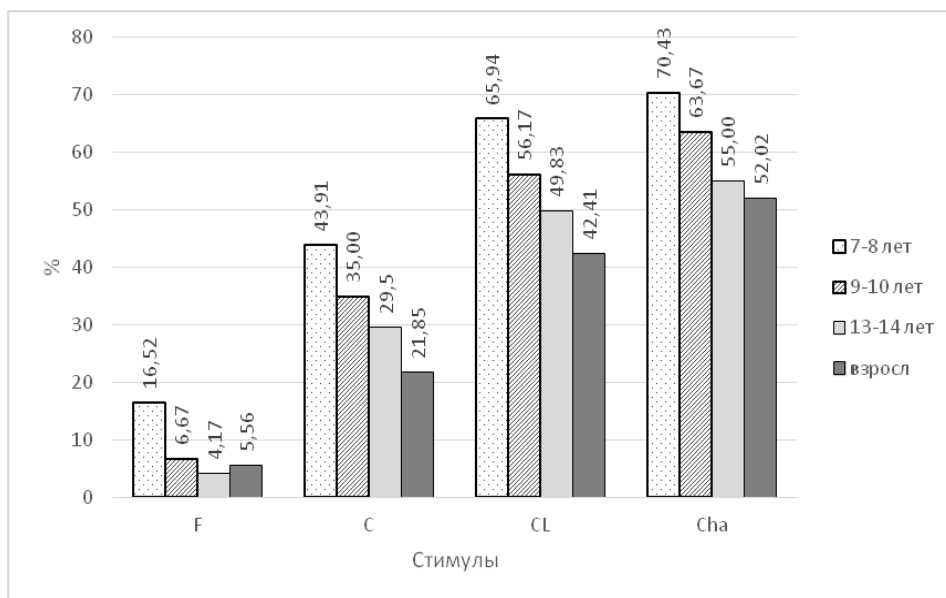


Рис. 5. Количество невыполненных заданий с разным типом стимулов (в %) детьми разного возраста и взрослыми.

Различия в успешности выполнения заданий разных типов во всех возрастных группах по критерию Вилкоксона значимы на уровне  $p < 0,01$ . Исключением является сравнение пары «CL» – «Cha» в группе 13-14 лет. Различия в количестве ошибок при выполнении данных заданий подростками не являются статистически значимыми ( $p = 0,078$ ).

Как видно из диаграммы на рисунке 5, с возрастом качество выполнения зрительно-пространственных заданий разных типов возрастает.

Расчёт критерия Манна-Уитни для двух независимых выборок показывает значимые ( $p \leq 0,01$ ) различия в выполнении заданий «F» детьми 7–8 лет по сравнению с испытуемыми остальных возрастных групп, количество невыполненных заданий в которых значимо не различается ( $p > 0,05$ ) (рис.5). Это свидетельствует о том, что такие задания представляют для детей 7–8 лет гораздо большую трудность, чем для детей 9 лет и старше. Относительно низкое качество выполнения заданий с комбинациями простых геометрических фигур детьми 7–8 может быть связано с возрастной несформированностью у них механизмов селективного зрительного внимания.

Значимые различия в выполнении заданий «С» выявляются между группой 7–8 лет и остальными ( $p < 0,001$ ), а также между детьми 9–10 лет и взрослыми ( $p < 0,01$ ) и между подростками и взрослыми ( $p < 0,05$ ).

Для заданий «CL» значимые различия в качестве выполнения выявлены только между детьми 7–8 и 9–10 лет, и между детьми 9–10 лет и взрослыми ( $p < 0,01$ ).

Задания с иероглифами дети 7–8 лет выполняют хуже остальных испытуемых, что подтверждается статистически. В сравнениях с детьми 9–10 различия значимы на уровне  $p < 0,05$ , а в сравнении с другими возрастными группами – на уровне  $p < 0,001$ .

Статистические значимо отличаются показатели качества выполнения этих заданий детьми 9–10 лет от таковых у подростков и взрослых ( $p < 0,01$ ). При этом подростки и взрослые выполняют задания этого типа с одинаковой успешностью (рис. 5).

Таким образом, выявляется следующая закономерность. Для самых простых и самых сложных заданий наиболее существенно отличаются показатели успешности у детей 7–8 лет, в то время как между подростками и взрослыми статистически подтверждаемые различия отсутствуют.

Также следует отметить, что, если для заданий типа «С» различия в их выполнении подростками и взрослыми значительны, то для более сложных заданий «CL» уровень таких различий снижается и статистически они не подтверждаются. То есть чем больше возраст и сложнее задание, тем меньше возрастных различий в эффективности их выполнения в условиях ограниченного времени. Исключение составляют пробы типа «F», представляющие сложность только для детей 7–8 лет.

Для сравнения успешности выполнения заданий испытуемыми разного пола использовались критерии Манна-Уитни и  $\chi^2$ . В ряде случаев сравнения выявлены статистически значимые различия (рис. 6–9).

В 7–8 лет по критерию  $\chi^2$  у мальчиков и девочек значимо различается доля невыполненных заданий с сочетаниями геометрических фигур ( $p < 0,01$ ). У мальчиков процент таковых составляет  $20,61 \pm 2,23$  %, а у девочек –  $12,78 \pm 1,76$  %. Задания с разделённым кругом мальчики также выполняют хуже. Количество невыполненных заданий этого типа у них  $49,09 \pm 2,75$  %, а у девочек –  $39,17 \pm 2,57$  % ( $p < 0,01$ ). Задания типа «CL» оказались для мальчиков этой возрастной группы менее сложными ( $63,64 \pm 2,65$  %), чем для девочек ( $68,06 \pm 2,46$  %). Значимость данных различий определяется по критерию Манна-Уитни и находится на уровне  $p = 0,032$  (рис. 6).

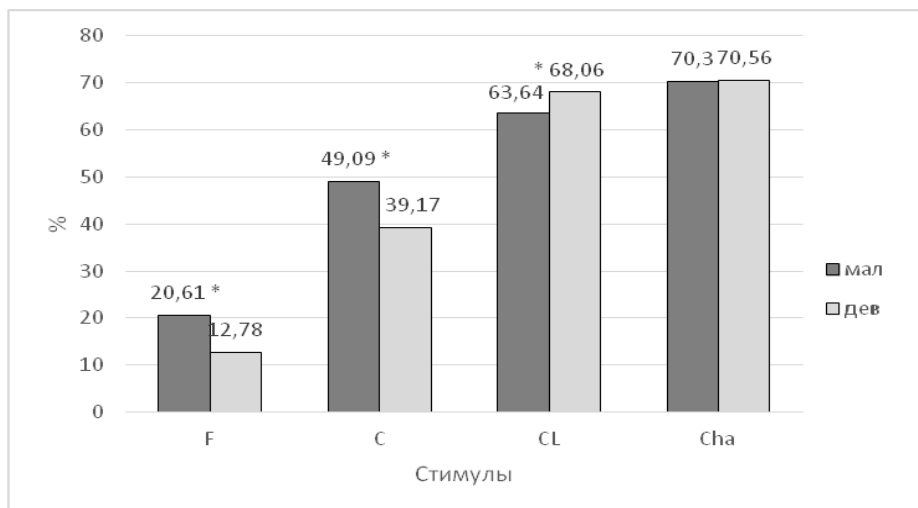


Рис. 6. Количество невыполненных заданий с разным типом стимулов (в %) детьми 7–8 лет. \* – различия значимы на уровне  $p < 0,05$

В 9–8 лет значимых различий в выполнении зрительно-пространственных задач мальчиками и девочками не выявлено. Однако на диаграмме (рис. 7) наблюдается тенденция в виде меньшего процента нерешённых заданий первых двух типов у девочек, отмеченная в более младшей группе испытуемых.

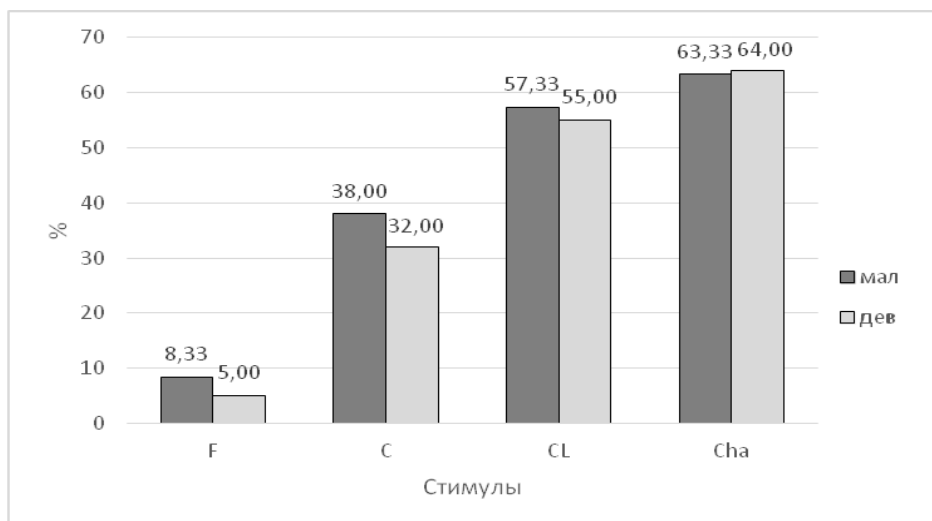


Рис. 7. Количество невыполненных заданий с разным типом стимулов (в %) детьми 9–10 лет.

В 13–14 лет значимая разница в эффективности зрительно-пространственной деятельности у мальчиков и девочек отмечена только для заданий с иероглифами ( $p = 0,01$  по критерию Манна-Уитни). Мальчики не справились с заданиями в  $61,00 \pm 2,82$  % проб, девочки – в  $49,00 \pm 2,89$  % (рис. 8).

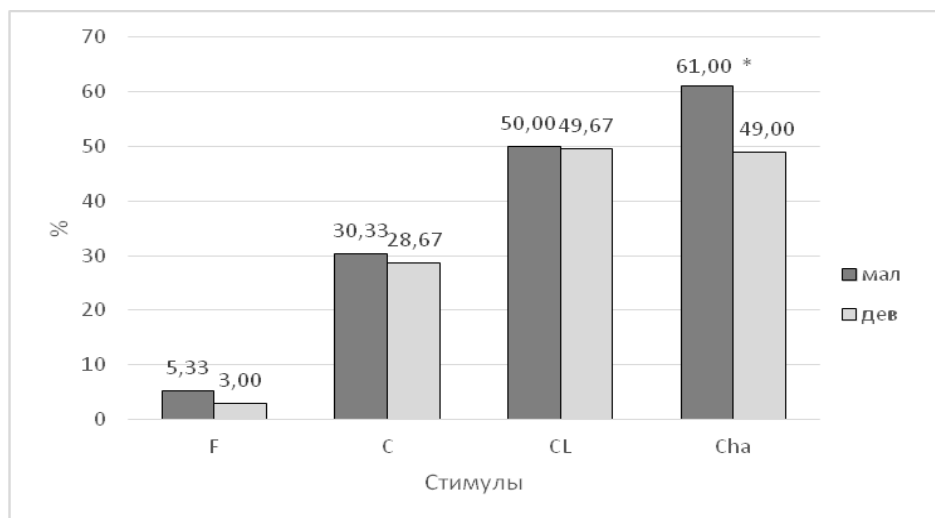


Рис. 8. Количество невыполненных заданий с разным типом стимулов (в %) детьми 13–14 лет. \* – различия значимы на уровне  $p < 0,05$

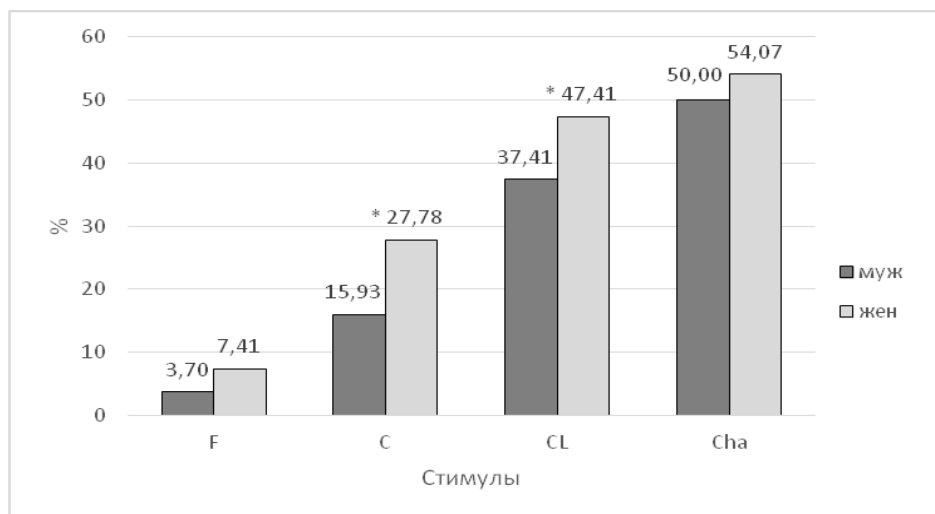


Рис. 9. Количество невыполненных заданий с разным типом стимулов (в %) взрослыми испытуемыми. \* – различия значимы на уровне  $p < 0,05$

В группе взрослых значимые половые различия в выполнении заданий отмечены для стимулов «С» и «CL». При идентификации стимулов типа «С» и «CL»

мужчинами не выполнено  $15,93 \pm 2,23$  % и  $37,41 \pm 2,94$  % заданий соответственно; женщинами –  $27,78 \pm 2,73$  % и  $47,41 \pm 3,04$  % ( $p < 0,05$ ) (рис. 9). При этом, как видно из диаграммы на рис. 9, можно отметить более высокие показатели качества зрительно-пространственной деятельности у мужчин, хотя для стимулов «F» и «CL» эти различия не подтверждаются статистически.

## ВЫВОДЫ

1. Успешность идентификации зрительных образов с возрастом закономерно возрастает, что свидетельствует о повышении уровня сформированности механизмов обработки образов в зрительной системе и избирательного зрительного внимания. Нахождение одинаково сгруппированных геометрических фигур представляет сложность только для детей 7–8 лет. При этом с усложнением поиска эталонного стимула (от «С» к «Cha») уменьшаются различия в успешности идентификации между подростками и взрослыми.

2. Во всех исследуемых возрастных группах наблюдается следующая градация сложности идентификации образов в соответствии с её возрастанием: группа простых геометрических фигур («F»), разделённый круг («С»), окружность с касательной («CL»), иероглиф («Cha»).

3. Отмечены половые различия в эффективности идентификации стимулов испытуемыми разного возраста. В большей степени такие различия выражены в 7–8 лет. Мальчики этого возраста лучше справляются с заданиями типа «CL», девочки – с заданиями «F» и «С». В 13–14 лет девочки более успешно осуществляют поиск идентичных иероглифов, чем мальчики. В 9–10 половые различия в успешности выполнения используемых заданий отсутствуют.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Безруких, М.М., Морозова. Л.В. Методика комплексной диагностики зрительного восприятия у детей 5,0–7,5 лет. – Ульяновск, 1994. – 58 с.
2. Бондарко, В. М., Голузина А.Г., Данилова М.В, Чихман В.Н., Шелепин Ю.Е. Оценка сложности зрительных изображений//Сенсорные системы. – 2003. – Т. 17, № 3. – С. 83-90.
3. Дирингер, Д. Алфавит. – М.: Изд-во иностр. лит., 1963.
4. 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; Ин-т возрастной физиологии. – М., 2001. – 203 с.
5. Уточкин, И.С. Эффект дистрактора в перцептивных задачах / Психологический журнал. – 2010. – Т. 31, № 3. – С. 25-32.
6. Хрянин, А. В., Безруких, М. М Сложность обработки образов в условиях зрительного поиска в зависимости от элементов, составляющих целое изображение //Новые исследования. – 2015. – № 4(45). – С. 58-73.
7. Age group and individual differences in attentional orienting dissociate neural mechanisms of encoding and maintenance in visual STM // A. Shimi [et al.] //J. Cogn. Neurosci. – 2014. – V. 26. – P. 864–877.

8. Bender, L. A Visual Motor Gestalt Test and its clinical use // Research Monograph, No.3, American Orthopsychiatric Association. – 1938.
9. Cerebral event-related potentials associated with selective attention to color: developmental changes from childhood to adulthood / O. van der Stelt [et al.] // Psychophysiology. – 1998. – V. 35. – P. 227–239.
10. Chen, L. The topological approach to perceptual organization / L. Chen // Visual Cognition. – 2005. – V. 12. – P. 553–637.
11. Electrophysiological Evidence of a Delay in the Visual Recognition Process in Young Children / C. I. Barriga-Paulino [et al.] // Frontiers in Human Neuroscience. – 2015. – V. 9, N 622
12. Kagan, J. Matching Familiar Figures Test (MFFT) / J. Kagan, Salkind N. J. – 1965.
13. Personality through perception / H. A. Witkin, H. B. Lewis, M. Hertzman, K. Machover, P. B. Meissner, et al. – Westport, CT: Greenwood Press, – 1954.
14. Pomerantz, J. R. Perception of wholes and of their component parts: Some configural superiority effects / J. R. Pomerantz, L. C. Sager, R. J. Stoever // (1977).. Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance – 1997. – V.3. – P. 422-435.
15. Pomerantz, J. R. Grouping and emergent features in vision: Toward a theory of basic Gestalts / J. R. Pomerantz, M. C. Portillo // Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance – 2011. – V. 37, № 5. – P. 1331–1349.
16. Ridderinkhof, K. R. Attention and selection in the growing child: views derived from developmental psychophysiology / K. R. Ridderinkhof, O. van der Stelt. // Biol. Psychol. – 2000. – V. 54. – P. 55–106.
17. Stroop, J. R. Studies of interference in serial verbal reactions // Journ. of Experimental Psychology. – 1935. – V. 18. – P. 643–662.
18. Todd, J. T. On the relative detectability of configural properties / J. T. Todd, E. Weismantel, C. S. Kallie // Journal of Vision. – 2014. – V. 14, № 1. – P. 1-8.
19. Walter, E. Activation in a frontoparietal cortical network underlies individual differences in the performance of an Embedded Figures Task / E. Walter, P. Dassonville // PLoS ONE. – 2011. – V. 6, № 7. – P. 1-11.

## REFERENCE

1. Bezrukih, M.M., Morozova, L.V. Metodika kompleksnoj diagnostiki zritel'nogo vosprijatija u detej 5,0–7,5 let. – Ul'janovsk, 1994. – 58 s.
2. Bondarko, V.M., Goluzina A.G., Danilova M.V, Chihman V.N., Shelepin Ju.E. Ocenka slozhnosti zritel'nyh izobrazhenij // Sensornye sistemy. – 2003. – T.17, №3. – S. 83-90.
3. Diringer, D. Alfavit. – M.: Izd-vo inostr. lit., 1963.
4. Skorohodova, T.A. Funkcional'naja organizacija integrativnoj dejatel'nosti mozga u detej mladshhego shkol'nogo vozrasta s raznym urovnem intellektual'nogo razvitija: dis. ... kand. biol. nauk: 03.00.13; In-t vozrastnoj fiziologii. – M., 2001. – 203 s.
5. Utochkin, I.S. Jeffekt distraktora v perceptivnyh zadachah / Pshologicheskij zhurnal. – 2010. – T. 31, № 3. – S.25–32.
6. Hrjanin, A. V., Bezrukih, M. M Slozhnost' obrabotki obrazov v uslovijah zritel'nogo poiska v zavisimosti ot jelementov, sostavljajushhii celoe izobrazhenie //Novye issledovaniya – 2015, № 4(45). – S. 58–73.



# ВОЗРАСТНАЯ ФИЗИОЛОГИЯ

## ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ И НЕЙРОЭНДОКРИННОЙ СИСТЕМ У ПОДРОСТКОВ 14-15-ЛЕТНЕГО ВОЗРАСТА

*А.Н. Шаранов, Н.Б. Сельверова, Л.В. Рублева, Г.В. Кмить, С.Б. Догадкина<sup>1</sup>, В.Н. Безобразова, И.В. Ермакова  
ФГБНУ «Институт возрастной физиологии Российской академии образования», Москва*

*С целью оценки характера адаптации у подростков 14-15 лет проведен анализ реакций сердечно-сосудистой системы на нагрузки разного вида (динамическую физическую нагрузку, ортостатическое воздействие, умственную нагрузку). Методами спектрального и временного анализа вариабельности сердечного ритма, электрокардиографии, поликардиографии, биполярной реоэнцефалографии и иммуноферментного анализа обследовано 80 школьников 14 и 15 лет. Показано, что у детей 14 и 15 лет сохраняются достоверные половые различия в значениях частотных и временных показателей вариабельности сердечного ритма (ВРС). Более высокая суммарная активность нейрогуморальных влияний на сердечный ритм за счет высоких величин показателей высокочастотных колебаний ВРС, отмеченная у девочек 14 и 15 лет, свидетельствуют о большей устойчивости девочек данного возраста к стрессирующим факторам в сравнении с мальчиками этого же возраста. У всех детей 14 и 15 лет, отмечается увеличение симпатической и снижение парасимпатической активности в регуляции сердечного ритма в ответ на ортопробу. Относительный рост низкочастотного компонента в ответ на ортостатическое воздействие, особенно значительный у мальчиков 14 и 15 лет и девочек 14 лет указывает на активное включение вазомоторного центра в процесс регуляции сосудистого тонуса. Наиболее высокая суммарная активность нейрогуморальных влияний и парасимпатического звена вегетативной регуляции отмечается у детей 14-15 лет со сбалансированной регуляцией сердечного ритма и с преобладанием парасимпатической активности ВНС.*

*От 14 к 15 годам наблюдается существенное увеличение длительности сердечного цикла, электрической и механической систолы, фазы асинхронного сокращения и диастолы, обусловленное усилением влияний на миокард со стороны парасимпатического отдела автономной нервной системы. Физическая нагрузка динамического характера вызывает у детей 14-15 лет следующие изменения биоэлектрической активности и сократительной функции миокарда: амплитуда зубца  $P_{II}$  увеличивается, величина зубца  $T_{II,V,VI}$  уменьшается; длительность сердечного цикла, продолжительность электрической, механической и общей систол, предсердно-желудочковой проводимости уменьшаются, что связано со снижением тонуса блуждающих нервов и увеличением симпатических влияний на сердце при нагрузке. Выявленное снижение длительности сердечного цикла у*

---

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

подростков 14-15 лет, происходящее без существенного изменения времени диастолы, свидетельствует о благоприятной адаптации сердечно-сосудистой системы к физической нагрузке.

Результаты изучения кровообращения головного мозга показали, что от 14 лет к 15 годам происходит снижение пульсового кровенаполнения и тонуса мозговых артерий малого калибра в лобных областях головного мозга. Срочная адаптация мозгового кровообращения к умственной нагрузке у всех испытуемых 14-15 лет характеризуется снижением тонуса церебральных артерий малого калибра. У большинства подростков адаптация не сопровождалась напряжением механизмов регуляции мозгового кровообращения и носила благоприятный характер. У части испытуемых (23,0-34,0%) выявлена неблагоприятная адаптация, отличающаяся напряжением механизмов регуляции.

Показано, что утренняя концентрация ДГЭА в слюне зависит от пола и возраста испытуемых. Выявлено три типа эндокринной реакции у подростков 14-15 лет на умственную нагрузку. Интенсивность и направленность реакции зависит от вида умственной нагрузки и не различается между полами.

**Ключевые слова:** подростки, адаптация, автономная нервная система, вариабельность сердечного ритма, миокард, биоэлектрические функции миокарда, сократительная функция миокарда, мозговое кровообращение, дегидроэпандростерон, кортизол, ортостаз, физическая и умственная нагрузка.

**Functional state of cardiovascular and neuroendocrine systems in 14-15-year-old adolescents.** In order to assess the nature of adaptation in adolescents aged 14-15 y.o., there was carried out the analysis of the cardiovascular system reactions to loads of various types (dynamic physical activity, orthostatic influence, mental load). The study was carried on 80 schoolchildren (14-15 y.o.) using the following methods: spectral and temporal analysis of heart rate variability, electrocardiography, polycardiography, bipolar rheoencephalography, and immunoenzymatic analysis. It is shown that in 14-15-year-old children significant sex differences of frequency and temporal parameters of heart rate variability (HRV) remain. The higher total activity of neurohumoral influences on the heart rhythm resulting from a big number of high-frequency oscillations of HRV was observed in girls aged 14 and 15 y.o. It indicates that girls of this age are more resistant to stress factors than their boy peers.

In all children aged 14 and 15 years old, there is an increase in sympathetic and a decrease in parasympathetic activity in the regulation of the heart rhythm in response to orthotest. The relative increase in the low-frequency component in response to orthostatic exposure, especially significant in 14-15-year-old boys and 14-year-old girls, indicates the active inclusion of the vasomotor center in the regulation of vascular tone. The highest total activity of neurohumoral influences and the parasympathetic vegetative regulation is noticed in adolescents with a balanced heart rate regulation and with the predominance of parasympathetic activity of the ANS.

It was revealed that from 14 to 15 years there is a significant increase in the duration of the cardiac cycle, electrical and mechanical systole, asynchronous contraction phase and diastole, caused by increased effects on the myocardium from the side of the parasympathetic nervous system. Dynamic physical load causes following changes in bioelectrical activity and myocardial contractility in 14-15-year-old children: the amplitude of the PII tooth increases, the magnitude of the TII, V, VI wave decreases; duration of the cardiac cycle, duration of electrical, mechanical and general systole, atrial-

ventricular conduction decreased. It is associated with the decrease in the tone of the vagus nerves and an increase in sympathetic effects on the heart during exercise. The revealed decrease in the duration of the cardiac cycle in adolescents aged 14-15, occurring without a significant change in diastole time, indicates a favourable adaptation of the cardiovascular system to physical activity.

The study the brain blood circulation showed that from 14 y.o. to 15 y.o. there is a decrease in pulse blood filling and the tone of small cerebral arteries in the frontal areas of the brain. Urgent adaptation of cerebral circulation to mental stress in all subjects aged 14-15 years old is characterized by a decrease in the tone of small-caliber cerebral arteries. In most adolescents the adaptation was not accompanied by tension in the mechanisms of regulation of cerebral circulation and was of a favourable nature. A part of the subjects (23.0-34.0%) showed an unfavourable adaptation, characterized by the tension of the regulatory mechanisms.

It is shown that the morning concentration of DHEA in saliva depends on the sex and the age of the subjects. There were revealed three types of endocrine reactions to mental load in 14-15-year-old adolescents. The intensity and the nature of the reaction depend on the type of mental load and does not differ between the sexes.

**Key words:** adolescents, adaptation, autonomic nervous system, heart rate variability, myocardium, bioelectric functions of the myocardium, contractile function of the myocardium, cerebral circulation, dehydroepiandrosterone, cortisol, orthostasis, physical and mental stress.

Наиболее актуальной проблемой настоящего времени является сохранение здоровья подрастающего поколения в процессе обучения в школе. Интенсификация учебного процесса, повышение учебной нагрузки оказывают существенное влияние на психическое и социальное здоровье школьников [19].

В процессе возрастного развития происходит непрерывное и неравномерное развитие сердца и сосудов: увеличиваются масса и объемы полостей сердца, изменяется соотношение его отделов и положение в грудной клетке, совершенствуется нервная регуляция деятельности системы кровообращения, дифференцируется гистологическая структура сердца и сосудов. Подростковый возраст, являясь одним из критических этапов онтогенеза, характеризуется напряжением нейрогуморальных и гормональных механизмов регуляции [19; 40]. Половое созревание является важнейшим биологическим фактором, определяющим специфику этого этапа развития. Изучение динамики становления механизмов нейроэндокринной регуляции при различных стадиях полового созревания имеет большое значение для прогностической оценки адаптационных возможностей организма подростков [16].

Автономная нервная система (АНС) обеспечивает согласованное действие органов и систем при различных неблагоприятных воздействиях. В ходе онтогенеза она также претерпевает существенные структурно-функциональные изменения. Состояние периферической нервной системы в пубертатном периоде является наиболее ранимым и во многом определяет особенности адаптации организма. В физиологических условиях усиление воздействий одного из отделов АНС приводит к компенсаторному напряжению регуляторных механизмов другого, что переводит систему на новый уровень функционирования, восстанавливая соответствующие гомеостатические параметры.

Развитие регуляторных функций ВНС происходит неравномерно, и в периоде активного полового созревания наблюдаются существенные изменения соотношения как между выраженностью симпатических и парасимпатических влияний, так и между соотношением сегментарного и надсегментарного уровней регуляции сердечно-сосудистой системы. Шарапов и др (2017), Fukuba Y, et al (2009), Vazquez L et al (2016) показали, что половое развитие сопровождается проблемами автономной нервной регуляции, такими как сниженная вариабельность сердечного ритма вследствие дисрегуляции метаболического контроля, снижение парасимпатической активности.

*Задача наших исследований заключалась в проведении сравнительного многокомпонентного анализа процессов морфо-функциональной адаптации у детей 14-15 лет.*

## **ОРГАНИЗАЦИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Проведено комплексное обследование 80 детей 14-15 лет - учащихся общеобразовательной школы г. Москвы. Все обследованные дети, согласно данным медицинских карт, относились к I-II группам здоровья и имели физическое развитие, соответствующее возрастным нормам. Большинство мальчиков (67,10 %) находились на IV и практически все девочки (93,42 %) – на V стадии полового созревания. Исследование проводили в 3 учебной четверти в первой половине дня.

Оценивали биоэлектрические характеристики и сократительные функции миокарда, состояние сосудов головного мозга, определяли тип автономной (вегетативной) нервной регуляции сердечного ритма.

Функциональное состояние автономной (вегетативной) нервной системы (ВНС) оценивали с помощью методов временного и спектрального анализа вариабельности сердечного ритма. Для оценки симпато-парасимпатического баланса использовали отношение мощностей низкочастотного и высокочастотного диапазонов спектра (коэффициент LF/HF) [10; 29]. Для оценки адаптационных возможностей организма проводили ортостатическую пробу [10].

Возбудимость и проводимость миокарда изучались с помощью метода электрокардиографии. Амплитуда и длительность зубцов ЭКГ определялись в 12 общепринятых отведениях, длительность интервалов ЭКГ определялась по данным II стандартного отведения. Для изучения сократительной функции миокарда был применен метод поликардиографии. Запись поликардиограммы осуществлялась в положении исследуемого лежа, при задержке дыхания, после предварительного отдыха в течение 10 минут. Анализ поликардиограммы базировался на сопоставлении элементов записанных кривых во времени по методике В.Л. Карпмана (1965). Для оценки биоэлектрических функций и сократительной способности миокарда была применена проба с физической нагрузкой динамического характера.

Изучение мозгового кровообращения проводилось в положении испытуемого лежа. Использовался метод биполярной реоэнцефалографии [24]. 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

заклучалась в выполнении испытуемыми устного счета в течение 10 минут. Регистрация изучаемых параметров проводилась в состоянии покоя и на 10-й минуте выполнения задания.

Для оценки андрогенной и глюкокортикоидной функции коры надпочечников у детей собирали нестимулированную слюну в пластиковые одноразовые пробирки перед началом школьных занятий (8.00-8.20). Пробы слюны до проведения анализа хранили в морозильной камере при температуре  $-20^{\circ}\text{C}$ . Уровень ДГЭА и кортизола 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». Концентрацию ДГЭА выражали в пг/мл, кортизола – в нг/мл.

Все результаты были подвергнуты статистической обработке с помощью пакета программ «Статистика 6». Достоверность различий оценивали по критерию Стьюдента и непараметрическому критерию Вилкоксона.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Спектральный анализ ВРС выявил половые различия в значениях показателей спектрального анализа у детей 14-15 лет. В возрасте 14 лет отмечены достоверно более высокие значения низко- и высокочастотных показателей ( $LF\text{ мс}^2$ ,  $HF\text{ мс}^2$ ) и  $TP(\text{мс}^2)$  у девочек по сравнению с мальчиками. Не выявлено половых различий в показателях очень высоких колебаний ВРС, выраженных в абсолютных и нормализованных единицах. К 15-летнему возрасту половые различия в значениях анализируемых показателей уменьшаются.

У мальчиков от 14 к 15 годам значимых изменений в показателях спектрального и временного анализа вариабельности сердечного ритма не произошло (за исключением существенного увеличения низкочастотных колебаний и  $SDNN$ ), что свидетельствует об усилении активности симпатического отдела ВНС. Возможно сохранилось некоторое напряжение вегетативной нервной регуляции в этот период, связанное с усилением гормональных влияний на ВНС (табл.1, 2). У девочек 15 лет в сравнении с 14-летним возрастом существенных изменений в показателях спектрального и временного анализа ВРС не обнаружено. Следует отметить, что к этому возрасту большинство обследованных девочек находилось в V стадии полового развития.

Таким образом, исследование вариабельности сердечного ритма детей 14-15 лет в состоянии относительного покоя показало, что значения спектральных и временных показателей ВРС соответствуют таковым, приводимым в ряде исследований [10; 12 и др.] и указанным в международных стандартах [29]. У них выявлены достоверные половые различия в значениях частотных и временных показателей вариабельности сердечного ритма (ВРС). Более высокая суммарная активность нейрогуморальных влияний на сердечный ритм за счет достоверно более высоких величин показателей высокочастотных колебаний ВРС, отмеченная у девочек 14 и 15 лет (табл. 1), свидетельствуют о большей устойчивости девочек данного возраста к стрессирующим факторам в сравнении с мальчиками этого же возраста.

Таблица 1

Показатели спектрального анализа variability сердечного ритма у учащихся 14 - 15 лет в покое и в ответ на ортостатическую пробу (M±m)

Возраст	Пол	Состояние	TP, мс <sup>2</sup>	VLF, мс <sup>2</sup>	LF, мс <sup>2</sup>	HF, мс <sup>2</sup>	LF п.у.	HF п.у.	LF/HF п.у.	%VLF	%LF	%HF
14	М	покой	3696,8 ±488,4	1535,2 ±223,3	846,4 ±189,6	1315,0 ±169,4	39,2 ±3,0	60,7 ±3,1	0,71 ±0,20	38,3 <sup>&amp;</sup> ±3,3	24,6± 2,4	37,0± 1,8
		орто-стаз	4153,1 ±490,2	2028,7 <sup>#</sup> ±264,3	1307,2 ±238,6	817 ±106,8	65,9 <sup>#</sup> ±2,7	34,1 <sup>#</sup> ±2,7	2,8 <sup>#</sup> ±0,34	42,4 ±2,9	38,6 <sup>#</sup> ±2,5	18,9 <sup>#</sup> ±3,1
	Д	покой	7144,4 <sup>&amp;*</sup> ±483,4	1095,7 ±279,0	2196 <sup>&amp;*</sup> ±197,4	3852,5 <sup>&amp;*</sup> ±260,7	37,8 ±3,5	62,2 ±2,9	0,730 ±0,33	16,3 <sup>&amp;*</sup> ±2,8	31* ±2,0	52,6* ±2,7
		орто-стаз	15957,8 <sup>#</sup> ±570,8	3616,4 <sup>#</sup> ±286,9	4764,5 <sup>#</sup> ±210,6	7576,1 <sup>#</sup> ±290,5	61,6 <sup>#</sup> ±4,3	38,3 <sup>#</sup> ±3,2	2,7 <sup>#</sup> ±0,23	40,6 <sup>#</sup> ±3,6	34,9 ±1,8	24,5 <sup>#</sup> ±2,1
15	М	покой	5437,6 ±523,3	1654,7 ±283,1	1932,1 ±170,1	1850,5 ±170,1	51,33 ±2,0	48,67 ±3,6	1,1 ±0,6	35,4 ±2,2	33,2 ±3,3	31,3 ±3,5
		орто	12142,9 <sup>#</sup> ±478,0	3605,8 <sup>#</sup> ±270,3	4122,4 <sup>#</sup> ±303,2	4414,4 <sup>#</sup> ±96,2	71,35 <sup>#</sup> ±2,0	28,65 <sup>#</sup> ±2,0	3,1885 <sup>#</sup> ±0,3	43,25 ±5,0	39,6 ±3,4	17,1 <sup>#</sup> ±1,5
	Д	покой	8552* ±493,3	1436,5 ±157,6	1657,5 ±177,3	5458,2* ±287,2	33,9* ±3,5	66,1 ±3,5	0,6122* ±0,1	19,7* ±1,8	26,4 ±2,7	53,8* ±2,7
		орто	8448,25 ±570,8	4536,5 <sup>#</sup> ±188,2	2797,2 <sup>#</sup> ±251,1	1114,2 <sup>#</sup> ±89,1	67,8 <sup>#</sup> ±2,4	32,1 <sup>#</sup> ±2,4	2,7575 <sup>#</sup> ±0,18	48,27 <sup>#</sup> ±2,5	35,4 ±2,2	16,3 <sup>#</sup> ±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.

Проведение активной ортостатической пробы вызвало существенные изменения временных и спектральных показателей ВРС у детей 14-15 лет (табл.1, 2).

У всех детей 14 и 15 лет отмечается достоверное снижение ЧСС и средней длительности интервалов R-R. Достоверное снижение показателей RMSSD, NN50% и pNN50% у мальчиков 14 лет и девочек 15 лет, возможно, связано со снижением активности парасимпатического отдела АНС при ортостатической пробе. В эти возрастные периоды и у мальчиков, и у девочек, в ответ на ортостатическую пробу значительно снижается мощность высокочастотных колебаний в абсолютных и нормализованных единицах, что также свидетельствует о снижении вагусного контроля сердечного ритма. Показатель LF/HF, отражающий соотношение симпатического и парасимпатического отделов АНС, увеличивается в 2.3-2.5 раза у всех детей 14 и 15 лет, что указывает на увеличение симпатической активности и существенное снижение парасимпатической активности в регуляции сердечного ритма в ответ на ортопробу. Это же подтверждается и изменением структуры спектральной мощности ВРС при активной ортостатической пробе. Относительный рост LF, особенно значительный у всех мальчиков и девочек 14 лет, указывает на активное включение вазомоторного центра в процесс регуляции сосудистого тонуса.

Таблица 2

Показатели временного анализа variability сердечного ритма у учащихся 14-15 лет в покое и в ответ на ортостатическую пробу ( $M \pm m$ )

Возраст (лет)	группы	Состояние	R-Rmin	R-Rmax	RRNN	SDNN	RMSSD	pNN50	CV	K30/15
14	М	покой	631,5 ±26,7	941,7 ±27,5	774,8 ±34,6	56,1 ±8,2	54,4 ±5,4	31,4 ±4,5	7,2 ±0,9	
		нагрузка	506,6 ±15,2	819,9 ±36,5	623,5 ±22,7	52 ±4,0	37,5 <sup>#</sup> ±4,8	14,7 <sup>#</sup> ±1,8	8,3 ±0,7	1,3 ±0,03
	Д	покой	641,4 ±28,6	1110,7 ±40,5	889,1 ±34,7	79* ±4,3	95* ±5,1	49,6* ±3,9	9,0 ±0,6	
		нагрузка	437 ±18,7	1117,8 ±42,7	663 ±24,5	98,7 ±4,1	97,7 ±7,1	26,7 <sup>#</sup> ±4,2	15,5 <sup>#</sup> ±1,2	1,6 ±0,03
15	М	покой	630,3 ±27,8	1017,3 ±27,8	829,4 ±36,7	67,2 ±11,2	66,1 ±6,3	35,266 ±4,8	7,976 ±1,1	
		орто	467,1 ±14,3	1177,2 ±28,3	648,1 ±19,1	80,1 ±4,1	74,9 ±2,1	14,852 ±1,5	12,722 ±0,5	1,676 ±0,03
	Д	покой	674 ±26,7	1156,75 ±38,3	861,25 ±31,8	85,75* ±4,2	102* ±6,5	51,575* ±4,4	9,8825 ±0,4	
		орто	527,5 ±12,7	926,75 ±35,3	723 ±19,2	77,75 ±3,5	51,25 <sup>#</sup> ±3,0	26,625 <sup>#</sup> ±1,7	10,4375 ±0,5	1,395 ±0,04

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

В работах Pomeranz et al.(1985), Yamamoto&Hughson, (1991) и др. показано, что динамика отношения LF/HF отражает изменения симпатической активности, а по мнению Pagani et al (1986), Ubiria I. et al (2003) и др. может характеризовать симпто-парасимпатический баланс.

На основании значений показателя LF/HF, характеризующего симпто-парасимпатический баланс [34, 36, 45], все обследуемые школьники 14 -15 лет, без учета пола, были разделены на 3 группы. Дети с LF/HF > 1,0 составили 3-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 1 группу (с преобладанием парасимпатических влияний в регуляции сердечного ритма). Около 70 процентов девочек и мальчиков имеют сбалансированную или с преобладанием парасимпатических влияний регуляцию сердечного ритма (табл.3).

Наиболее высокая суммарная активность нейрогуморальных влияний и парасимпатического звена вегетативной регуляции отмечается у детей 14-15 лет со сбалансированной регуляцией сердечного ритма и с преобладанием парасимпатической активности ВНС.

Преобладание парасимпатического компонента в структуре ВРС 14-15-летних школьников согласуется с представлением об адапционно-трофическом дей-

ствии блуждающих нервов на сердце и является показателем индивидуальной устойчивости здорового организма к стрессирующим факторам [1, 10].

В таблице 3 приведены показатели спектрального анализа ВРС у детей 14-15 лет с разным типом регуляции сердечного ритма.

Таблица 3

*Показатели спектрального анализа вариабельности сердечного ритма у учащихся 14- 15 лет с разным типом автономной нервной регуляции (M±m)*

Воз-раст	тип АНР	Состояние	TP мс <sup>2</sup>	VLF мс <sup>2</sup>	LF мс <sup>2</sup>	HF мс <sup>2</sup>	LF/HF п.у.
14-15	1	ПОКОЙ	5752,6 ±564,5	1353,1 ±229,5	941,6 ±435,6	3457,8 ±376,4	0,3538 ±0,121
		ОРТО	6833,1 ±756,3	3444,5# ±283,5	2005,1# ±195,4	1383,3# ±150,3	2,2961# ±0,355
	2	ПОКОЙ	6509 ±576,4	1662,5 ±153,5	1953,5* ±264,3	2892,7 ±358,9	0,7813 ±0,297
		ОРТО	10605,5# ±586,4	2504,3 ±301,4	3493,8 ±419,0	4606,8# ±167,9	2,8022# ±0,368
	3	ПОКОЙ	6433,7* ±478,4	1232,5 ±187,3	1953,8 ±203,1	1247,3* ±359,4	1,4712* ±0,168
		ОРТО	11430,8# ±548,1	3840,2# ±196,3	4470,2# ±264,1	5120,1# ±159,0	3,8231# ±0,35

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

Дети с преобладанием парасимпатической активности в регуляции сердечного ритма характеризуются достоверно более низкой мощностью низкочастотного компонента спектра в сравнении с детьми 2-ой и 3-ей групп (табл. 3). В данной группе преобладают колебания высокочастотного спектра (в 2 раза большие в сравнении с детьми с симпатической активностью ВСП). [1; 10].

В ответ на ортостатическую пробу у школьников 14-15 лет всех групп отмечается адекватная реакция сердечного ритма на ортостаз, характеризующаяся увеличением общей мощности и низкочастотных колебаний сердечного ритма. Указанный характер изменений автономной нервной регуляции при проведении активной ортостатической пробы связан с совершенствованием автономной нервной регуляции сердечного ритма у детей с возрастом [10].

В ходе исследования были проанализированы данные электрокардиограмм детей 14-15 лет. Проведенный анализ ЭКГ показал, что абсолютные значения большинства показателей ЭКГ обследованных детей в целом соответствуют возрастным нормативам, представленным в литературе [7; 8; 14; 15; 20]. Данные о длительности интервалов и амплитуде зубцов ЭКГ представлены в таблицах 4, 5.



Таблица 4

Временные характеристики основных интервалов ЭКГ детей 14-15-летнего возраста в покое и при нагрузке ( $M \pm m$ )

Показатели					
Возр., пол	Состояние	R-R, с	P-Q, с	QRS, с	QT, с
14 м	покой	0,893± 0,0531	0,132± 0,0034	0,095± 0,0013	0,359± 0,0174
	нагр	0,798±* 0,0371	0,127± 0,0033	0,094± 0,0013	0,342±* 0,0135
14 д	покой	0,911± 0,0531	0,133± 0,0034	0,096± 0,0014	0,369± 0,0173
	нагр	0,808±* 0,0371	0,128± 0,0033	0,094± 0,0013	0,355±* 0,0135
15 м	покой	0,953± 0,0511	0,138± 0,0034	0,096± 0,0013	0,376± 0,0170
	нагр	0,888±* 0,0301	0,129± 0,0030	0,094± 0,0013	0,358±* 0,0131
15 д	покой	0,941± 0,0523	0,137± 0,0032	0,097± 0,0012	0,373± 0,0171
	нагр	0,881±* 0,0361	0,130± 0,0031	0,094± 0,0011	0,361±* 0,0138

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

Таблица 5

Амплитудные характеристики основных зубцов ЭКГ детей 14-15-летнего возраста в покое и при нагрузке ( $M \pm m$ )

Возр лет	Сост	Отвед.	Показатели				
			P, мм	Q, мм	R, мм	S, мм	T, мм
14 м	покой	II	0,888 ±0,046	-0,256 ±0,060	9,836 ±0,510	-1,310 ±0,174	4,183 ±0,178
		V5	0,593 ±0,025	-0,486 ±0,112	12,685 ±0,540	-3,270 ±0,246	5,117 ±0,174
		V6	0,550 ±0,054	-0,599 ±0,124	10,633 ±0,448	-1,232 ±0,166	4,226 ±0,247
	нагр	II	1,038* ±0,073	-0,274 ±0,062	9,515 ±0,317	-1,327 ±0,134	3,639* ±0,129
		V5	0,595 ±0,034	-0,669 ±0,122	11,884 ±0,634	-3,260 ±0,324	4,531* ±0,320
		V6	0,561 ±0,034	-0,810 ±0,102	10,252 ±0,354	-1,190 ±0,144	3,982* ±0,210
14 д	покой	II	0,951 ±0,066	-0,281 ±0,061	8,837 ±0,420	-1,376 ±0,141	3,557 ±0,154
		V5	0,596 ±0,014	-0,578 ±0,111	10,713 ±0,564	-1,711 ±0,241	4,299 ±0,145
		V6	0,583	-0,592	9,513	-1,027	4,082

	нагр	II	±0,021 1,174* ±0,071	±0,141 -0,311 ±0,061	±0,456 8,284* ±0,515	±0,121 -1,358 ±0,191	±0,243 3,133* ±0,174	
		V5	0,613 ±0,031	-0,569 ±0,123	9,929 ±0,695*	-1,704 ±0,303	3,896* ±0,234	
		V6	0,610 ±0,032	-0,664 ±0,102	9,142 ±0,434	-1,090 ±0,194	3,444* ±0,224	
	15 м	покой	II	0,868 ±0,046	-0,246 ±0,060	9,336 ±0,510	-1,313 ±0,174	3,923 ±0,178
			V5	0,568 ±0,025	-0,468 ±0,112	12,115 ±0,540	-3,253 ±0,246	4,987 ±0,174
			V6	0,537 ±0,054	-0,584 ±0,124	10,123 ±0,448	-1,222 ±0,166	4,116 ±0,247
нагр		II	1,123* ±0,073	-0,254 ±0,062	8,915 ±0,317	-1,309 ±0,134	3,439* ±0,129	
		V5	0,599 ±0,034	-0,609 ±0,122	11,124 ±0,634	-3,249 ±0,324	4,431* ±0,320	
		V6	0,587 ±0,034	-0,770 ±0,102	9,712 ±0,354	-1,210 ±0,144	3,832* ±0,210	
15 д	покой	II	0,931 ±0,066	-0,281 ±0,061	8,237 ±0,420	-1,306 ±0,141	3,117 ±0,154	
		V5	0,536 ±0,014	-0,578 ±0,111	10,223 ±0,564	-1,541 ±0,241	4,029 ±0,145	
		V6	0,533 ±0,021	-0,592 ±0,141	9,123 ±0,456	-1,027 ±0,121	3,992 ±0,243	
	нагр	II	1,224* ±0,071	-0,311 ±0,061	7,942* ±0,515	-1,338 ±0,191	2,883* ±0,174	
		V5	0,628 ±0,031	-0,569 ±0,123	9,888 ±0,695*	-1,674 ±0,303	3,656* ±0,234	
		V6	0,590 ±0,032	-0,664 ±0,102	8,932 ±0,434	-1,110 ±0,194	3,299* ±0,224	

Примечания: \* – достоверность различий по сравнению с покоем.

Выявлено, что от 14 к 15 годам, как у девочек, так и у мальчиков, наблюдается существенное увеличение таких временных показателей, как длительность сердечного цикла, время предсердно-желудочковой проводимости и электрической систолы. Также исследование показало уменьшение у детей обоего пола амплитуды зубцов R и T к 15-летнему возрасту.

Следует отметить, что увеличение длительности сердечного цикла, времени предсердно-желудочковой проводимости и электрической систолы является общей возрастной тенденцией. Оно связано, в основном, 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. Усиление влияний из центров блуждающих нервов, обладающих отрицательным батмотропным эффектом, приводит также к снижению возбудимости миокарда и уменьшению амплитуды ряда зубцов ЭКГ. Изменение амплитуды зубцов ЭКГ может быть обусловлено и гетерохронным развитием сердечной мышцы, а снижение амплитуды показателей возбудимости в

грудных отведениях может объясняться увеличением массы, утолщением стенки грудной клетки с возрастом.

Динамическая нагрузка вызывала у детей 14-15-летнего возраста следующие изменения ЭКГ (табл. 4, 5). У всех обследованных детей укорачивалась общая длительность сердечного цикла и электрическая систола, у большинства детей уменьшалось время предсердно-желудочковой проводимости. В ответ на нагрузку у всех детей 14-15 лет происходило достоверное увеличение зубца РП. Также в этом возрасте, как у мальчиков, так и у девочек, отмечено снижение амплитуды зубцов R и T во II стандартном и левых грудных отведениях.

Уменьшение общей длительности сердечного цикла, времени предсердно-желудочковой проводимости и электрической систолы в ответ на нагрузку, свидетельствует об усилении влияний на миокард со стороны симпатического отдела автономной нервной системы. Увеличение амплитуды зубца Р связано, вероятно, с интенсификацией деятельности предсердий в ответ на нагрузку. Уменьшение амплитуды зубца R в левых грудных отведениях свидетельствует об уменьшении полости левого желудочка в ответ на нагрузку и адекватном адаптационном ответе, хорошей тренированности сердечной мышцы у детей данного возраста.

Индивидуальный анализ электрокардиограмм детей 14-15 лет позволил выявить частоту встречаемости некоторых функциональных изменений ЭКГ на данном отрезке онтогенеза. Как показало исследование, в данном возрасте могут наблюдаться различные нарушения хронотропной функции миокарда, а также нарушения внутрижелудочковой проводимости. Такие функциональные изменения миокарда, как нарушения проведения в предсердиях, электрическая альтернация, нарушения процессов реполяризации миокарда, практически не встречаются. Изменения сердечного ритма связаны, вероятно, с процессами формирования механизмов вегетативной регуляции сердца. Гетерохронность процессов роста и развития сердца, особенности его морфологического и функционального созревания, могут приводить к нарушениям внутрижелудочковой проводимости. В целом, к 14-15-летнему возрасту частота возникновения указанных изменений существенно уменьшается по сравнению с младшими школьниками.

В результате проведенного исследования были получены данные по продолжительности основных фаз и периодов сердечного цикла у подростков 14-15 лет (табл. 6). Исследование показало, что полученные величины параметров сократительной функции миокарда подростков 14-15 лет соответствуют литературным данным [3; 6; 13].

Показано, что от 14 к 15 годам как у мальчиков, так и у девочек, существенно изменяется структура сердечного цикла: возрастает продолжительность сердечного цикла, фаза асинхронного сокращения, механической систолы и диастолы. Выявлено, что абсолютные значения параметров фазового анализа сердечного цикла у подростков 15 лет практически достигают дефинитивных значений. Отмечено, что абсолютные величины параметров сократительной функции миокарда значительно не отличались у мальчиков и девочек в 14 и 15 лет.

Таблица 6

*Длительность фаз сердечного цикла у подростков 14-15 лет  
в состоянии относительного покоя ( $M \pm m$ )*

ПАРАМЕТРЫ									
Воз / пол	R-R, мс	ФАС, мс	ФИС, мс	T, мс	E, мс	Sm, мс	So, Мс	Sэ, мс	Д, мс
14 М	782.1 ±22.2	49.2 ±2.1	34.2 ±2.1	83.4 ±2.3	243.7 ±5.27	278.1 ±5.1	326.2 ±5.7	346.6 ±7.7	458.3 ±26.2
15 М	950.1 ±20.2*	67.2 ±2.0*	28.2 ±2.4	95.4 ±2.1	278.7 ±5.1	373.1 ±5.0*	367.2 ±5.4	367.6 ±7.8	576.3 ±25.2*
14 Д	791.5 ±31.2	49.9 ±1.9	33.6 ±1.8	83.5 ±2.4	258.2 ±11.8	294.8 ±11.1	350.3 ±12.1	360 ±12.5	456.3 ±33.8
15 Д	952.5 ±21.2*	66.9 ±1.8*	29.6 ±2.2	97.5 ±2.4	278.2 ±9.8	374.8 ±8.1*	368.3 ±10.1	370 ±10.5	586.3 ±23.8*

*Примечание:* \* - достоверные различия показателей по сравнению с 14 годами.

Для более полной оценки функционального состояния сердечно-сосудистой системы и характеристики адаптационных возможностей сократительной функции миокарда подростков 14-15 лет было проведено изучение реакции центрального звена системы кровообращения на дозированную физическую нагрузку (табл.7). Поскольку абсолютные величины параметров сократительной функции миокарда значимо не отличались у мальчиков и девочек в 14 и 15 лет, подростки были объединены в соответствующую возрастную группу.

Таблица 7

*Изменение длительности фаз сердечного цикла при физической динамической нагрузке у подростков 14-15 лет ( $M \pm m$ )*

Момент исслед.	Возраст	R-R	ФАС	ФИС	T	E	Sm	So	Sэ	Д
Покой	14	772.1 ±22.1	49.4 ±2.0	32.2 ±2.0	81.6 ±2.3	245.7 ±5.2	278.1 ±5.1	326.2 ±5.7	346.6 ±7.7	458.3 ±26.2
Сразу после нагрузки		640.2 ±21.0*	47.1 ±1.9	27.3 ±1.8*	73.4 ±2.1*	217.1 ±6.1*	241.1 ±6.5*	291.4 ±4.4*	307.2 ±3.6*	340.7 ±30.2
Покой	15	952.1 ±20.2	67.2 ±2.0	28.7 ±2.1	95.9 ±2.1	279.7 ±5.1	374.1 ±5.0	367.1 ±5.4	367.6 ±7.8	579.3 ±25.0
Сразу после нагрузки		823.5 ±20.0*	64.7 ±2.0	26.7 ±2.0	91.4 ±2.1	233.0 ±5.1*	260.0 ±5.0*	325.1 ±4.4*	326.7 ±3.8*	498.4 ±23.0

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

При изучении реакции сократительной функции миокарда на физическую динамическую нагрузку было показано, что у подростков 14-15 лет происходят существенные перестройки фазовой структуры сердечного цикла (табл.7).

Анализ результатов показал, что динамическая физическая нагрузка в 14-летнем возрасте у подростков обоего пола вызывала существенное уменьшение практически всех изученных параметров: длительности сердечного цикла, фазы изометрического сокращения, периода напряжения, электрической, механической и общей систол, а также времени изгнания крови. В 15-летнем возрасте динамическая физическая нагрузка приводила к снижению длительности сердечного цикла, электрической, механической и общей систол, а также времени изгнания крови.

Основным механизмом уменьшения длительности сердечного цикла при физической работе считают снижение тонуса блуждающих нервов и увеличение симпатических влияний на сердце. Выявленное снижение длительности сердечного цикла у подростков 14-15 лет, происходящее 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 [9, 17].

Результаты изучения кровообращения головного мозга показали достоверные изменения ряда параметров РЭГ от 14- к 15-летнему возрасту: снижение значений параметров А и дикротического индекса (табл. 8). Выявленные изменения свидетельствуют о снижении пульсового кровенаполнения и тонуса мозговых артерий малого калибра, что соответствует возрастной динамике мозгового кровообращения [18].

Исследование не показало достоверных различий изученных показателей между мальчиками и девочками как в 14, так и в 15 лет. Все испытуемые одного возраста были объединены в единую группу.

Таблица 8

*Показатели мозгового кровообращения у детей 14 и 15 лет в состоянии покоя (M±m)*

Возраст	Пол	Показатели			
		A, Ом	a, с	di, %	a/T, %
14	Д	0,232±0,012	0,151±0,008	65,1±2,64	26,4±1,86
15		0,212±0,018*	0,156±0,014	59,9±2,78*	24,5±3,22
14	М	0,230±0,009	0,154±0,009	66,1±1,17	25,1±1,29
15		0,218±0,011*	0,158±0,012	60,2±1,15*	23,4±1,17

*Примечание* \* - достоверные отличия показателей по сравнению с предыдущим возрастом

Для характеристики функционального состояния мозгового кровообращения детей 14-15 лет нами использована умственная нагрузка (табл. 9)

Таблица 9

*Динамика показателей мозгового кровообращения детей 14-15 лет  
при действии умственной нагрузки (M±m)*

Группа	Показатели									
	А, Ом		АЧП, у.е.		di, %		а/Т, %		ЧСС, уд/м	
	ИС	Н	ИС	Н	ИС	Н	ИС	Н	ИС	Н
14 лет										
Общая	0,234 ± 0,014	0,231 ± 0,018	2,9 ± 0,14	3,12 ± 0,19	65,0 ± 1,20	54,9 ± 1,36*	25,2 ± 0,72	20,2 ± 0,76	86,5 ± 2,45	87,3 ± 3,17
1	0,214 ± 0,016	0,210 ± 0,018	2,78 ± 0,16	3,35 ± 0,17*	62,4 ± 1,17	52,6 ± 1,33*	24,1 ± 0,30	19,7 ± 0,32*	86,1 ± 2,62	87,7 ± 2,65
2	0,236 ± 0,016	0,228 ± 0,018	3,18 ± 0,14	2,54 ± 0,15*	65,0 ± 1,41	62,3 ± 1,24*	23,8 ± 0,26	22,4 ± 0,13*	83,2 ± 2,52	89,4 ± 2,51
15 лет										
Общая	0,212 ± 0,018	0,216 ± 0,017	2,71 ± 0,16	2,72 ± 0,19	57,1 ± 1,21	48,9 ± 1,39*	23,6 ± 0,64	23,2 ± 0,70	79,8 ± 2,56	83,6 ± 3,16
1	0,200 ± 0,012	0,223 ± 0,014	2,65 ± 0,11	3,42 ± 0,12*	58,6 ± 1,16	45,8 ± 1,372	23,6 ± 0,34	19,2 ± 0,21*	79,3 ± 2,72	78,2 ± 2,41
2	0,220 ± 0,014	0,192 ± 0,012	2,64 ± 0,12	1,40 ± 0,11*	55,0 ± 1,22	41,6 ± 1,26*	23,0 ± 0,24	26,7 ± 0,20*	81,0 ± 2,52	94,8 ± 2,44*

*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 14-15 лет умственная нагрузка сопровождалась достоверным снижением дикротического индекса (di) (табл. 9). 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 [21; 22]. 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 [5; 39].

Таким образом, выявленное у детей 14-15 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 (в 14 лет – 77,0 % мальчиков и 76,0% девочек; в 15 лет - 67,0 % мальчиков и 68,0 % девочек). Группу 2 составили испытуемые со снижением АЧП (в 14 лет - 23,0 % мальчиков и 24,0 % девочек; в 15 лет 34,0% мальчиков и 32,0 % девочек).

Умственная нагрузка вызывала у всех испытуемых 1 группы (табл.2) достоверное (t-2,2-2,4) повышение показателя АЧП, снижение дикротического индекса и а/Т (t-2,2-2,6). Следовательно, реакция мозгового кровообращения характеризовалась существенным увеличением артериального притока, снижением тонуса мозговых артерий в лобных областях головного мозга. Выявленные изменения кровообращения головного мозга согласуются с результатами исследований у школьников разного возраста, показавших возрастание артериального притока и снижение тонического напряжения церебральных артерий при различных видах умственной деятельности [2]. Выявленные у детей 14-15 лет изменения мозгового кровообращения при умственной деятельности (возрастание артериального притока и снижение тонуса церебральных артерий в лобных областях головного мозга) свидетельствуют о том, что данная реакция системы мозгового кровообращения на умственную деятельность не сопровождается существенным напряжением механизмов адаптации [2; 21; 22].

У всех детей 2 группы (табл.9) наблюдалось достоверное снижение АЧП, дикротического индекса (t-2,3-2,7) и а также возрастание а/Т (t-2,6), и ЧСС (t-2,2-2,6). 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 [11; 26; 28]. Выявленное повышение тонического напряжения церебральных артерий характеризует напряжение механизмов регуляции мозгового кровообращения при умственной деятельности, что соответствует результатам исследований, проведённых у подростков разного возраста [2; 21; 22].

Выявленные изменения изученных параметров мозгового кровообращения указывают на генерализованный характер реакции сердечно-сосудистой системы, что в условиях умственной деятельности характеризует напряжение механизмов адаптации системы кровообращения [2; 21; 22; 23].

Половое созревание определяется и сопровождается изменением концентрации гормонов гипоталамо-гипофизарно-гонадной и гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой оси. Уровень надпочечникового андрогена - дегидроэпиандростерона (ДГЭА), который является предшественником половых стероидов (тестостерона и эстрадиола), увеличивается по мере полового развития подростков [37; 43]. Среднее значение его концентрации в утренней слюне в целом по группе составило  $337,74 \pm 21,21$  пг/мл и колебалось от 17,41 пг/мл до 1440,00 пг/мл. Сравнительный анализ показал, что у девочек концентрация ДГЭА значимо выше, чем у мальчиков ( $389,95 \pm 32,52$  пг/мл против  $282,50 \pm 25,45$  пг/мл;  $p < 0,05$ ). Большую

индивидуальную вариабельность этого стероида и связь его уровня с биологическим возрастом подтверждают результаты других исследователей [30; 33; 37; 38]. С помощью корреляционного анализа в целом по группе была выявлена взаимосвязь между уровнем ДГЭА и возрастом ( $r=0,34$ ;  $p<0,01$ ), полом испытуемых ( $r=0,21$ ;  $p<0,05$ ), а также содержанием жировой массы тела ( $r=0,22$ ;  $p<0,01$ ).

Для определения стресс-реактивности эндокринной системы использовали 2 вида умственной нагрузки: обратный счёт в уме и контрольная работа по алгебре (табл. 10). Практически у всех подростков 14-15 лет умственная нагрузка вызывала изменение концентрации в слюне гормонов надпочечников: кортизола, ДГЭА, а также их соотношения ДГЭА/кортизол. В результате индивидуального анализа выявили 3 типа реакции на счёт в уме (табл.11). У 40 % испытуемых повышалась концентрация кортизола, у 40% понижалась, а у 20 % оставалась практически неизменной. Однако выраженность реакции в группе, где уровень гормона повышался, была в 2 раза больше, чем у подростков, у которых наблюдалось снижение кортизола. Известно, что у подростков в ответ на нагрузку происходит изменение не только концентрации кортизола, но и ДГЭА [35]. Реакция ДГЭА на счёт в уме отличалась от реакции кортизола. У 60 % испытуемых уровень гормона повышался, а у 40 % он либо не изменялся, либо снижался. Выраженность реакции в первой группе была в 2,3 раза больше, чем во второй. Различная реакция кортизола и ДГЭА, вероятно, связана с антистрессовым эффектом надпочечникового андрогена, что позволяет организму противостоять разрушительному действию кортизола [31].

На контрольную работу по алгебре также было выявлено 3 типа эндокринной реакции. Однако в отличие от счёта в уме у половины учащихся уровень кортизола снижался, у 27 % повышался, а у 20 % - не изменялся. Выраженность реакции в первой группе подростков была в 2,4 раза больше, чем в группе, где происходило снижение концентрации стресс-гормона. Интенсивность и направленность реакции эндокринной системы на стресс зависит от исходного уровня гормонов: при высоком фоновом значении происходит снижение концентрации, при низком исходном уровне – повышение. Вероятно, ожидание контрольной работы учащихся вызвало упреждающее повышение уровня кортизола, поэтому после нагрузки произошло его снижение. Реакция ДГЭА на контрольную работу у подростков была следующей: у 40 % концентрации гормона повышалась, у 7 % снижалась, а у половины не изменялась. Соотношение ДГЭА/кортизол у 60 % учащихся в ответ на контрольную работу увеличилось, у 27 % снизилось, а у 13 % осталось неизменным. Выраженность реакции в первой группе была в 1,8 раза больше, чем во 2 группе подростков. Таким образом, контрольная работа по алгебре для подростков была более значимым стрессором, чем устный счёт в уме в присутствии двух незнакомых экспериментаторов. Корреляционный анализ позволил установить тесную связь уровня ДГЭА до и после счёта в уме с показателем реактивной тревожности теста Спилберга ( $r=0,76$ ;  $p<0,05$  и  $r=0,85$ ;  $p<0,01$ ; соответственно), которую определяют, как показатель эмоциональной реакции на стрессовую ситуацию. Уровень кортизола до счёта в уме был тесно связан с фоновым значением VLF вариабельности сердечного ритма ( $r=0,78$ ;  $p<0,01$ ), а концентрация гормона после теста с тонусом церебральных сосудов крупного калибра при нагрузке ( $r=0,86$ ;  $p<0,01$ ).



Таблица 10

*Динамика прироста уровня гормонов у подростков 14-15 лет  
при разных видах умственной нагрузки*

тип реакции	прирост концентрации гормонов (%)		
	кортизол	ДГЭА	ДГЭА/кортизол
устный счёт в уме			
1	41,32 ± 5,92	61,40 ± 11,09	69,11 ± 14,62
2	-18,96 ± 3,01***	-27,09 ± 10,33*	-16,45 ± 2,53*
контрольная работа			
1	76,42 ± 18,38	47,89 ± 14,08	64,94 ± 20,86
2	-31,24 ± 3,87***	-49,29 ± 11,54	-35,47 ± 11,61*

*Примечание: 1 – увеличение уровня гормонов; 2 – снижение уровня гормонов; достоверность различий между группами \* -  $p < 0,05$ ; \*\*\* -  $p < 0,001$ .*

Таблица 11

*Распределение подростков 14-15 лет  
по типу эндокринной реакции на умственную нагрузку (%).*

гормоны	тип реакции					
	1	2	3	1	2	3
нагрузка	устный счёт в уме			контрольная работа		
кортизол	40	40	20	27	53	20
ДГЭА	60	10	30	40	7	53
ДГЭА/кортизол	6	2	2	0	7	3

*Примечание: 1 – увеличение уровня гормонов; 2 – снижение уровня гормонов; 3 – уровень гормонов не изменяется.*

### ВЫВОДЫ

1. У детей 14 и 15 лет 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, отмеченная у девочек 14 и 15 лет, свидетельствуют о большей

устойчивости девочек данного возраста в сравнении с мальчиками к стрессирующим факторам.

2. У всех детей 14 и 15 лет, отмечается увеличение симпатической и существенное снижение парасимпатической активности в регуляции сердечного ритма в ответ на ортопробу. Относительный рост низкочастотного компонента в ответ на ортостатическое воздействие, особенно значительный у мальчиков 14 и 15 лет и девочек 14 лет указывает на активное включение вазомоторного центра в процесс регуляции сосудистого тонуса.

3. Наиболее высокая суммарная активность нейрогуморальных влияний и парасимпатического звена вегетативной регуляции отмечается у детей 14-15 лет со сбалансированной регуляцией сердечного ритма и с преобладанием парасимпатической активности ВНС.

4. Выявлено, что от 14 к 15 годам наблюдается существенное увеличение длительности сердечного цикла, электрической и механической систолы, фазы асинхронного сокращения и диастолы, обусловленное усилением влияний на миокард со стороны парасимпатического отдела автономной нервной системы.

5. Физическая нагрузка динамического характера вызывала у подростков 14-15 лет следующие изменения биоэлектрической активности и сократительной функции миокарда: амплитуда зубца  $P_{II}$  увеличивается, величина зубца  $T_{II,V,VI}$  уменьшается; длительность сердечного цикла, продолжительность электрической, механической и общей систол, предсердно-желудочковой проводимости уменьшаются, что связано со снижением тонуса блуждающих нервов и увеличением симпатических влияний на сердце при нагрузке. Выявленное снижение длительности сердечного цикла у подростков 14-15 лет, происходящее без существенного изменения времени диастолы, свидетельствует о благоприятной адаптации сердечно-сосудистой системы к физической нагрузке.

6. У 14-15-летних подростков могут наблюдаться различные изменения ритма и проведения возбуждения, нарушений процессов реполяризации и метаболизма в миокарде. Данные изменения выявляются значительно реже, чем у младших школьников и могут быть связаны с морфологическим и функциональным созреванием сердечной мышцы на данном этапе онтогенеза, а также с процессами формирования механизмов вегетативной регуляции сердечной деятельности.

7. Результаты изучения кровообращения головного мозга показали, что от 14 лет к 15 годам происходит снижение пульсового кровенаполнения и тонуса мозговых артерий малого калибра.

8. Срочная адаптация мозгового кровообращения к умственной нагрузке у всех испытуемых 14-15 лет характеризуется снижением тонуса церебральных артерий малого калибра в лобных областях головного мозга. У большинства подростков адаптация не сопровождалась напряжением механизмов регуляции мозгового кровообращения и носила благоприятный характер. Отмечалось существенное увеличение артериального притока и снижение тонуса мозговых артерий. У части испытуемых (23,0-34,0%) выявлена неблагоприятная адаптация, отличающаяся напряжением механизмов регуляции мозгового кровообращения: снижением артериального притока, повышением тонуса мозговых артерий крупного и среднего калибра при существенном возрастании частоты сердечных сокращений

9. Утренняя концентрация ДГЭА в слюне зависит от пола и возраста испытуемых. Выявлено три типа эндокринной реакции у подростков 14-15 лет на умственную нагрузку. Интенсивность и направленность реакции зависит от вида умственной нагрузки и не различается между полами.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баевский Р.М., Берсенева А.П. Введение в донозологическую диагностику. – М.: Фирма «Слово», 2008. – 208 с.
2. 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.
3. Индивидуальные особенности развития системы кровообращения школьников / Под ред. И.О.Тупицына. – М, 1995. – 64 с.
4. Карпман В.Л. Фазовый анализ сердечной деятельности. – М: Медицина, 1965. – 159 с.
5. Князева М.Г., Тупицын И.О. Взаимосвязь возрастных характеристик биоэлектрической активности и мозгового кровотока // Физиология человека. – 1984. – Т. 10, № 3. – С. 411-416.
6. Колесниченко С.М. Функциональное состояние миокарда левого желудочка у детей 7 – 12 лет (по данным эхо- и электрокардиографии): автореф. дисс. ... канд. биол. наук. – М.,1988. – 18 с.
7. Макаров Л.М., Киселева И.И., Долгих В.В. и др. Нормативные параметры ЭКГ у детей // Педиатрия. – 2006. – № 2. - С. 4-10.
8. Макаров Л.М. ЭКГ в педиатрии. – 2002. – 274 с.
9. Меерсон Ф.З. Адаптация сердца к большой нагрузке и сердечная недостаточность. – М.: Наука, 1975. – 263 с.
10. Михайлов В.М. Вариабельность ритма сердца: опыт практического применения. – Иваново: Иван. Гос. Мед. академия, 2002. – 290 с.
11. Мчедлишвили Г.И. Регуляция мозгового кровообращения. – Тбилиси: «Мецниереба», 1980. – 158 с.
12. 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.
13. 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.
14. Рублева Л.В. Развитие основных функций миокарда детей 7-15 лет, проживающих в различных экологических условиях: Дисс. ... канд. биол. наук. – М., 1999. – 188 с.
15. Справочник педиатра-кардиоревматолога / Под ред. Р.Э. Мазо. – Минск: Наука и техника, 1982. – 342 с.
16. Строев Ю.И. Чурилов Л.П., А.Ю.Бельгов, Л.А.Чернова Ожирение у подростков. – СПб., 2003. – 210 с.

17. Трегубова М.В. Особенности сократительной деятельности сердца дзюдоистов 16 – 20 лет массовых разрядов при различной интенсивности физических нагрузок: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Челябинск, 2008. – 22 с.

18. Тупицын И.О., Андреева И.Г., Безобразова В.Н. с соавт. Развитие системы кровообращения//Физиология развития ребенка / Под ред. М.М. Безруких, Д.А.Фарбер, 2000. - С. 148-166

19. Физиология развития ребенка (теоретические и прикладные аспекты) / под ред. М. М. Безруких, Д. А. Фарбер. – М., 2000. – 312 с.

20. Хомич М.М. Возрастные изменения временных показателей электрокардиограммы у детей // Вопр. соврем. педиатрии. – 2006. – N 2. – С. 17-19.

21. Шарапов А. Н., Догаджина С.Б., Рублева Л. В., Кмить Г. В., Безобразова В. Н. Функциональное состояние сердечно-сосудистой системы 13-летних подростков с разными типами вегетативной нервной регуляции //Физиология человека. – 2017. – том 43, № 2. – С. 31-42.

22. Шарапов А.Н., Безобразова В.Н., Догаджина С.Б., Кмить Г.В., Рублева Л.В., Ермакова И.В. Адаптация сердечно-сосудистой и нейроэндокринной систем к нагрузкам разного вида у подростков 12-14 лет // Новые исследования. – 2016. – №4 (49). – С. 21-43.

23. Шварков С.Б. Синдром вегетативной дистонии у детей и подростков: автореф. дис.... докт. мед. наук. – М., 1993. – 70 с.

24. Яруллин Х.Х. Клиническая реоэнцефалография. – М.: Медицина, 1983. – 217 с.

## REFERENCE

1. Baevskij R.M., Berseneva A.P. Vvedenie v donozologicheskiju diagnostiku.- М.: Firma «Slovo», 2008.-208s.

2. Bezobrazova V.N., Dogadkina S.B., Ponomareva T.A. Vozrastnoe razvitie perifericheskogo otdela serdechno-sosudistoj sistemy//Fiziologija razvitija rebjonka: rukovodstvo po vozrastnoj fiziologii/ pod red. M.M. Bezrukih, D.A. Farber. – М. – Voronezh: MPSI, 2010.- 767 s.

3. Individual'nye osobennosti razvitija sistemy krovoobrashhenija shkol'nikov/Pod red. I.O.Tupicyna. – М, 1995. – 64 s.

4. Karpman V.L. Fazovyy analiz serdechnoj dejatel'nosti. – М: Medicina, 1965. – 159 s.

5. Knjazeva M.G., Tupicyn I.O. Vzaimosvjaz' vozrastnyh karakteristik bioelektricheskoy aktivnosti i mozgovogo krovotoka // Fiziologija cheloveka, 1984.- Т. 10.- № 3.- S. 411-416

6. Kolesnichenko S.M. Funkcional'noe sostojanie miokarda levogo zheludochka u detej 7 – 12 let (po dannym jeh- i jelektrokardiografii): avtoref. diss. ... kand. biol. nauk. – М., 1988. – 18s.

7. Makarov L. M., Kiseleva I. I., Dolgih V. V. i dr. Normativnye parametry JeKG u detej // Pediatrija. - 2006. – N 2. - С. 4-10.

8. Makarov L.M. JeKG v pediatrii.-2002.-274s.

9. Meerson F.Z. Adaptacija serdca k bol'shoj nagruzke i serdechnaja nedostatochnost'. – М.: Nauka, 1975 – 263 s.

10. Mihajlov V.M. Variabel'nost' ritma serdca: opyt prakticheskogo primenenija. – Ivanovo: Ivan. Gos. Med. akademija, 2002.–290 s.

11. Mchedlishvili G.I. Reguljacija mozgovogo krovoobrashhenija. – Tbilisi: «Mecniereba», 1980.- 158 s.
12. Pankova N.B. Funkcional'noe razvitie vegetativnoj reguljaciji serdechno-sosudistoj sistemy v ontogeneze cheloveka//Fiziol. Zhurnal im. I.M.Sečenova, 2008.– 94.–№3.–S.267–275
13. Presnjakova N.M. Vzaimosvjaz' sokratitel'noj funkcii miokarda s osnovnymi pokazateljami gemodinamiki u sovremennyh škol'nikov 7 – 17 let: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk. – M., 1979. – 24s.
14. Rubleva L.V. Razvitie osnovnyh funkcij miokarda detej 7-15 let, prozhivajushih v razlichnyh jekologicheskikh uslovijah: Diss....kand.biol.nauk.-M., 1999.-188 s.
15. Spravochnik pediatria-kardioevmatologa / Pod red. R.Je.Mazo.-Minsk: Nauka i tehnika,1982.-342s.
16. Stroev Ju.I. Churilov L.P., A.Ju.Bel'gov, L.A.Chernova Ozhirenie u podrostkov/SPb., 2003. 210 s.
17. Tregubova M.V. Osobennosti sokratitel'noj dejatel'nosti serdca dzjudoistov 16 – 20 let massovyh razrjadov pri razlichnoj intensivnosti fizicheskikh nagruzok: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk. – Cheljabinsk, 2008. – 22s.
18. Tupicyn I.O., Andreeva I.G., Bezobrazova V.N. s soavt. Razvitie sistemy krovoobrashhenija//Fiziologija razvitija rebenka /Pod red. M.M.Bezrukih, D.A.Farber, 2000.-S. 148-166
19. Fiziologija razvitija rebenka (teoreticheskie i prikladnye aspekty) / pod red. M. M. Bezrukih, D. A. Farber. – M., 2000. – 312 s.
20. Homich M.M. Vozrastnye izmenenija vremennyh pokazatelej jelektrokardiogrammy u detej // Vopr. sovrem. pediatrii. - 2006. - N 2. - C. 17-19.
21. Sharapov A. N., Dogadkina S.B., Rubleva L. V., Kmit' G. V., Bezobrazova V. N. Funkcional'noe sostojanie serdechno-sosudistoj sistemy 13-letnih podrostkov s raznymi tipami vegetativnoj nervnoj reguljaciji/Fiziologija cheloveka, 2017, tom 43, No 2, s. 31–42
22. Sharapov A.N., Bezobrazova V.N., Dogadkina S.B., Kmit' G.V., Rubleva L.V., Ermakova I.V. Adaptacija serdechno-sosudistoj i nevrojendokrinnoj sistem k nagruzkam raznogo vida u podrostkov 12-14 let//Novye issledovanija, 2016.-№4 (49).-S 21-43
23. Shvarkov S.B. Sindrom vegetativnoj distonii u detej i podrostkov: avtoref. dis.... dokt. med. nauk - M., 1993.- 70 s.
24. Jarullin H.H. Klinicheskaja reojencefalografija. M.:Medicina, 1983 - 217s.
25. A.S. Sherwood, S.R. Turner Conceptual and methodological overview of cardiovascular reactivity research / //Individual differences in cardiovascular response to stress /Edited by S.R Turner.– N–Y: Plenum Press., 1992.– P.5–27.
26. Aaslid R., Lash S.R., Bardy G.H. et all. Dinamic pressure – flow velocity relationships in the human cerebral circulation // Stroke, 2003.- Vol. 34.- P. 326-341
27. Fukuba Y, Autonomic nervous activities assessed by heart rate variability in pre- and post-adolescent Japanese/ Fukuba Y, Sato H, Sakiyama T, Yamaoka Endo M, Yamada M, Ueoka H, Miura A, Koga S. //J Physiol Anthropol. 2009.–28,№6.–P.269–273.
28. Hamner J.W., Michael A.C., Seiji M. Spectral indices of human cerebral blood flow control: responses to augmented blood pressure oscillations//J. Physiol., 2004.- Vol. 559.- P. 965-973

29. Heart rate variability. Standards of Measurement, Physiological interpretation and clinical use//*Circulation*. –1996.–93/–P.1043–1065.
30. Kushnir M.M., Blamires T., Rockwood [et al.] Liquid chromatography-tandem mass spectrometry assay for androstenedione, dehydroepiandrosterone, and testosterone with pediatric and adult reference intervals // *Clin. Chem*. 2010. V. 56, № 7. P. 1138-1147.
31. Maninger N., Wolkowitz O.M., Reus V.I. [et al.] Neurobiological and neuropsychiatric effects of dehydroepiandrosterone (DHEA) and DHEA sulfate (DHEAS) // *Front. Neuroendocrinol*. 2009 V. 30. P. 65–91.
32. Montano N., Ruscone T.G., Porta A. et al. Power spectrum analysis of heart rate variability to assess the changes in sympathovagal balance during graded orthostatic tilt // *Circulation*. – 1994– Vol. 90, N 4. – P. 1826–1831
33. Mouritsen A., Aksglaede L., Soerensen K. The pubertal transition in 179 healthy Danish children: associations between pubarche, adrenarche, gonadarche, and body composition // *Eur. J. Endocrinol*. 2012. V. 168, № 2. P. 129-136.
34. Pagani M, Lombardi F, Guzzetti S et al Power spectral analysis of heart rate and arterial pressure variabilities as a marker of sympatho–vagal interaction in man and conscious dog.// *COT Res* 1986; 59: 178–193
35. Phan J.M., Schneider E., Peres J. [et al.] Social evaluative threat with verbal performance feedback alters neuroendocrine response to stress // *Horm. Behav*. 2017. V. 96, P. 104-115.
36. Pomeranz M, Macaulay RJB, Caudill MA Assessment of autonomic function in humans by heart rate spectral analysis/. *Am J Physiol* 1985; 248: H151–H153.
37. Saczawa M.E., Graber J.A., Brooks-Gunn J. [et al.] Methodological considerations in use of the cortisol/DHEA(S) ratio in adolescent populations // *Psychoneuroendocrinology*. 2013. V. 38, № 11. 2815-2819.
38. Thankamony A., Ong K.K., Ahmed M.L. [et al.] Higher levels of IGF-I and adrenal androgens at age 8 years are associated with earlier age at menarche in girls // *J. Clin. Endocrinol. Metab*. 2012. V. 97, № 5. P. 786-790.
39. Tolonen U., Sulg I.A. Comparison of quantitative EEG parameters from four different analysis techniques in evaluation of relationships between EEG and CBF in brain infarction// *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, 1981. Vol.51. P. 177-185
40. Tonhajzerova I., Javorka K., Petraskova M Development of heart rate variability parameters in young subjects aged 15-19 // *Ceskoslov.Pediatr*. 1999. - 54/8. - P.421-424.
41. 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
42. 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*, 167, № 3,2003.–P.546–548
43. Van Hulle C.A., Moore M.N., Shirtcliff E.A. [et al.] Genetic and environmental contributions to covariation between DHEA and testosterone in adolescent twins // *Behav. Genet*. 2015. V. 45, № 3. P. 324-340.
44. Vazquez L, Blood JD, Wu J, Chaplin TM, Hommer RE, Rutherford HJ, Potenza MN, Mayes LC, Crowley MJ. High frequency heart-rate variability predicts adoles-

cent depressive symptoms, particularly anhedonia, across one year// J Affect Disord.,2016.-196, №3. -243-247

45. YamamotoY., Hughson RL, Peterson JC Autonomic control of heart rate during exercise studied by heart rate variability/ // J. Appl. Physiol.-1991.-71.-P.1143-1150

## ФИЗИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ ПОДРОСТКОВ 14-15 ЛЕТ МОСКВЫ

Л.В. Макарова<sup>1</sup>, Г.Н. Лукьянец, Т.М. Параничева,  
Г.Н. Лезжова, К.В. Орлов, Е.В. Тюрина,  
ФГБНУ «Институт возрастной физиологии  
Российской академии образования», Москва

*Изучались показатели физического развития и сердечнососудистой системы мальчиков и девочек 14 и 15 лет. Выявлены определенные тенденции физического развития обследованных нами детей, близкие к таковым современных детей Московского региона и некоторые особенности их полового развития. При изучении физического развития подростков 14-15 лет было установлено, что у мальчиков отмечался пубертатный скачок роста, а у девочек затухание пубертатного роста по сравнению с предыдущими годами пубертата. К 15 годам происходило замедление темпа роста у подростков обоих полов. Мальчики имели статистически значимые более высокие показатели массы тела, чем девочки в обоих возрастах. Большинство детей 14-15 лет имело нормальное физическое развитие (74 %). Исключение составляли мальчики 15 лет, среди которых выявлен достоверно более высокий процент дисгармоничного развития. При исследовании сердечно-сосудистой системы выявилось, что артериальное давление, как систолическое, так и диастолическое, в среднем выше у мальчиков, чем у девочек. Было установлено, что имеется корреляция между длиной тела и артериальным давлением, массой тела и давлением, не зависящая от длины тела. Из нозологических категорий значимый (но слабый) эффект на систолическое АД оказывают эндокринная патология и патология нервной системы. Показатели полового созревания были близки к показателям, характерным для подростков этого возраста Московского региона. У мальчиков 14 лет преимущественно наблюдалась 2 и 3 степени выраженности вторичных половых признаков, в 15 лет большинство подростков имело 3 степень. Среди 14-летних подростков отсутствовали девочки с 0 степенью выраженности вторичных половых признаков, а в 15 лет 1 степень отмечена лишь у незначительного числа девочек. Наличие менархе отмечено у 90,4 % девочек 14 лет и 96,8% девочек 15 лет.*

**Ключевые слова:** физическое развитие, подростки 14 и 15 лет, гармоничное развитие, избыток массы тела, дефицит массы тела, половое созревание

**Physical development of 14-15-year-old teenagers of Moscow.** The paper presents the study of physical development and cardiovascular system in 14-15-year-old boys and girls. There were identified certain trends in their sexual development and physical development, similar to those of modern children of the Moscow region. The study of physical development of 14-15-year-old adolescents showed that boys had a pubertal leap, whereas girls demonstrated the attenuation of pubertal growth in comparison with the previous years of puberty. Up to the age of 15, there was revealed a developmental slowdown in adolescents of both sexes. Boys had statistically significant higher body weight indices than girls of both age groups. The majority of children of 14-15 years

---

Контакты: <sup>1</sup> Макарова Л.В. – E-mail: <ludmilavm@mail.ru>



*old had normal physical development (74 %). The exception was the boys of 15 years of age, among who there was revealed a significantly higher percentage of disharmonious development. The study of the cardiovascular system showed that the blood pressure, both systolic and diastolic, on average is higher in boys than in girls. It was found that there is a correlation between the blood pressure and the length of the body, the blood pressure and the body weight, independent of body length. From the nosological perspective, endocrine pathology and pathology of the nervous system have significant (but weak) effect on the systolic blood pressure. Indicators of puberty were close to those typical for teenagers of this age in the Moscow region. At the age of 14 boys demonstrated mainly 2<sup>nd</sup> and 3<sup>rd</sup> degree of the maturity of secondary sexual characteristics, whereas at the age of 15, most adolescents had the 3<sup>rd</sup> degree. Among 14-year-olds there were no girls with 0-degree development of secondary sexual characteristics and at the age of 15 years the 1<sup>st</sup> degree was observed only in a small number of girls. The presence of menarche was observed in 90.4 percent of girls of 14 years of age and in 96.8 % of 15-year-old girls.*

**Key words:** *physical development, adolescents aged 14 and 15 y.o., harmonious development, surplus of body weight, body weight deficiency, puberty*

Подростковый возраст – это период, когда закладывается физический, психический, духовный, репродуктивный базис для последующей жизни, когда происходит становление физиологического статуса и формирование личности будущего члена общества. Экологическая, экономическая, психологическая обстановка в современном мире меняется год от года, и с нею меняется и наш подросток. Новые тенденции в физическом и психическом развитии отмечаются медиками и физиологами во всем мире.

На фоне сохранения основных характеристик ростовых процессов выявлены негативные изменения в морфофункциональном развитии современных школьников, а именно: выраженная дисгармонизация развития, особенно за счет увеличения числа детей с избытком массы тела, склонность к гипертензии и тахикардии, все чаще встречаются врожденные патологии и аномалии развития сердца. По данным Е.А. Лаптевой [6] снижение функциональных возможностей ССС проявляется в виде гипертензии у 28,7 % мальчиков и у 36,8 % девочек. Гипотензия также имеет место: у 6,9% мальчиков и у 11,2% девочек. Помимо этого, отмечено, что дети с повышенным индексом массы тела имели более высокие значения систолического артериального давления [13]. Другими авторами при исследовании ФР детей от рождения до 18-летнего возраста было отмечено, что параллельно с ростом величины массы тела растет и риск для здоровья [22]. Важную роль в формировании врожденных патологий отводится тератогенному воздействию слабоалкогольных напитков [20].

Крупномасштабные исследования 10-летней давности, проведенные в семи округах Российской Федерации по инициативе НИИ имени Н.А.Семашко, выявили нормальное физическое развитие только у 67 % школьников [5; 8].

По результатам исследования Научного центра здоровья детей в предыдущие десятилетия (1990-2012 гг.) во всех возрастных группах школьников (10-15 лет) отмечено достоверное увеличение длины, массы тела по сравнению со сверстниками предыдущих десятилетий. Толщина подкожно-жировых складок у девочек 8-15 лет в 2000-х годах оказалась в 1,1-2,5 раза больше, чем у их сверстниц в

1980-х годах. Вместе с тем, показатели мышечной силы правой руки у мальчиков снизились на 8,9-9,8 кг, у девочек – на 7,9-9,4 кг [3]. По другим данным, показатели мышечной силы еще ниже – на 11,0-14,6 [2]. Такая картина наблюдается в разных возрастных группах от 8 до 15 лет и в других регионах страны (Нижний Новгород, Киров, Архангельск, Уфа) [2; 11].

Многочисленные данные свидетельствуют об изменениях в физическом развитии современных подростков, как на уровне индивидуума, так и на популяционном уровне и обусловлены стремительным увеличением числа и изменением соотношения факторов риска, влияющих на рост и развитие. Все перечисленное выше свидетельствует о том, что исследования уровня здоровья в различных регионах нашей страны остаются востребованными и актуальными.

**Целью** данного исследования было определить возрастные и половые особенности физического развития детей 14-15 лет.

### ОРГАНИЗАЦИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Обследован 761 подросток 14-15 лет (356 мальчиков и 405 девочек) из ОУ г. Москвы. При определении возраста соблюдались следующие правила возрастной периодизации: к 14-летним были отнесены дети в возрасте от 13 лет 6 мес. до 14 лет 5 мес. 29 дней, к 15-летним – дети в возрасте 14 лет 6 мес. до 15 лет 5 мес. 29 дней.

На рисунке 1, представлено возрастное отклонение в днях от центровано исчисленного возраста. Во всех группах дети распределены равномерно относительно центра «0 дней», что свидетельствует о сбалансированности выборки.

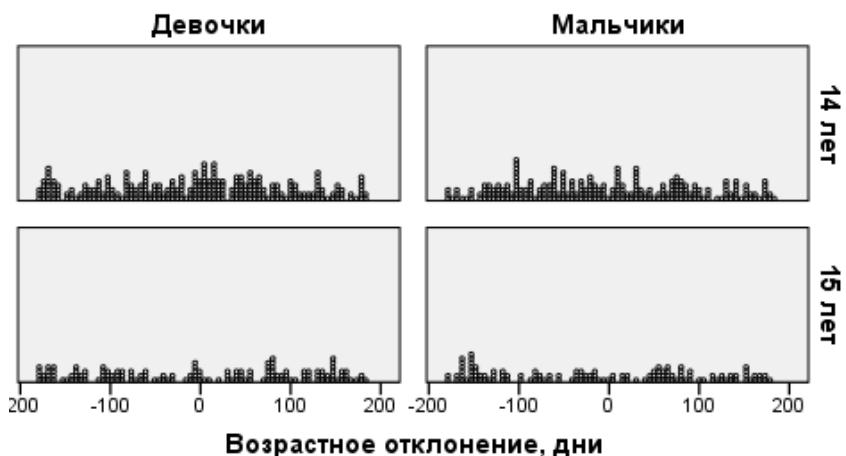


Рис. 1. Распределение возрастного отклонения от «ровно столько-то лет»

Для выявления особенностей физического развития в группах мальчиков и девочек 14-15 лет проводилось определение длины, массы тела, индекса массы тела (ИМТ), уровня физического развития и степени его гармоничности. Сбор и обработка антропометрических данных производился по стандартной методике

[4; 12]. Определялась частота сердечных сокращений (ЧСС), систолическое и диастолическое артериальное давление (АД) методом Короткова. При оценке полового развития учитывалось наличие и степень выраженности вторичных половых признаков: у девочек - молочных желез (Ма), лобкового (Р), аксилярного (Ах) оволосения и характер менструальной функции (Ме); у мальчиков - лобковое (Р), аксилярное (Ах) оволосения. Морфологическая зрелость репродуктивной системы оценивалась по уровню полового созревания с интеграцией в половую формулу МаАхРМе [23].

Статистическая обработка проводилась с помощью программы SPSS Statistics. Сравнение показателей проводилось по t-критерию Стьюдента. Использовались также дисперсионный анализ, z-критерий долей, коэффициент корреляции Пирсона (r), коэффициент корреляции Спирмена, коэффициент Ошиа, регрессия, анализ главных компонент, канонический корреляционный анализ. Значимые на двустороннем уровне ( $p < 0,05$ ) различия между группами обозначены в таблицах с помощью разных подстрочных латинских букв, при отсутствии таковых - отмечены одной и той же подстрочной буквой.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Изучение показателей длины тела у подростков показало (табл. 1), что 15-летние подростки в среднем на 3 см выше 14-летних (на 4,3 см мальчики и на 2,3 см девочки). Если обратимся к данным, полученным нами ранее на возрастной группе 12-13 лет, то можно отметить, что прирост между 12-ю и 13-ю годами составлял у мальчиков 6,8 см и у девочек 6,3 см. В возрасте 14 лет у девочек уже наблюдалось затухание пубертатного роста, а у мальчиков, напротив, темп роста усиливался [9]. Заметим, что если в 13 лет мальчики были ниже девочек на сантиметр, то в 14 лет они в среднем выше на 4,9 см, а в 15 лет они опережали девочек в росте на 6,9 см. Вместе с тем, как показывают годовые приросты, к 15 годам происходит замедление темпа роста у подростков обоих полов.

Результаты исследования показали, что у подростков средняя длина тела встречается в разных группах с частотой от 63,2 до 71,7 %. Наибольший процент случаев наблюдался среди 15-летних подростков, по сравнению с 14-летними (71,1 против 66,1 %), и в большей мере у девочек по сравнению с мальчиками (71,7 против 63,2 %). У мальчиков-подростков изменчивость показателя длины тела выражена сильнее, чем среди девочек.

Различия в распределении подростков по вариантам длины тела в зависимости от пола и возраста подтвердил и примененный нами регрессионный анализ данных. На рисунке 2 отображена зависимость длины тела от возраста, выраженного в тысячах дней. Срединная тенденция увеличения длины тела на этом рисунке показана кривой LOESS (локальная регрессия наименьших квадратов; ядро Епанечникова, аппроксимация по 25 % ближайших точек). Хорошо видно, что эта линия увеличения длины тела более крутая у мальчиков, особенно в начале. У девочек она уплощается почти до горизонтали. Таким образом, и здесь подтверждается более выраженная вариативность показателя длины тела у подростков-мальчиков, чем у подростков-девочек этого же возраста.

*Таблица 1*

*Длина и масса тела у подростков 14 и 15 лет (M±m)*

Показатель	14 лет	15 лет	M	Д	14 лет		15 лет	
					М	Д	М	Д
Длина тела, см	164,5±0,4 <sub>a</sub>	167,7 ± 0,6 <sub>b</sub>	168,5 ± 0,5 <sub>a</sub>	162,9 ± 0,4 <sub>b</sub>	167, ± 0,7 <sub>a</sub>	162,2±0,9 <sub>b</sub>	171,4±0,9 <sub>a</sub>	164,5±0,6 <sub>b</sub>
Масса тела, кг	57,2 ± 0,6 <sub>a</sub>	60,7±0,8 <sub>b</sub>	61,3 ± 0,8 <sub>a</sub>	55,8 ± 0,6 <sub>b</sub>	59,6 ± 1,0 <sub>a</sub>	55,2±0,8 <sub>b</sub>	64,8 ± 1,4 <sub>a</sub>	57,1 ± 0,9 <sub>b</sub>
ИМТ, усл.ед.	21,1 ± 0,2 <sub>a</sub>	21,5 ± 0,2 <sub>b</sub>	21,5 ± 0,2 <sub>a</sub>	21,0 ± 0,2 <sub>a</sub>	21,2 ± 0,3 <sub>a</sub>	20,9 ± 0,3 <sub>a</sub>	22,0 ± 0,4 <sub>a</sub>	21,1 ± 0,3 <sub>a</sub>

Таблица 2

*Распределение детей 14-15 лет по вариантам длины тела в зависимости от пола и возраста (в %)*

Вариант длины тела	14 лет	15 лет	M	Д	14 лет		15 лет	
					М	Д	М	Д
Низкая	4,5 <sub>a</sub>	3,5 <sub>a</sub>	4,8 <sub>a</sub>	3,6 <sub>a</sub>	4,1 <sub>a</sub>	4,9 <sub>a</sub>	6,4 <sub>a</sub>	0,9 <sub>b</sub>
Ниже среднего	10,7 <sub>a</sub>	10,0 <sub>a</sub>	10,7 <sub>a</sub>	10,2 <sub>a</sub>	10,7 <sub>a</sub>	10,7 <sub>a</sub>	10,6 <sub>a</sub>	9,3 <sub>a</sub>
Средняя	66,1 <sub>a</sub>	71,1 <sub>a</sub>	63,2 <sub>a</sub>	71,7 <sub>b</sub>	66,1 <sub>a</sub>	71,1 <sub>a</sub>	63,2 <sub>a</sub>	71,7 <sub>b</sub>
Выше среднего	16,8 <sub>a</sub>	12,9 <sub>a</sub>	18,9 <sub>a</sub>	12,7 <sub>b</sub>	21,3 <sub>a</sub>	12,9 <sub>b</sub>	13,8 <sub>a</sub>	12,1 <sub>a</sub>
Высокая	1,9 <sub>a</sub>	2,5 <sub>a</sub>	2,4 <sub>a</sub>	1,8 <sub>a</sub>	2,5 <sub>a</sub>	1,3 <sub>a</sub>	2,1 <sub>a</sub>	2,8 <sub>a</sub>

Таблица 3

*Распределение детей 14-15 лет по вариантам физического развития (в %)*

Вариант физического развития	Группа							
	14 лет	15 лет	M	Д	М 14 лет	Д 14 лет	М 15 лет	Д 15 лет
Нормальное	74,2 <sub>a</sub>	62,7 <sub>b</sub>	66,7 <sub>a</sub>	73,8 <sub>a</sub>	74,6 <sub>a</sub>	73,8 <sub>a</sub>	50,0 <sub>a</sub>	73,8 <sub>b</sub>
Дефицит массы	8,5 <sub>a</sub>	19,4 <sub>b</sub>	12,7 <sub>a</sub>	11,4 <sub>a</sub>	6,1 <sub>a</sub>	10,7 <sub>a</sub>	26,6 <sub>a</sub>	13,1 <sub>b</sub>
Избыток массы	10,9 <sub>a</sub>	11,9 <sub>a</sub>	13,4 <sub>a</sub>	9,3 <sub>a</sub>	12,7 <sub>a</sub>	9,3 <sub>a</sub>	14,9 <sub>a</sub>	9,3 <sub>a</sub>
Низкий или высокий рост	6,4 <sub>a</sub>	6,0 <sub>a</sub>	7,2 <sub>a</sub>	5,4 <sub>a</sub>	6,6 <sub>a</sub>	6,2 <sub>a</sub>	8,5 <sub>a</sub>	3,7 <sub>a</sub>

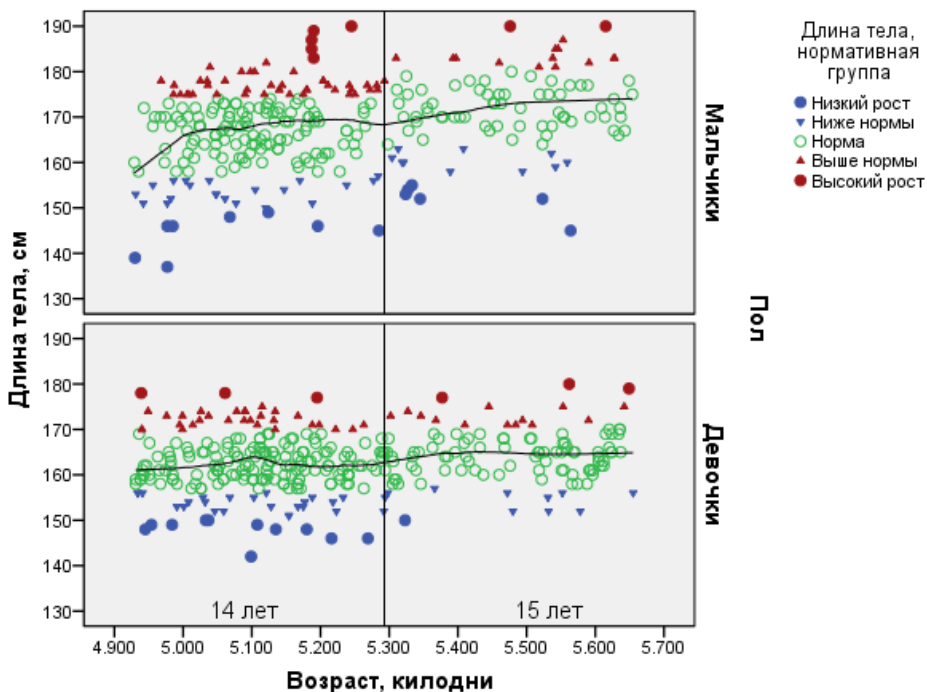


Рис. 2. Длина тела в зависимости от возраста

Теперь обратимся к показателям массы тела у подростков разного пола 14 и 15 лет. Из таблицы 1 видно, что средние показатели массы тела у 15-летних подростков на 3,5 кг больше, чем у 14-летних. Также масса тела мальчиков-подростков значительно больше, чем девочек того же возраста. Таким образом, по показателям массы тела выявляются половые и возрастные различия в исследуемых нами группах.

При распределении подростков по уровню физического развития были получены следующие результаты (таблица 3). Среди обследованных подростков около 74 % детей имели нормальную относительно роста массу тела, в 15 лет этот процент был ниже, чем в 14 лет. С увеличением возраста от 14 к 15 годам отмечено уменьшение количества подростков с нормальным ФР. Это происходило в основном за счет увеличения доли подростков с дефицитом массы тела, причем в 15-летнем возрасте их было больше, чем в 14 лет. Детей с дефицитом массы в нашей выборке 15 лет было значительно больше среди мальчиков (26,6 против 13,1 %). Избыток массы тела также несколько чаще встречался среди мальчиков, особенно в возрасте 15 лет (14,9 % против 9,3 % у девочек), однако эти различия недостоверны. Как видим, вхождение мальчиков в активную фазу пубертата сопровождается более выраженным проявлением дисгармоничности их развития. Это явление было отмечено и другими исследователями [21].

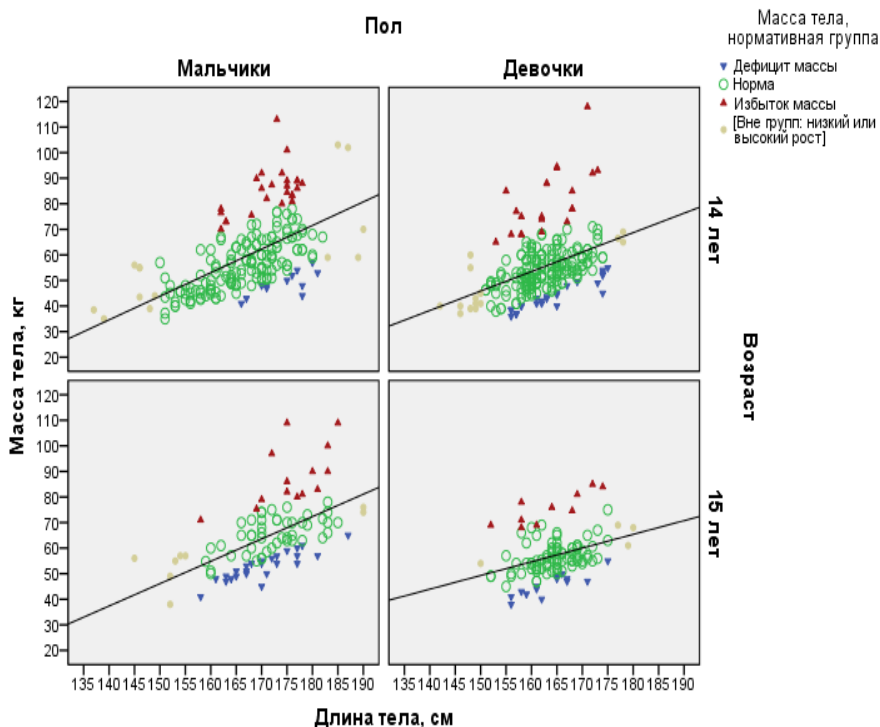


Рис. 3. Масса тела в зависимости от длины тела.

Нами была рассмотрена также зависимость массы тела от длины тела. Эта зависимость показана на рисунке 3 с помощью линии, полученной в результате аппроксимации линейной регрессией наименьших квадратов. Как видно, эта линия тела у мальчиков-подростков более выражена и имеет гораздо больший угол наклона, чем у подростков-девочек. Это говорит и о более выраженной у мальчиков интенсивности нарастания массы тела при увеличении его длины.

Далее нам было интересно посмотреть, в какой взаимосвязи находятся группы подростков с нормальной длиной тела и с нормальной массой тела. Результаты исследований показали, что эта связь достигла статистической значимости (хи-квадрат,  $N=584$ ,  $df=4$ ,  $p<0,05$ ). Сырые частоты и приведенные пирсоновские остатки показаны в следующей таблице 4.

Приведенный остаток говорит о величине частотной перепредставленности или недопредставленности данной категории (ячейки таблицы) по сравнению с ожидаемой при отсутствии связи. По остаткам видно, что те испытуемые, у которых длина тела выше нормы, относительно часто имеют и избыток массы в нашей выборке (приведенный остаток 2,9).

Таблица 4

Длина тела, нормативная группа \* Масса тела, нормативная группа  
Crosstabulation

		Масса тела, нормативная группа			Всего	
		Дефицит массы	Норма	Избыток массы		
Длина тела, Ниже норматив- ная группа	Частота	9	51	5	65	
	Приведенный остаток	0,3	0,7	-1,1		
	Норма	Частота	49	328	45	422
		Приведенный остаток	-1,4	2,3	-1,6	
	Выше нормы	Частота	17	60	20	97
		Приведенный остаток	1,5	-3,3	2,9	
Всего	Частота	75	439	70	584	

Таким образом, обобщая вышесказанное, нужно отметить, что большинство подростков 14-15 лет имели нормальное ФР. Вместе с тем, практически 1/3 школьников 15 лет имела дисгармоничное ФР. Более чем у четверти мальчиков-подростков наблюдался дефицит массы тела. Здесь мы сталкиваемся с определенными тенденциями в развитии современных школьников, усиливающимися год от года и имеющими некоторые особенности в зависимости региональных экологических, экономических, технологических и других влияний на рост и развитие ребенка [1; 6]. Следует отметить, что среди результатов исследований и выводов, сделанными разными авторами, имеют место и близкие к нашим. Так, например, при изучении развития школьников в возрастном аспекте (от 6 до 19 лет) было выявлено преобладание среднего уровня физического развития у девушек и низкого уровня у мальчиков, а также, по мере увеличения возраста, - уменьшение числа школьников со средним уровнем развития и увеличение с низким уровнем развития [21]. Другими авторами, у 14-летних школьников Воронежской области, напротив, выявлена склонность к избытку массы тела [14]. В Башкирии при изучении ФР школьников 8-16 лет установлено, что доля детей с избытком массы тела превышает долю детей с дефицитом массы тела в 2 раза [11]. При обследовании школьников 7-17 лет Омской области [17] было установлено, что количество детей с физическим развитием выше среднего и высоким преобладало у девочек, ниже среднего и низким – у мальчиков. Было отмечено также, что проявления дисгармоничности ФР регистрировались в периоде адаптации и в пубертатном возрасте за счет дефицита и избытка массы тела. В промышленном регионе (г. Кемерово) примерно у трети учащихся старшего подросткового возраста дисгармоничное развитие связано с дефицитом массы тела [10]. В Ямало-Ненецкой

школе у 50-58% обследованных разных возрастных групп было отмечено дисгармоничное физическое развитие [15].

Как видим, у большинства указанных авторов мы находим созвучие и подтверждение выявленных нами тенденций в развитии подростков 14-15 лет.

При изучении нами состояния ССС у школьников 14-15 лет, было установлено, что систолическое и диастолическое артериальное давление в среднем выше у мальчиков, чем у девочек (таблица 5). Корреляция между систолическим и диастолическим давлением составила 0,59. Корреляция между систолическим и ЧСС равна 0,22, а между диастолическим и ЧСС равна 0,14. На рисунке 4 представлены диаграммы рассеяния. Имеется корреляция между длиной тела и артериальным давлением ( $r$  Пирсона 0,35 для верхнего АД и 0,25 для нижних АД). Имеется также корреляция между массой тела и давлением, не зависящая от длины тела (частной корреляции 0,35 как для верхнего АД, так и для нижнего АД).

Таблица 5

Показатели АД и ЧСС у мальчиков и девочек 14-15 лет ( $M \pm m$ )

Показатель	14 лет	15 лет	М	Д	14 лет		15 лет	
					М	Д	М	Д
АД верхнее, мм. рт.ст.	114,0 $\pm 0,6_a$	115,4 $\pm$ 0,8 $_a$	116,5 $\pm$ 0,7 $_a$	112,6 $\pm$ 0,6 $_b$	116,0 $\pm$ 0,9 $_a$	112,2 $\pm$ 0,8 $_b$	117,4 $\pm$ 1,2 $_a$	113,6 $\pm$ 1,0 $_b$
АД нижнее, мм. рт.ст.	69,6 $\pm 0,4_a$	70,3 $\pm$ 0,5 $_a$	71,5 $\pm$ 0,5 $_a$	68,4 $\pm$ 0,4 $_b$	71,4 $\pm$ 0,6 $_a$	68,0 $\pm$ 0,5 $_b$	71,6 $\pm$ 0,9 $_a$	69,1 $\pm$ 0,7 $_b$
ЧСС, уд. в мин.	79,1 $\pm$ 0,5 $_a$	78,9 $\pm$ 0,7 $_a$	78,8 $\pm$ 0,6 $_a$	79,3 $\pm$ 0,5 $_a$	78,9 $\pm$ 0,7 $_a$	79,3 $\pm$ 0,6 $_a$	78,7 $\pm$ 0,2 $_a$	79,1 $\pm$ 0,9 $_a$

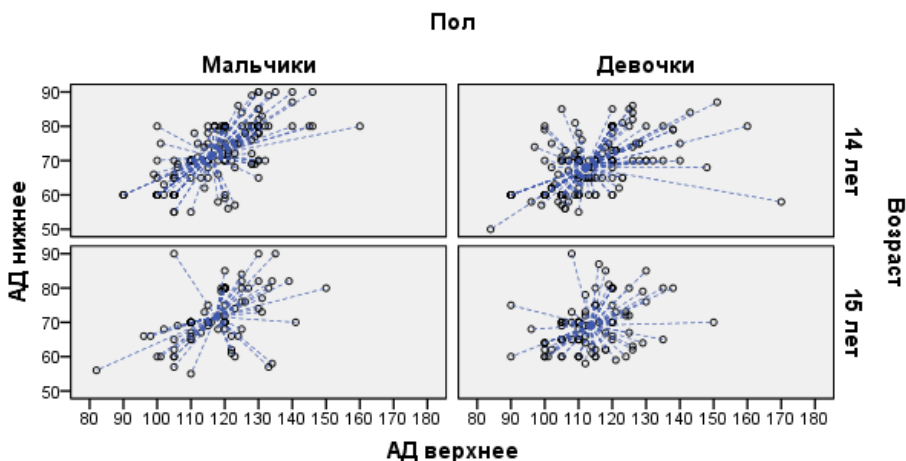


Рис. 4. Показатели артериального давления у подростков 14-15 лет.



Нами также была рассмотрена взаимосвязь показателей состояния ССС с патологией других систем организма обследованных нами подростков. Линейная регрессия методом отбора наилучшего подмножества предикторов показала, что из нозологических категорий значимый (но слабый) эффект на систолическое АД оказывают эндокринная патология и патология нервной системы. Эффект отмечен негативный: наличие патологии связано с более низким давлением. На диастолическое давление не найдено эффектов со стороны патологии.

Уровень полового развития подростков оценивался по степени выраженности вторичных половых признаков. Результаты представлены в таблицах 6 и 7. В 14 лет 0 степень выраженности вторичных половых признаков имело 7,9 % мальчиков, в 15 лет – 3,8 %. У подростков мужского пола преимущественно наблюдалась 2-я и 3-я степени выраженности волосяного покрова: в 14 лет в подмышечных впадинах в 57,4 % и на лобке в 69,7 % случаев, в 15 лет – соответственно в 86,5 и 89,9 % случаев.

Среди 14-летних подростков в нашей выборке практически отсутствовали девочки с 0 степенью выраженности вторичных половых признаков, а в 15 лет 1 степень отмечена лишь у незначительного числа девочек (по отдельным признакам в 1,1 - 4,2 % случаев). Девочки 14 и 15 лет имели 3-ю степень выраженности молочных желез соответственно 66,8 и 74,7 %, волосяного покрова в подмышечной впадине – 63,5 и 61,1 %, волосяного покрова на лобке – 63,9 и 69,5 % случаев.

Важным показателем биологического развития является возраст начала менструального цикла. Наличие менархе отмечено у 90,4 % девочек 14 лет и 96,8 % девочек 15 лет. Обращает на себя внимание тот факт, что, хотя и в незначительном числе случаев (3,2 %), 15-летние подростки женского пола в нашей выборке сообщили об отсутствии регул.

Таблица 6

Показатели полового созревания мальчиков 14-15 лет, %

Степень выраженности признака	14 лет	15 лет
Ax0	7,9	3,8
Ax1	34,8	8,9
Ax2	34,8	34,2
Ax3	22,5	53,2
P0	3,9	0,0
P1	26,4	6,3
P2	38,8	22,8
P3	30,9	67,1
P4	0,0	3,8
N	178	79

Показатели полового созревания девочек 14-15 лет, %

Степень выраженности признака	14 лет	15 лет
Ma0	0,0	0,0
Ma1	10,1	3,2
Ma2	22,6	18,9
Ma3	66,8	74,7
Ma4	0,5	3,2
Ax0	0,5	0,0
Ax1	10,6	1,1
Ax2	25,5	37,9
Ax3	63,5	61,1
P0	0,0	0,0
P1	11,5	4,2
P2	23,1	22,1
P3	63,9	69,5
P4	1,4	4,2
Me+	90,4	96,8
N	208	95

Исследователями ФР детей и подростков было установлено, что по степени выраженности половых признаков современные школьники несколько опережают своих сверстников предыдущих поколений. Данная тенденция хорошо выражена у мальчиков 11-13 лет и девочек в 9 лет. Первые признаки полового созревания у современных детей появляются в более ранние сроки: у мальчиков с 10 лет (у 2 % - 1 степень выраженности волосяного покрова в подмышечных впадинах). Вместе с тем, в литературе отмечается и иная тенденция. По материалам Бюро отделения профилактической медицины РАМН (апрель 2011 г.) более чем у 30 % девушек и у такого же количества юношей выявляется задержка полового созревания. Более 40 % мальчиков страдают заболеваниями, которые в дальнейшем могут ограничить возможность реализации репродуктивной функции. При этом частота андрологических болезней за последние годы увеличилась на 50 % [19].

Некоторые авторы половое созревание связывают с уровнем физического развития. Так, у подростков, проживающих в промышленном центре Южного Урала, при изучении взаимосвязи параметров ФР и полового развития было выявлено, что уровень полового развития, срок появления вторичных половых признаков взаимосвязаны с темпами ФР, независимо от половой принадлежности [16]. Для детей с ускоренным темпом ФР характерны опережение полового развития и более раннее появление вторичных половых признаков; с замедленным темпом ФР – отставание полового развития и более позднее появление вторичных половых признаков.

Средний возраст менархе у современных девочек соответствует 12–13 годам. Несмотря на снижение среднего возраста менархе у современных девочек, регулярный менструальный цикл часто устанавливается преимущественно между 15 и 16 годами (т.е. через 2-3 года с менархе). Становление менструального цикла при этом сопровождается более высокой частотой патологических отклонений: у каждой третьей девочки (30 %) ритм менструаций не устанавливался в течение года и более от менархе, а менструации были редкими и скудными. В 70-е годы прошедшего столетия всего в 0,57 % наблюдавшихся случаев стабилизация менструального ритма потребовала более года. В начале текущего столетия у каждой второй девушки (50,8 %) менструации были болезненными, в то время как в 1970-е годы у 82,4-85,7 % девочек менструации были безболезненные; у 7 % девочек продолжительность менструального кровотечения превысила 7 дней (в 1960-е годы меноррагию имели лишь 0,6-2,8% девочек) ( $p < 0,05$ ) [10]. Если в возрасте 11-12 лет отставание полового развития преимущественно обусловлено отсутствием или недостаточным развитием половых признаков, в возрасте 13-15 лет – как недостаточным развитием половых признаков, так и неустановившимися, болезненными менструациями или их отсутствием.

Показательны в связи с приведенными выше исследованиями результаты работы, выполненные О.Ф. Чернякиной и В.С. Гориным [18]. Давая сравнительную оценку показателей физического развития девочек Кузбасса в 70-х годах прошлого века и начала нового столетия, они свидетельствуют о появлении новых характеристик, не свойственных развитию подростков 70-х годов. Физическое развитие современных девочек в периоде полового созревания авторы характеризуют одновременными процессами акселерации и ретардации. Исследователи приходят к выводу о том, что современные тенденции пубертатного развития девочек Кузбасса можно рассматривать как результат недостаточной стимуляции эстроген-зависимых процессов и пролонгирования формирования зрелости гипоталамо-гипофизарно-яичниковой системы, которые могут прогнозировать снижение реализации репродуктивной функции при достижении репродуктивного возраста.

В заключении хотелось бы отметить, что явление пролонгирования полового созревания у современных детей, отмечающееся рядом авторов [10; 18; 19 и др.], прослеживается и в результатах наших исследований. Мы можем наблюдать и раннее появление половых признаков, и раннее наступление менархе в 12-13 лет (более раннее по сравнению с предыдущим веком). Однако стадия полового созревания оставалась еще низкой – второй-третьей, поскольку не завершилось еще формирование детородных органов, недостаточно созрела гипоталамо-яичниковая система у девочек, и имеет место задержка полового созревания у мальчиков, несмотря уже имеющийся у них подростковый 14-15-летний возраст.

Возможно, при исследовании причин данного явления нужно вспомнить о связи физического и полового развития с состоянием соматического здоровья подростков, которое год от года ухудшается у школьников за время их взросления в школе. В подтверждение можно привести данные проведенного нами исследования состояния здоровья данного контингента [7]. В этой работе показано увеличение с возрастом доли детей с нарушениями опорно-двигательного аппарата (с 39,7 в 12 лет до 51,4 % в 15 лет), с патологией зрения (с 15,3 в 12 лет до 27,8 % в 15 лет) и возрастание школьников с наличием заболеваний ССС к 15 годам – до 30 %.

Все это говорит о том, что физическое и половое развитие и показатели состояния здоровья следует рассматривать в комплексе. Изучение основных тенденций формирования физического и полового развития современных детей и подростков может послужить основанием для разработки мер по сохранению их здоровья.

## ВЫВОДЫ

1. При изучении физического развития подростков 14-15 лет было установлено, что у мальчиков отмечался пубертатный скачок роста, а у девочек затухание пубертатного роста по сравнению с предыдущими годами пубертата. К 15 годам происходит замедление темпа роста у подростков обоих полов.

2. Мальчики имеют статистически значимые более высокие показатели массы тела, чем девочки в обоих возрастах.

3. Большинство детей 14-15 лет имело гармоничное (нормальное) физическое развитие (74 %). Исключение составляли мальчики 15 лет, среди которых выявлен достоверно более высокий процент дисгармоничного физического развития.

4. При исследовании сердечно-сосудистой системы выявилось, что артериальное давление, как систолическое, так и диастолическое, в среднем выше у мальчиков, чем у девочек. Средние величины частоты пульса не различаются существенно у подростков разного пола в разных возрастных группах. Было также установлено, что имеется корреляция между длиной тела и артериальным давлением ( $r$  Пирсона 0,35 для верхнего АД и 0,25 для нижних АД). Имеется также корреляция между массой тела и давлением, не зависящая от длины тела ( $r$  частной корреляции 0,35 как для верхнего АД, так и для нижнего АД). Из нозологических категорий значимый (но слабый) эффект на систолическое АД оказывают эндокринная патология и патология нервной системы.

5. Показатели полового созревания близки к показателям, характерным для подростков этого возраста Московского региона. У мальчиков 14 лет преимущественно наблюдалась 2 и 3 степени выраженности вторичных половых признаков, в 15 лет большинство подростков имело 3 степень выраженности волосяного покрова в подмышечных впадинах и на лобке.

6. Среди 14-летних подростков отсутствовали девочки с 0 степенью выраженности вторичных половых признаков, а в 15 лет 1 степень отмечена лишь у незначительного числа девочек (по отдельным признакам в 1,1-4,2 % случаев). Девочки 14 и 15 лет преимущественно имели третью степень выраженности вторичных половых признаков (61,1-74,7 % случаев). Наличие менархе отмечено у 90,4 % девочек 14 лет и 96,8% девочек 15 лет.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баранов А.А., Ильин А.Г. Основные тенденции динамики состояния здоровья детей в Российской Федерации. Пути решения проблем//Вестник РАМН. – 2011. – № 6. – С. 12-18.
2. Баранов А.А., Кучма В.Р., Скоблина Н.А. и др. Основные закономерности морфофункционального развития детей и подростков в современных условиях / Вестник РАМН. – 2012. – № 12. – С. 35-40.

3. Баранов А.А., Намазова-Баранова Л.С., Ильин А.Г. Сохранение и укрепление здоровья подростков – залог стабильности развития общества и государства (состояние проблемы) // Вестник РАМН. – 2014. – № 5-6. – С. 65-70.
4. Бунак В.В. Антропометрия. – М.: Учпедгиз, 1941. – 367с.
5. Кучма В.Р., Сухарева Л.М. Состояние и прогноз здоровья школьников (итоги 40-летнего наблюдения) // Российский педиатрический журнал. – 2007. – № 7. – С. 53-57.
6. Лаптева Е.А. Особенности развития детей на современном этапе в крупном мегаполисе // Здоровье и образование в XXI веке (Серия медицина). – 2012. – Том 14, № 2. – С. 113.
7. Лезжова Г.Н., Лукьянец Г.Н., Макарова Л.В., Параничева Т.М., Орлов К.В., Тюрина Е.В., Новолодская Г.В. Состояние здоровья школьников 14-15 лет города Москвы // XXVII международная научно-практическая конференция по проблемам физического воспитания учащихся - “Человек, здоровье, физическая культура и спорт в изменяющемся мире” - 29 сентября – 1 октября 2017 г.- Коломна. – С. 167-175..
8. Ляпин В.А. Физическое здоровье детей крупного промышленного центра нефтехимической промышленности. - Сибирь-Восток. – 2003. – № 4. – С.18-20.
9. Макарова Л.В., Лукьянец Г.Н., Параничева Т.М., Лезжова Г.Н., Тюрина Е.В., Орлов К.В. Состояние здоровья и физическое развитие детей 12-13 лет // Новые исследования. – 2015. – № 3. – С. 43-57.
10. Маштакова Е.В., Лобанова Т.А., Анфиногенова О.Б. Аспекты здоровья подростков в разные периоды пубертатного возраста // Мать и дитя в Кузбассе. – 2015. – №2(61). – С. 40-44.
11. Поварго Е.А., Зулькарнаев А.Т., Овсянникова Л.Б. и др. Региональные особенности физического развития школьников // Гигиена и санитария. – 2014. – № 4. – С. 72-74.
12. Руководство по школьной медицине. Медицинское обеспечение детей в дошкольных, общеобразовательных учреждениях и учреждениях начального и среднего профессионального образования / Под ред. Чл.-корр. РАМН, проф. В.Р. Кучмы. – М.: Издательство научного центра здоровья РАМН, 2012. – 215 с.
13. Садыкова Д.И., Лутфуллин И.Я. Первичная артериальная гипертензия и гипертрофия миокарда в детском и подростковом возрасте // Педиатрия. – 2009. – Том 88, № 5. – С. 16-21.
14. Ситникова В.П., Настаушева Т.Л., Жданова О.А. и др. Сравнительная характеристика показателей физического развития подростков 14 лет Воронежской области // Российский вестник перинатологии и педиатрии. – 2014. – С. 94-98.
15. Тармаева И.Ю., Ефимова Н.В. Гигиеническая оценка питания и физического развития детей, находящихся в школе-интернате // Здоровье и образование в XXI веке. – 2016. – №11. – С. 92-98.
16. Узунова А.Н., Лопатина Д.А., Петрунина С.Ю. и др. Особенности взаимосвязи параметров физического и полового развития подростков Челябинска // Гигиена и санитария. – 2014. – № 4. – С. 75-78.
17. Флянку И.П., Приешкин А.Н., Салова Ю.П., Павлов Г.К. Морфологические показатели, характеризующие уровень физического развития школьников // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 1. – С. 154-158.

18. Черныкина Л.П., Горин В.С. Современное пубертатное развитие девочек в зобно-эндемичном районе Кузбасса // Сибирский медицинский журнал. – 2009. – № 5. – С. 117-121.

19. Чичерин Л.П., Щепин В.О., Согияйнен А.А. Состояние здоровья подростков как призывного ресурса // Проблемы социальной гигиены, здравоохранения и истории медицины. – 2013. – № 3. – С. 20-24.

20. Чумакова Г.А., Колесникова О.И., Гончаренко Г.А. Влияние употребления пива, алкоголя, курения родителями на развитие врожденных пороков у их детей // Мать и дитя в Кузбассе. – 2015. – №2 (61). – С. 43-45.

21. Юречко О.В. Физическое развитие и физическая подготовленность в системе мониторинга состояния здоровья школьников//Педагогические науки: фундаментальные исследования. – 2012. – № 3. – С. 324-327.

21. Darvay S. Development of children from birth to 18 years of age / Darvay S., Joubert K., Agfalvi R. //13- congress eusuhm / Dubrovnik, Croatia 2005. -P.201.

22. Tanner J.M. Clinical longitudinal standards for height and height velocity for North American children / J.M. Tanner, P.S. Davies // J Pediatr. 1985.-V.107.-P.317–329.

## REFERENCE

1. Baranov A.A., Il'in A.G. Osnovnye tendencii dinamiki sostojanija zdorov'ja detej v Rossijskoj Federacii. Puti reshenija problem//Vestnik RAMN. – 2011. - №6. – S.12-18.

2. Baranov A.A., Kuchma V.R., Skoblina N.A. i dr.Osnovnye zakonomernosti morfofunkcional'nogo razvitija detej i podroستkov v sovremennyh uslovijah / Vestnik RAMN. – 2012. - №12. – S.35-40.

3. Baranov A.A., Namazova-Baranova L.S., Il'in A.G. Sohranenie i ukreplenie zdorov'ja podroستkov – zalog stabil'nosti razvitija obshhestva i gosudarstva (sostojanie problemy)//Vestnik RAMN. – 2014. - №5-6. – S.65-70.

4. Bunak V.V. Antropometrija - M.: Uchpedgiz, 1941. - 367s.

5. Kuchma V.R., Suhareva L.M.Sostojanie i prognoz zdorov'ja shkol'nikov (itogi 40-letnego nabljudenija)// Rossijskij pediatričeskij zhurnal. – 2007.-№7.- S.53-57.

6. Lapteva E.A. Osobennosti razvitija detej na sovremennom jetape v krupnom megapolise//Zdorov'e i obrazovanie v NHI veke (Serija medicina). -2012. - Tom 14. - №2. – S.113.

7. Lezzhova G.N., Luk'janec G.N., Makarova L.V., Paranicheva T.M., Orlov K.V., Tjurina E.V., Novolodskaja G.V. Sostojanie zdorov'ja shkol'nikov 14-15 let goroda Moskvy//XXVII mezhdunarodnaja nauchno-praktičeskaja konferencija po problemam fizičeskogo vospitaniya uchashhihsja - “Chelovek, zdorov'e, fizičeskaja kul'tura i sport v izmenjajushhemsja mire” - 29 sentjabrja – 1 oktjabrja 2017 g.- Kolonna – P. 167-175.

8. Ljapin V.A. Fizičeskoe zdorov'e detej krupnogo promyshlennogo centra neftehimičeskoj promyshlennosti. - Sibir'-Vostok. – 2003. - № 4. – S.18-20.

9. Makarova L.V., Luk'janec G.N., Paranicheva T.M., Lezzhova G.N., Tjurina E.V., Orlov K.V. Sostojanie zdorov'ja i fizičeskoe razvitie detej 12-13 let //Novye issledovanija. - 2015. –N3. - c.43-57.

10. Mashtakova E.V., Lobanova T.A., Anfinogenova O.B. Aspekty zdorov'ja podrostkov v raznye periody pubertatnogo vozrasta. - Mat' i ditja v Kuzbasse. - №2(61).- 2015.- S.40-44.
11. Povargo E.A., Zul'karnaev A.T., Ovsjannikova L.B. i dr. Regional'nye osobennosti fizicheskogo razvitiya shkol'nikov//Gigiena i sanitarija. – 2014. - №4. – S.72-74.
12. Rukovodstvo po shkol'noj medicine. Medicinskoe obespechenie detej v doskol'nyh, obshheobrazovatel'nyh uchrezhdenijah i uchrezhdenijah nachal'nogo i srednego professional'nogo obrazovanija/ Pod red. Chl.-korr. RAMN, prof. V.R.Kuchmy. M.: Izdatel'stvo nauchnogo centra zdorov'ja RAMN, 2012. - 215s.
13. Sadykova D.I., Lutfullin I.Ja. Pervichnaja arterial'naja gipertenzija i gipertrofija miokarda v detskom i podrostkovom vozraste// Pediatrija. – 2009. –Tom 88. - № 5. - S.16-21.
14. Sitnikova V.P., Nastausheva T.L., Zhdanova O.A. i dr. Sravnitel'naja karakteristika pokazatelej fizicheskogo razvitiya podrostkov 14 let Voronezhskoj oblasti //Rossijskij vestnik perinatologii i pediatrii. – 2014. – S. 94-98.
15. Tarmaeva I.Ju., Efimova N.V. Gigienicheskaja ocenka pitaniya i fizicheskogo razvitiya detej, nahodjashhihsja v shkole-internate//Zdorov'e i obrazovanie v XXI veke. 2016. - №11.- S.92-98.
16. Uzunova A.N., Lopatina D.A., Petrunina S.Ju.i dr. Osobennosti vzajmosvjazi parametrov fizicheskogo i polovogo razvitiya podrostkov Cheljabinska //Gigiena i sanitarija. – 2014. - №4. – S.75-78.
17. Fljanku I.P., Prieshkin A.N., Salova Ju.P., Pavlov G.K.Morfologicheskie pokazateli, karakterizujushhie uroven' fizicheskogo razvitiya shkol'nikov//Fundamental'nye issledovanija. – 2015. - №1. – S.154-158.
18. Chernjakina L.P., Gorin V.S. Sovremennoe pubertatnoe razvitie devocek v zobno-jendemichnom rajone Kuzbassa//Sibirskij medicinskij zhurnal. – 2009. - № 5. – S.117-121.
19. Chicherin L.P., Shhepin V.O., Sogijajnen A.A. Sostojanie zdorov'ja podrostkov kak prizyvnoho resursa//Problemy social'noj gigieny, zdravoohraneniya i istorii mediciny. 2013.- №3.-S.20-24.
20. Chumakova G.A., Kolesnikova O.I., Goncharenko G.A. Vlijanie upotrebleniya piva, alkoholja, kurenija roditeljami na razvitie vrozhdennyh porokov u ih detej//Mat' i ditja v Kuzbasse. – 2015.- №2 (61).- S.43-45.
21. Jurechko O.V. Fizicheskoe razvitie i fizicheskaja podgotovlennost' v sisteme monitoringa sostojanija zdorov'ja shkol'nikov//Pedagogicheskie nauki: fundamental'nye issledovanija. -2012.- №3.- S.324-327.

# ФИЗИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ, НЕЙРОВЕГЕТАТИВНЫЙ, ГОРМОНАЛЬНЫЙ И ПСИХОЭМОЦИОНАЛЬНЫЙ СТАТУС ДЕТЕЙ НА РАЗНЫХ СТАДИЯХ ПОЛОВОГО СОЗРЕВАНИЯ

И.В. Ермакова<sup>1</sup>, О.Н. Адамовская., Н.Б. Сельверова  
ФГБНУ «Институт возрастной физиологии  
Российской академии образования», Москва

Получены результаты комплексного обследования детей в период полового созревания, позволившие выявить особенности физического развития, нейровегетативного, гормонального и психоэмоционального статуса с учетом пола и биологического возраста. Показано, что в ходе полового созревания растет содержание кортизола в утренней слюне, на II и IV стадиях пубертата его концентрация зависит от пола. Динамика показателей вегетативной нервной регуляции сердечного ритма носит волнообразный характер. Наименьшие адаптационные резервы, низкая степень вариабельности сердечного ритма и активность парасимпатического отдела наблюдаются у детей обоего пола на IV стадии пубертата. Психоэмоциональное состояние подростков различается в зависимости от пола: девочки имеют более высокий уровень личностной тревожности и менее эмоционально устойчивы по сравнению с мальчиками.

**Ключевые слова:** дети, подростки, пубертат, физическое развитие, автономная нервная регуляция сердечного ритма, гормональный статус, психоэмоциональное состояние.

**Physical development, neurovegetative, hormonal and psychoemotional status of children at different stages of puberty.** The results of the complex examination of children at puberty made it possible to reveal the peculiarities of physical development, neurovegetative, hormonal and emotional status of children according to their gender and biological age. It is shown that during puberty the level of cortisol in the morning saliva is growing, whereas during the II and IV stages of puberty its concentration depends on the child sex. Indices of heart rate autonomic nervous regulation demonstrate wavelike dynamics. The least adaptive reserves, the low level of heart rate variability and parasympathetic activity can be observed in children of both sexes at the IV stage of puberty. Psycho-emotional status of adolescents differs according to sex: girls have a higher level of anxiety. They are also less emotionally stable than boys.

**Key words:** children, adolescents, puberty, physical development, autonomic nervous regulation, heart rate variability, hormonal status, emotional state.

Подростковый возраст является одним из сложных этапов, в течение которого организм ребенка в результате анатомических и физиологических преобразований достигает биологической зрелости. В этот короткий период происходит бурная перестройка и дифференциация отдельных ядерных структур гипоталамуса, устанавливаются новые функциональные отношения между нервной и эндокринной системами. Гипоталамо-гипофизарно-гонадная система отвечает за биологические и морфологические изменения, происходящие в подростковом возрасте, а опреде-

---

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



ленный паттерн гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой системы в пубертате тесно связан с эмоциональными проблемами подростков [16]. Показатели вариабельности сердечного ритма являются надежными и объективными индикаторами тонуса вегетативной нервной системы, который также отражает изменения психоэмоционального состояния человека. Для оценки функционального состояния организма необходим учет индивидуально-типологических особенностей, позволяющих оценить уровень адаптационного резерва и степени напряжения механизмов регуляции на основе функционирования вегетативно-гуморального комплекса [8; 10; 12]. Вместе с тем, число работ, посвященных комплексному исследованию функционального состояния детей в процессе полового созревания очень мало [10; 13].

Целью нашего исследования явилось изучение возрастных и половых особенностей физического развития, нейровегетативного, гормонального и психоэмоционального статуса подростков на разных стадиях полового созревания.

## ОРГАНИЗАЦИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В исследовании приняли участие 265 детей и подростков обоего пола (128 девочек и 137 мальчиков), учащиеся 3-11 классов школ г. Москвы, в возрасте 9-18 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. Для оценки физического развития школьников по стандартной методике проводили антропометрические измерения. Массу тела измеряли на электронных весах Tanita (модель BC-571, Япония) с точностью до 50 г. При определении общей массы тела автоматически с помощью биоимпеданса вычислялся процент содержания жира в организме с точностью до 0,1 %. Длину тела определяли с использованием штангового антропометра с точностью до 0,5 см. Индекс массы тела (ИМТ) вычисляли как отношение массы тела, выраженной в килограммах (кг), к квадрату длины тела, выраженной в метрах ( $m^2$ ).

Врач-эндокринолог во время медицинского осмотра оценивала по методике J.M. Tanner в модификации Д.В. Колесова, Н.Б. Сельверовой [7] половое развитие детей и подростков, по результатам которого были сформированы группы мальчиков и девочек, относящиеся к I-V стадиям пубертата. Наполняемость каждой группы с учетом стадии полового созревания и пола составляла не менее 20 человек.

С целью анализа вариабельности сердечного ритма 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). Анализ вариабельности сердечного ритма проводился в соответствии с методическими рекомендациями, разработанными группой российских авторов [1] и стандартом Европейского общества кардиологов и Северо-Американского общества электростимуляции и электрофизиологии [25]. 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 разно-

стей 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 ВСП: HF ( $mc^2$ , 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) компонента спектра. Вагусная активность является основной составляющей высокочастотного компонента. Это хорошо отражается показателем мощности дыхательных волн CP в абсолютных цифрах и в виде относительной величины (в % от суммарной мощности спектра). LF ( $mc^2$ , п.у., %) – мощность низкочастотного компонента (0,04-0,15 Гц) – 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 вычисляются следующие показатели: индекс вагосимпатического взаимодействия LF/HF (усл. ед.) – характеризует баланс симпатических и парасимпатических влияний в автономную регуляцию сердечного ритма.

Психосоциальное состояние детей и подростков определяли по тесту школьной тревожности Филлипса, шкалы явной тревожности СМАС адаптации А.М. Прихожан [11] и шкале личностной тревожности Ч.Д. Спилберга в адаптации Ю.Л. Ханина [2]. Особенности личности школьников изучали с помощью теста Р. Кеттелла (Э.М. Александровская, И.Н. Гильяшева).

Для оценки гормонального статуса испытуемые собирали сразу после пробуждения утреннюю нестимулированную слюну в пластиковые одноразовые пробирки. Пробы слюны до проведения анализа хранили в морозильной камере при температуре -20 С. Концентрацию гормонов: кортизола, дегидроэпиандростерона (ДГЭА) и половых стероидов (тестостерон у мальчиков, эстрадиол у девочек) определяли иммуноферментным методом с помощью стандартных диагностических наборов фирмы DRG International, Inc. Оптическую плотность измеряли на ИФА-анализаторе «Stat Fax 2100», значения концентрации гормонов вычисляли, используя 4-х параметрическое уравнение. Концентрацию кортизола выражали в нг/мл, ДГЭА и половых стероидов в пг/мл. Все анализы были сделаны в соответствии с протоколом наборов, контрольные показатели были в рамках принятых пределов.

Статистическую обработку полученных данных проводили с использованием компьютерного пакета программы «Statistica 6.0» и «SPSS 20». Достоверность различия изучаемых параметров между группами оценивали по t-критерию Стьюдента, F-критерию ANOVA. В связи с тем, что подавляющее большинство параметров CP не имеют нормального распределения в представленной работе они

описаны медианой и 25, 75 перцентилиями. Для оценки тесноты статистической связи между показателями проводили корреляционный анализ (коэффициент Пирсона и Спирмена), описательную статистику. Различия считали статистически значимыми при  $p < 0,05$ .

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

### Особенности физического развития детей на разных стадиях пубертата

Динамика и половые различия основных показателей физического развития детей и подростков с учетом стадии полового развития представлены в табл. 1. Длина тела зависит от биологического возраста как у мальчиков ( $F(4, 132)=104,48$ ;  $p < 0,001$ ), так и у девочек ( $F(4, 123)=44,12$ ;  $p < 0,001$ ). От I к V стадии пубертата среднее значение длины тела у мальчиков увеличилось на 22,95%, а у девочек – на 15,51%. При этом наибольший прирост длины тела у мальчиков наблюдался между III и IV стадией (11,31 %;  $p < 0,001$ ), а у девочек – между II и III стадией (4,75%;  $p < 0,01$ ). Такой скачок роста в середине пубертата обусловлен активацией гипоталамо-гипофизарно-гонадной оси и повышенной секрецией соматотропина и инсулиноподобного фактора роста-I [24]. На ранних этапах полового развития мальчики и девочки одного биологического возраста не различались по среднему значению длины тела, половой диморфизм наблюдался на IV-V стадии, но только на уровне тенденции. Масса тела зависит от биологического возраста как у мальчиков ( $F(4, 132)=54,11$ ;  $p < 0,001$ ), так и у девочек ( $F(4, 123)=41,14$ ;  $p < 0,001$ ). От I к V стадии пубертата среднее значение массы тела у мальчиков увеличилось на 86,27%, а у девочек – на 75,56%. Выявлено, что наибольший прирост массы тела у мальчиков наблюдался между III и IV стадией (36,02 %), а у девочек – между IV и V стадией (26,84 %);  $p < 0,001$ . Схожую динамику основных показателей физического развития детей и подростков 7-17 лет отмечают и другие исследователи [5]. Содержание жировой массы тела зависит от биологического возраста как у мальчиков ( $F(4, 132)=5,33$ ;  $p = 0,001$ ), так и у девочек ( $F(4, 123)=5,50$ ;  $p < 0,001$ ). Однако в отличие от поступательного увеличения средних значений весо-ростовых показателей у представителей обоих полов, содержание жировой массы тела в пубертате характеризуется разнонаправленной динамикой: у мальчиков по мере полового созревания происходит её снижение, а у девочек – увеличение. Содержание жировой массы тела у мальчиков от I к IV стадии снижается на 30,80%, а у девочек от I к V стадии повышается на 36,88%. Мальчики в пубертате заметно теряют жировую массу тела по сравнению с выраженным увеличением тощей массы тела, у девочек прирост тощей массы тела гораздо скромнее. Примечательно, что наибольший прирост содержания жировой массы тела у девочек происходил между IV и V стадией (27,90 %;  $p < 0,05$ ). Из литературы известно, что ко времени наступления менархе содержание жира в организме девочек достигает в среднем 24,6 %, что тесно сопряжено ростом концентрации лептина [14].

Таблица 1

## Показатели физического развития детей разного биологического возраста

стадия	к-во, п	возраст, лет	длина тела, см	масса тела, кг	индекс массы тела, кг/м <sup>2</sup>	жировая масса тела, %
мальчики						
I	25	10,92±0,11	144,92±1,56 а I-III*; I-IV*; I-V*; b**	39,67±1,90 а I-IV*; I-V*; b**	18,69±0,61 а I-V*; b*	17,39±1,03 а I-IV*
II	28	10,89±0,08	144,98±1,19 а II-III*; II-IV*; II-V*	38,95±1,43 а II-IV*; II-V*	18,57±0,52 а II-V*	16,98±1,19 а II-IV*
III	29	12,28±0,23	153,36±1,57 а III-IV*; III-IV*	44,25±1,63 а III-IV*; III-V*	18,66±0,44 а III-IV*	14,24±0,88
IV	30	14,17±0,24	170,37±1,68 а IV-V*; b***	60,19±2,38 а IV-V*; b***	20,61±0,64 а IV-V*; b*	11,86±0,88 b*; b***
V	25	16,44±0,23	178,18±1,10 b***	74,29±2,65 b***	23,33±0,71 b*	14,82±0,89 b***
все	137	12,92±0,20	158,36±1,31	51,30±1,46	19,93±0,30	14,96 ± 0,47
девочки						
I	24	10,58±0,15	139,09±1,46 а I-III*; I-IV*; I-V*	32,57±1,25 а I-III*; I-IV*; I-V*	16,81±0,57 а I-V*	19,09±1,28 а I-V*
II	28	10,86±0,08	144,16±1,15 а II-III*; II-IV*; II-V*	35,74±1,38 а II-IV*; II-V*	17,12±0,55 а II-V*	19,37±1,23 а II-V*
III	26	11,46±0,18	151,01±1,41 а III-IV*; III-IV*	41,27±1,50 а III-V*	18,08±0,59 а III-V*	19,13±1,48 а III-V*
IV	24	12,25±0,23	156,28±1,15 а IV-V*	45,08±1,41 а IV-V*	18,46±0,56 а IV-V*	20,43±1,34 а IV-V*
V	26	14,12±0,27	160,66±1,35	57,18±1,83	22,07±0,54	26,13±1,12
все	128	11,85±0,14	150,23±0,90	42,38±1,01	18,51±0,30	20,84±0,62

Примечание: а – достоверность различий между показателями в группах мальчиков и девочек разного биологического возраста; б – достоверность различий между показателями в группе мальчиков и девочек одного биологического возраста; \* –  $p < 0,05$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$ .

### Гормональный статус детей на разных стадиях полового созревания

Ключевое значение в анатомических и морфологических изменениях организма детей в подростковом возрасте принадлежит гипоталамо-гипофизарно-гонадной системе. По мере полового созревания происходит увеличение уровня предшественника половых гормонов - ДГЭА ( $F(4, 126)=8,19$  - у мальчиков и  $F(4, 119)=11,38$  - у девочек;  $p<0,001$ ). Концентрация ДГЭА в ходе пубертата увеличивается у представителей обоих полов [18; 19; 22], что часто зависит от генетических факторов [20]. От I к V стадии полового созревания увеличивается содержание в слюне тестостерона у мальчиков ( $F(4, 127) = 9,96$ ;  $p<0,001$ ) и эстрадиола у девочек ( $F(4, 121) = 19,63$ ;  $p<0,001$ ). Гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковая система также играет важную роль во время биологического созревания человека. Содержание кортизола (конечного продукта ГГНС) в утренней слюне зависит от биологического возраста как у мальчиков ( $F(4, 125) = 8,26$ ;  $p<0,001$ ), так и у девочек ( $F(4, 121) = 0,77$ ;  $p=0,55$ ). По мере полового созревания концентрация кортизола увеличивается: у мальчиков от I к V стадии увеличился на 38,54%, а у девочек - на 17,88%. Вероятно, возрастные изменения концентрации кортизола связаны с модулирующим влиянием половых гормонов. Так, эстрогены стимулируют выработку кортизола [23], при этом его уровень не одинаковый в разные фазы менструального цикла [21].

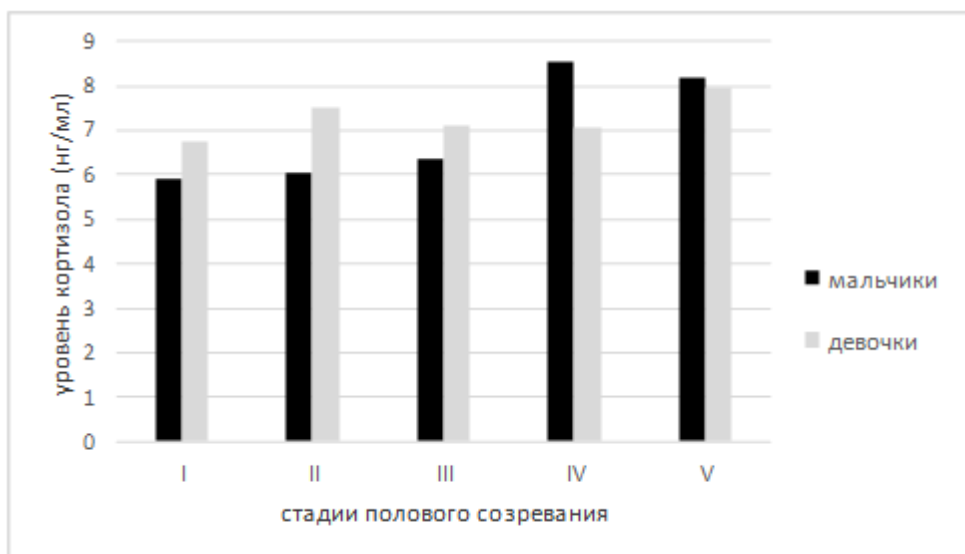


Рис. 1. Динамика уровня кортизола у детей на разных стадиях полового созревания

При сравнении уровня кортизола в группах мальчиков и девочек одного биологического возраста (рис. 1) достоверные различия удалось выявить на II и IV стадии полового созревания, при этом в начале пубертата у девочек концентрация кортизола была выше, чем у мальчиков ( $p<0,001$ ), а на поздней стадии полового созревания у мальчиков выше, чем у девочек ( $p<0,05$ ). Наши результаты согласу-

ются с данными другим исследователей, которые установили, что уровень кортизола увеличивается с возрастом и половым созреванием [15], а у 15-17-летних подростков различается между полами [4]. Гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковая и гипоталамо-гипофизарно-гонадная оси традиционно считаются взаимно ингибирующими системами, но подростковый возраст – уникальный период, когда связь тестостерон-кортизол у мальчиков становится положительной. Мы также обнаружили эту закономерность ( $r=0,18$ ;  $p<0,05$ ), которая согласуется с недавними исследованиями [17]. У девочек связь между уровнем кортизола и эстрадиолом не установлена.

### **Вегетативная нервная регуляция сердечного ритма на разных этапах полового созревания**

Анализ полученных данных позволил проследить особенности созревания регуляторных систем у детей в различные периоды полового созревания. Так, у мальчиков от I к III стадии пубертата (табл. 2) увеличиваются медианы показателей, характеризующих общую мощность спектра (SDNN, мс; TP, мс<sup>2</sup>) и активность парасимпатического отдела ВНС (RMSSD, мс; HF, мс<sup>2</sup>). Кроме того, увеличиваются значения адаптационных резервов. Возрастное увеличение и общей мощности спектра, а также мощности волн низкой частоты у мальчиков на III стадии полового созревания свидетельствует о повышении интенсивности вегетативных воздействий в целом и усилении парасимпатических влияний на СР.

От III к IV стадии пубертата достоверно уменьшаются медианы показателей RMSSD, мс, SDNN, мс, TP, мс<sup>2</sup>; вегетативный баланс (LF/HF) смещается в сторону усиления симпатических влияний, при этом уменьшается уровень адаптационных резервов. От IV к V стадии у мальчиков отмечено увеличение временных и спектральных показателей ВСР: RMSSD, мс, SDNN, мс, TP, мс<sup>2</sup>; VLF, мс<sup>2</sup>; LF, мс<sup>2</sup>, а также увеличение индекса адаптационных резервов.

У девочек от I к IV стадии полового созревания уменьшаются медианы SDNN, мс; TP, мс<sup>2</sup>; RMSSD, мс; HF, мс<sup>2</sup>; LF, мс<sup>2</sup>; ИАП, увеличивается LF/HF. Данные сдвиги параметров свидетельствуют об уменьшении интенсивности вегетативных воздействий в целом и смещении вегетативного баланса в сторону усиления симпатических влияний на СР, при этом отмечено достоверное снижение уровня адаптационных резервов.

Полученные нами результаты процентильного анализа вариабельности ритма сердца подтверждаются данными скаттерографии. Скаттерограмма, построенная по вариационному ряду R-R-интервалов, является геометрически отображением различных регуляторных влияний на сердечный ритм. В случае сохранения баланса между двумя отделами ВНС скаттерограмма представляет собой вытянутый по биссектрисе эллипс, свидетельствующий о наличии синусовой аритмии. Усиление тонуса парасимпатического отдела вегетативной нервной системы выражается в виде увеличения площади скаттерограммы вследствие роста дисперсии кардиоритма, что приводит к увеличению и длины и ширины эллипса. И, наоборот, симпатические влияния на сердечный ритм приводят к уменьшению общей площади геометрического «облака» как результат укорочения R-R-интервалов [9].

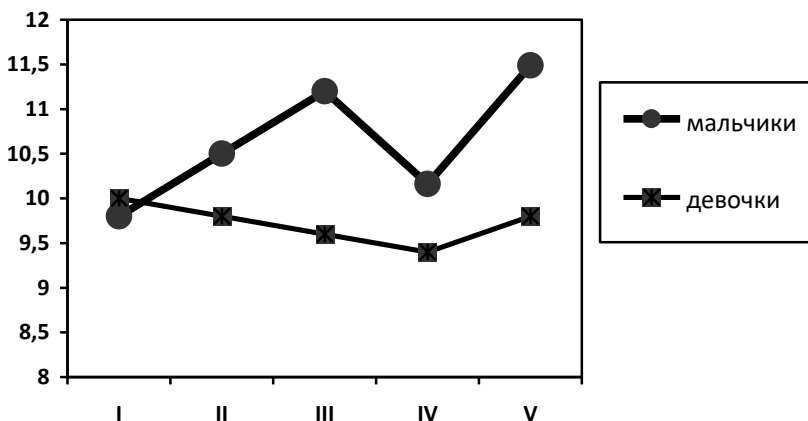
Таблица 2

Изменение показателей ВСП у детей в период полового созревания (медиана, 25-75 перцентили)

ста- дия	пол	воз- раст	ИАП	SDNN	RMSSD	LH/HF	TP	VLF	LF	HF	ЧСС
I	м	10,92± 0,11	50,5; 45,8-67,4	48,0; 39,5-64,5	35,0; 27,5-61,0	1,0; 0,6-1,4	3597,0; 2369,0-5368,0	1057,0; 692,5-1418,0	1018,0; 731,0-1535,0	1172,0; 648,0-2181,5	90,0; 82,8-94,0
	д	10,58± 0,15	62,2; b 43,7-76,1	63,0; b 38,3-83,3	40,0 b 21,0-65,8	1,1; 0,5-1,4	5964,0; b 2600,3-8112,8	1404,0; b 679,5-2124,3	1344,0; b 766,0-2319,8	1845,5; b 561,3-3980,0	92,0; 84,0-98,5
II	м	10,89± 0,08	51,7; 45,6-76,0	47,0; 26,0-75,5	32,0; 26,0-69,0	1,0; 0,4-1,5	3921,0; 2681,5-7499,0	<b>747,0</b> ; a <sup>I-II</sup> 390,0-1506,0	1398,0; 787,0-2094,5	<b>1692,0</b> ; a <sup>I-II</sup> 825,5-3839,0	87,0; 77,0-98,0
	д	10,86± 0,08	58,4; 41,6-65,7	<b>54,5</b> ; a <sup>I-II</sup> 33,0-66,8	40,5; 21,5-49,8	<b>1,1</b> ; b 0,6-1,8	<b>4120,0</b> ; a <sup>I-II</sup> 1872,5-6145,5	<b>1066,5</b> ; a <sup>I-II</sup> 423,0-1885,3	1154,5; b 595,5-2094,8	<b>1459,0</b> ; a <sup>I-II</sup> 476,5-2378,8	95,0; b 91,0-105,0
III	м	12,28± 0,23	<b>57,4</b> ; a <sup>I-III</sup> 45,1-74,8	<b>53,0</b> ; a <sup>I-III</sup> 40,3-71,0	<b>39,5</b> ; a <sup>I-III</sup> 27,3-70,0	1,1; 0,5-1,5	4076,0; 2415,3-7006,8	1040; 563,0-1660,3	1352,5; 704,8-1802,0	1428,5; 642,8-3107,5	86,5 84,5-92,8
	д	11,46± 0,18	<b>52,4</b> ; a <sup>II-III</sup> 46,8-68,1	51,5; b 40,0-67,8	<b>34,0</b> ; a <sup>II-III</sup> 29,3-54,0	1,0; 0,7-2,0	4156,0; 2556,3-7388,0	<b>1376,5</b> ; b; a <sup>II-III</sup> 814,8-1914,3	<b>1566,5</b> ; a <sup>II-III</sup> 733,0-1938,3	<b>995,5</b> ; b; a <sup>II-III</sup> 602,5-2566,0	<b>91,0</b> ; a <sup>II-III</sup> 80,0-100,0
IV	м	14,17± 0,24	<b>52,8</b> ; a <sup>III-IV</sup> 45,7-64,2	<b>38,0</b> ; a <sup>III-IV</sup> 22,0-52,5	<b>27,5</b> ; a <sup>III-IV</sup> 23,5-44,5	<b>1,3</b> ; a <sup>III-IV</sup> 0,3-1,4	4695,0; 3585,8-5792,8	<b>612,5</b> ; a <sup>III-IV</sup> 319,8-1147,3	1210,0; 741,3-1955,0	<b>2710,0</b> ; a <sup>III-IV</sup> 1195,8-3493,0	87,0; 78,0-87,5
	д	12,25± 0,23	50,7 39,4-55,4	<b>40,5</b> ; a <sup>III-IV</sup> 27,3-54,8	33,0; 21,0-50,0	<b>1,2</b> ; b; a <sup>III-IV</sup> 0,6-3,2	<b>3325,0</b> ; b; a <sup>III-IV</sup> 2046,3-6357,8	<b>959,0</b> ; b; a <sup>III-IV</sup> 512,5-1702,3	<b>1135,0</b> ; a <sup>III-IV</sup> 853,0-2194,0	1152,0; b 326,0-2369,0	93,0; b 86,0-98,0
V	м	16,44± 0,23	<b>59,4</b> ; a <sup>IV-V</sup> 54,5-71,5	<b>57,5</b> ; a <sup>IV-V</sup> 39,8-83,5	<b>42,5</b> ; a <sup>IV-V</sup> 29,3-62,0	1,0; 0,3-1,3	<b>6220,5</b> ; a <sup>IV-V</sup> 4259,0-8977,5	<b>1745,0</b> ; a <sup>IV-V</sup> 460,0-316365	<b>1522,5</b> ; a <sup>IV-V</sup> 1038,3-2691,3	2500,5; 1642,8-4475,3	<b>77,0</b> ; a <sup>IV-V</sup> 70,5-83,5
	д	14,12± 0,27	51,1; b 46,6-55,7	<b>51,5</b> ; b; a <sup>IV-V</sup> 43,8-59,5	35,7; 23,0-36,3	<b>0,9</b> ; a <sup>IV-V</sup> 0,4-1,0	<b>5230,0</b> ; b; a <sup>IV-V</sup> 3619,0-6716,5	718,5; b; 442,3-1148,5	<b>1486,5</b> ; b; a <sup>IV-V</sup> 1139,8-1803,8	<b>3310,5</b> ; b; a <sup>IV-V</sup> 1662,5-4146,3	<b>84,0</b> ; b; a <sup>IV-V</sup> 76,0-92,5

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

Выявлено, что площадь облака скаттерограммы у мальчиков изменяется волнообразно, при этом отмечается два пика с максимальными значениями на III и V стадии полового созревания. У девочек отмечается постепенное уменьшение площади облака скаттерограммы от I к IV стадии, затем – ее увеличение к пятой стадии (рис. 2).



*Рис.2. Динамика площади скаттерограммы на разных стадиях полового созревания*

Данные о повышении симпатической активности у мальчиков и девочек на IV стадии полового созревания согласуются с результатами других исследований [10], показавших аналогичные изменения у детей обоего пола от 10 к 14 годам, причем авторами отмечено, что у мальчиков от 14 к 16 годам наблюдается повышение парасимпатической активности, а у девочек высокая симпатическая активность сохраняется до 17 лет.

Стабилизация регуляции, наблюдаемая у мальчиков на V стадии пубертата (средний возраст –  $16,44 \pm 0,23$  лет), вероятно, свидетельствует о завершении адаптационных перестроек и формировании оптимальной регуляции к этому этапу онтогенеза. Подобные заключения о совершенствовании регуляции СР к 15-16 годам были сделаны и другими исследователями [3].

Постепенное снижение частоты сердечных сокращений с возрастом, отмеченное у детей обоего пола, связано с увеличением массы сердца, левого желудочка и минутного объема крови [6], а также с усилением активности вагусных влияний на ритм сердца – у мальчиков.

В определении функционального состояния организма ребенка важная роль отводится не только исходному вегетативному тону, но и индивидуально-типологическим особенностям, позволяющим оценить уровень адаптационного резерва, который имеет прямую связь с уровнем функционирования и обратную – со степенью напряжения регуляторных систем [8; 9]. По нашим данным,



наименьшим значениям адаптационных резервов у детей на IV стадии полового созревания соответствует низкая степень вариабельности сердечного ритма и активность парасимпатического отдела ВНС (низкие значения RMSSD и SDNN).

Таким образом, наши данные согласуются с результатами других исследований, выявивших, что наиболее неэкономный уровень функционирования, достигаемый напряжением регуляторных систем, отмечается в 12-13 лет у девочек и в 13-14 лет у мальчиков [3], что соответствует биологическому возрасту – IV стадии пубертата.

### **Психозоциональный статус детей разного биологического возраста**

Изучение психозоционального состояния испытуемых по тесту Филлипса показало, что по мере биологического созревания у мальчиков наблюдается снижение уровня общей школьной тревожности ( $F(4, 131)=5,81; p<0,001$ ) и факторов, её составляющих: переживание социального стресса ( $F(4, 131)=4,27; p<0,01$ ), страх ситуации проверки знаний ( $F(4, 131)=7,32; p<0,001$ ), страх не соответствовать ожиданиям окружающих ( $F(4, 131)=3,03; p<0,05$ ), низкая физиологическая устойчивость к стрессу ( $F(4, 131)=2,45; p<0,05$ ) и проблемы и страхи в отношениях с учителями ( $F(4, 131)=2,64; p<0,05$ ). Однако достоверные различия выявлены между I и IV-V стадиями пубертата ( $p<0,05$ ). От I к V стадии пубертата по данным факторам в 2 раза увеличивается число мальчиков с низким уровнем тревожности. У девочек, находящихся на разных стадиях полового созревания, уровень общей школьной тревожности примерно одинаковый. Отличия обнаружены только по фактору «фрустрация потребности в достижении успеха» ( $F(4, 123)=3,01; p<0,05$ ), значение этого показателя на III стадии достоверно больше, чем на I стадии ( $p<0,05$ ). Примечательно, что от I к V стадии пубертата в 2 раза увеличивается число девочек с повышенным уровнем страха ситуации проверки знаний страха самовыражения и страха не соответствовать ожиданиям окружающих, тогда как количество девочек со средним уровнем тревожности по данным факторам остается одинаковым в ходе полового созревания. Различия между девочками и мальчиками одного биологического возраста по уровню общей школьной тревожности появляются на III стадии пубертата на уровне тенденции ( $p=0,06$ ), постепенно усиливаясь к IV-V стадии ( $p<0,01-0,001$ ). В ходе полового созревания у мальчиков, в отличие от девочек, растет эмоциональная устойчивость ( $F(4, 128)=17,42; p<0,01$ ). У девочек на IV-V стадии выше уровень личностной и реактивной тревожности по тесту Спилберга ( $46,83\pm 1,68$  балла против  $38,83\pm 1,09$  балла  $p<0,001$  и  $27,47\pm 1,59$  балла и  $21,71\pm 1,59$  балла при  $p<0,01$ , соответственно), но у младших подростков (I-III стадия) среднее значение личностной тревожности по тесту СМАС примерно одинаково. Между тем, девочек с высокой личностной тревожностью, выявленной с помощью обоих тестов, больше, чем мальчиков ( $32,03\%$  против  $21,70\%$ , соответственно).

## **ВЫВОДЫ**

1. В ходе полового созревания происходит увеличение основных показателей физического развития (длина и масса тела). На содержание жировой массы тела влияет фактор пола: у мальчиков происходит её снижение, а у девочек - увеличение.

2. По мере биологического созревания увеличивается секреция половых гормонов и их предшественника - ДГЭА. Содержание кортизола в утренней слюне растёт, а на II и IV стадиях пубертата зависит от пола.

3. Наименьшие адаптационные резервы, низкая степень variability сердечного ритма и активность парасимпатического отдела наблюдаются у детей обоего пола на IV стадии пубертата.

4. Психоэмоциональное состояние подростков различается в зависимости от пола: у мальчиков снижается уровень школьной тревожности, у девочек он примерно одинаков на всех этапах биологического созревания. Девочки имеют более высокий уровень личностной тревожности и менее эмоционально устойчивы по сравнению с мальчиками.

*Исследование поддержано грантом РГНФ № 15-06-0893а*

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

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

2. Большая энциклопедия психологических тестов: личность, мотивации, темперамент, интеллект, лидерство, тестирование детей, взаимоотношения, поиск работы, профессиональная ориентация, характер / автор-сост. Карелин А. М.: Эксмо, 2007. 414 с.

3. Галлеев А.Р., Игишева Л.Н., Казин Э.М. ВРС у здоровых детей в возрасте 6-16 лет // Физиология человека. 2002. Т. 28, № 4. С. 35-40.

4. Данковцев О.А., Гулин А.В., Максименко В.Б. Содержание кортизола в слюне у здоровых школьников // Вестник ТГУ. 2013. Т. 18, Вып. 47. С. 1357-1358.

5. Калюжный Е.А. Морфофункциональное состояние и адаптационные возможности учащихся общеобразовательных учреждений в современных условиях: Автореф. дисс. д-ра. биол. наук. Москва. 2015. 40 с.

6. Кмить Г.В., Рублева Л.В. Возрастные особенности морфологического и функционального развития миокарда у детей 5-9 лет // Физиология человека. 2001. Т. 27, № 5. С. 54-59

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

8. Комарова О.А., Федоров А.И., Казин Э.М. Изучение адаптивных возможностей подростков с различными режимами обучения по показателям сердечного ритма // Валеология. 2012. № 2. С. 26-29.

9. Михайлов В.М. Variability ритма сердца (новый взгляд на старую парадигму). 2017. 516 с.

10. Никулина М.В. Вегетативная регуляция сердечной деятельности у детей и подростков: Дисс... канд. биол. наук. Архангельск, 2005. 210 с.

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

12. Тарасова О.Л., Четверик О.Н., Федоров А.И. [и др.] Особенности психофизиологической адаптации учащихся в различных условиях обучения // Вестник Новосибирского ГПУ. 2016. № 1. С. 23-37.

13. Федоров П.А. Анализ изменений регуляторных механизмов сердечно-сосудистой системы в подростковом возрасте: Дисс... канд. биол. наук. Ярославль. 2005. 118 с.

14. Bandini L.G., Must A., Naumova E.N. [et al.] Change in leptin, body composition and other hormones around menarche - a visual representation // *Acta Paediatr.* 2008. V. 97. P. 1454-1459.

15. Barra C.B., Silva I.N., Rodrigues T.M. [et al.] Morning serum Basal cortisol levels are affected by age and pubertal maturation in school-aged children and adolescents // *Horm. Res. Paediatr.* 2015. V. 83, № 1. P. 55-61.

16. Duan X.N., Sun Y. Developmental pattern of hypothalamic-pituitary-adrenal axis during pubertal transition and implications for emotional disorders // *Zhonghua Yu Fang Yi Xue Za Zhi.* 2017. V. 51, № 9. P. 865-869.

17. Harden K.P., Wrzus C., Luong G. [et al.] Diurnal coupling between testosterone and cortisol from adolescence to older adulthood // *Psychoneuroendocrinology.* 2016. V. 73. P. 79-90.

18. Kang J.Y., Park J.Y., Chum S.I.[et al.] Puberty-related changes in cortisol, dehydroepiandrosterone, and estradiol-17 $\beta$  secretions within the first hour after waking in premenarcheal girls // *Neuroendocrinology.* 2014. V. 99, № 3-4. P. 168-177.

19. Kim S.H., Lee S.H., Lee W.Y. [et al.] Serum levels of cholesterol, pregnenolone, DHEA, and their sulfate conjugates based on sex and pubertal stage in adolescents // *Clin. Chim. Acta.* 2016. V. 461. P. 47-52.

20. Li H., Ji C., Yang L. [et al.] Heritability of serum dehydroepiandrosterone sulphate levels and pubertal development in 6-18-year-old girls: a twin study // *Ann. Hum. Biol.* 2017. V. 44, T. 4. P. 325-331.

21. Maki P.M., Mordecai K.L., Rubin L.H. [et al.] Menstrual cycle effects on cortisol responsivity and emotional retrieval following a psychosocial stressor // *Horm Behav.* 2015. V. 74. P. 201-208.

22. Mouritsen A., Soeborg T., Hagen C.P. [et al.] Longitudinal changes in serum concentrations of adrenal androgen metabolites and their ratios by LC-MS/MS in healthy boys and girls // *Clin. Chim. Acta.* 2015. V. 450. P. 370-375.

23. Oskis A., Loveday C., Hucklebridge F. [et al.] Diurnal patterns of salivary cortisol across the adolescent period in healthy females // *Psychoneuroendocrinology.* 2009. V. 34, № 3. P. 307-316.

24. Rogol A.D. Sex steroids, growth hormone, leptin and the pubertal growth spurt // *Encode. Dev.* 2010. V. 17. P. 77-85.

25. 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.

## REFERENCES

1. Baevskij R.M., Berseneva A.P. Ocenka adaptacionnyh vozmozhno-stej organizma i risk razvitiya zabolevanij. M.: Medicina, 1997. 236 s.

2. Bol'shaja jenciklopedija psihologicheskikh testov: lichnost', motiva-cii, temperament, intellekt, liderstvo, testirovanie detej, vzaimoot-nosheniya, poisk raboty, professional'naja orientacija, harakter / av-tor-sost. Karelin A. M.: Jeksmo, 2007. 414 s.

3. Galleev A.R., Igisheva L.N., Kazin Je.M. VRS u zdorovyh detej v vozraste 6-16 let // Fiziologija cheloveka. 2002. T. 28, № 4. S. 35-40.
4. Dankovcev O.A., Gulin A.V., Maksimenko V.B. Soderzhanie korti-zola v sljune u zdorovyh shkol'nikov // Vestnik TGU. 2013. T. 18, Vyp. 47. S. 1357-1358.
5. Kaljuzhnyj E.A. Morfofunkcional'noe sostojanie i adaptacionnye vozmozhnosti uchashhihsja obshheobrazovatel'nyh uchrezhdenij v sovremen-nyh uslovijah: Avtoref. diss. d-ra. biol. nauk. Moskva. 2015. 40 s.
6. Kmit' G.V., Rubleva L.V. Vozrastnye osobennosti morfologiche-skogo i funkcional'nogo razvitiya miokarda u detej 5-9 let // Fizio-logija cheloveka. 2001. T. 27, № 5. S. 54-59
7. Kolesov D.V., Sel'verova N.B. Fiziologo-pedagogicheskie aspekty polovogo sozrevanija. M.: Pedagogika, 1978. 224 s.
8. Komarova O.A., Fedorov A.I., Kazin Je.M. Izuchenie adaptivnyh voz-mozhnostej podrostkov s razlichnymi rezhimami obuchenija po pokazate-ljam serdechnogo ritma // Valeologija. 2012. № 2. S. 26-29.
9. Mihajlov V.M. Variabel'nost' ritma serdca (novyj vzgljad na sta-ruju paradig-mu). 2017. 516 s.
10. Nikulina M.V. Vegetativnaja reguljacija serdechnoj dejatel'nosti u detej i po-drostkov: Diss... kand. biol. nauk. Arhangel'sk, 2005. 210 s.
11. Prihozhan A.M. Psihologija trevozhnosti: doskol'nyj i shkol'-nyj vozrast. M.: Piter, 2009. 192 s.
12. Tarasova O.L., Chetverik O.N., Fedorov A.I. [i dr.] Osobennosti psihofiziolog-icheskoj adaptacii uchashhihsja v razlichnyh uslovijah obu-chenija // Vestnik Novosi-birskogo GPU. 2016. № 1. S. 23-37.
13. Fedorov P.A. Analiz izmenenij reguljatornyh mehanizmov serdech-no-sosudistoj sistemy v podrostkovom vozraste: Diss... kand. biol. nauk. Jaroslavl'. 2005. 118 s.

## ВЕГЕТАТИВНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫПОЛНЕНИЯ КОГНИТИВНЫХ ЗАДАЧ В ПОДРОСТКОВОМ ВОЗРАСТЕ

М.М. Безруких, Е.С. Логинова<sup>1</sup>,  
Ю.Н. Комкова, Н.А. Терехова  
ФГБНУ «Институт возрастной физиологии  
Российской академии образования», Москва

*Проанализированы особенности вегетативной реакции при когнитивной деятельности у детей подросткового возраста. На предварительном этапе проведено изучение интеллектуального развития у подростков 13-14 лет. Выявлено, что более 40% подростков имеют низкие значения общего интеллектуального показателя. Наибольшие трудности у детей исследуемого возраста вызывают задания, направленные на анализ и синтез вербальной информации (субтест 4 «Обобщение»), а также вычисления в уме (субтест 5 «Арифметика»). С арифметическим субтестом хуже справлялись девочки ( $p < 0,05$ ).*

*Основной этап включал экспериментальное исследование вариабельности сердечного ритма (ВРС) у мальчиков и девочек 13-14 лет при когнитивной деятельности (счет в уме). Вегетативная реакция на когнитивную нагрузку у мальчиков и девочек не имеет существенных различий и характеризуется повышением активности симпатической нервной системы и снижением - парасимпатической.*

*Корреляционный анализ между показателями субтеста 5 «Арифметика» с другими показателями интеллекта, а также параметрами ВРС выявил, наибольшее число взаимосвязей в группе мальчиков. Особенности и характер этих взаимосвязей зависят от пола: наибольшее количество и теснота связи выявлены у мальчиков с вербальными субтестами. Большая степень вовлечения психофизиологических функций в реализацию этой деятельности у мальчиков, дает преимущество в решении математических задач с большим функциональным напряжением.*

**Ключевые слова:** *вариабельность сердечного ритма (ВРС), подростки, половые различия, интеллектуальное развитие, счет в уме*

**Vegetative reactions in adolescents completing cognitive tasks.** *Autonomic reaction to cognitive activity in adolescents is analysed. The preliminary stage involved the study of intellectual development in adolescents aged 13-14 years old. It was revealed that more than 40% of adolescents have low general intelligence indices. The greatest difficulties for children are caused by the analysis and the synthesis of verbal information (subtest 4 "Generalization"), as well as mental counting (subtest 5 "Arithmetic"). The lowest results in the arithmetic subtest were demonstrated by girls ( $p < 0.05$ ).*

*The main stage included the experimental study of heart rate variability (HRV) in 13-14-year-old boys and girls involved in cognitive activity (mental counting). The vegetative response to cognitive load in boys and girls does not differ significantly and is characterized by the increased reaction of the sympathetic nervous system and the decrease in the parasympathetic nervous system.*

---

Контакты: <sup>1</sup> Логинова Е.С. – E-mail: <caterina1967@yandex.ru>

*The correlation analysis between the indices of subtest 5 "Arithmetic" with other intelligence indices, as well as the parameters of HRV, revealed the largest number of correlations in the group of boys. The nature of these relationships depends on gender: the highest correlation was revealed in boys doing verbal subtests. Higher involvement of psychophysiological functions in boys gives advantage in solving mathematical problems with a large functional strain.*

**Key words:** heart rate variability (HRV), adolescents, sex differences, intellectual development, mental counting.

Снижение функциональных возможностей организма и рост когнитивных нагрузок в подростковом возрасте [11; 23], основа дисбаланса, создающего особое напряжение и хронический стресс в подростковом возрасте. Подростковый период был и остается возрастом, находящимся в фокусе научных интересов многих исследователей в области психологии, возрастной физиологии и психофизиологии [15; 20; 21 и др.]. Тем не менее, несмотря на длительную и разностороннюю историю изучения данного периода онтогенеза, ключевые моменты, связанные с механизмами, обеспечивающими когнитивную деятельность, успешность обучения и характеризующие мотивационно-эмоциональную сферу, остаются недостаточно исследованными и, как следствие, – дискуссионными [4]. В подростковом возрасте происходят важные прогрессивные изменения нейронных сетей и самих нейронов, однако данные изменения имеют динамические возрастные особенности. Подростковый период характеризуется прогрессивными преобразованиями мозговых систем, ответственных за произвольную регуляцию и организацию деятельности и произвольность процессов внимания [20; 29].

В данный возрастной период происходят метаболические и эндокринные перестройки, оказывающие влияние на особенности функционального состояния организма в целом, познавательное развитие, а также на успешность обучения на этом этапе онтогенеза [8]. Такую оценку функционального состояния дает анализ вариабельности сердечного ритма, который позволяет рассматривать особенности вегетативных функций у подростков [23], что важно в этот период в связи с ростом когнитивных нагрузок.

Таким образом, цель нашего исследования – изучение особенностей вегетативного обеспечения выполнения когнитивной деятельности у подростков 13-14 лет. В связи с этим первый этап исследования включал анализ когнитивной деятельности у подростков, с целью выявления особенностей развития. В ходе основного этапа проводилась оценка вариабельности сердечного ритма в состоянии относительного покоя и при решении арифметической задачи.

## ОРГАНИЗАЦИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В исследовании приняли участие 98 детей (57 мальчиков, 39 девочек) 13–14 лет (средний возраст –  $13.67 \pm 0.36$  лет), обучающихся в общеобразовательных школах г. Москвы. У всех детей было проведено изучение интеллектуального развития и у 32 детей – исследование вариабельности сердечного ритма.

Все дети, согласно данным медицинских карт, относились к I-II группам здоровья. Исследование проводили с письменного разрешения родителей и согласия детей в первой половине дня (с 9 до 13 часов), в период наиболее успешной ко-

гнитивной деятельности. Этические принципы исследования согласованы с ученым советом ФГБНУ «Институт возрастной физиологии РАО».

Интеллектуальное развитие подростков 13-14 лет исследовалось с помощью теста Р. Амтхауэра в модификации К.М. Гуревича с соавт. (1993) [18], а также проводился анализ особенностей развития когнитивных функций с учетом психофизиологической структуры компонентов интеллекта [2].

Для исследования автономной нервной регуляции сердечного ритма проводилась регистрация электрокардиограммы (ЭКГ с помощью прибора «Полиспектр-12» (Иваново, Россия).

Анализ variability сердечного ритма проводился в соответствии с методическими рекомендациями, разработанными группой российских авторов [1] и стандартом Европейского общества кардиологов и Северо-Американского общества электростимуляции и электрофизиологии [31]. Статистические характеристики динамического ряда кардиоинтервалов при проведении временного анализа ВРС включали вычисление следующих показателей: RRNN,мс – средняя длительность нормальных 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; pNN<sub>50</sub>% - процент NN<sub>50</sub> (NN<sub>50</sub> – количество пар последовательных интервалов NN, различающихся более, чем на 50 мс в течение всей записи) от общего количества последовательных интервалов, полученный за весь период записи; CV,% – коэффициент вариации.

При проведении спектрального анализа ВРС оценивали следующие параметры спектрограммы: HF (мс<sup>2</sup>, п.у., %) – мощность спектра в диапазоне высоких частот (0,15-0,4 Гц); LF (мс<sup>2</sup>,п.у.,%) – мощность спектра в диапазоне низких частот (0,04-0,15Гц); очень низкочастотные колебания – (VLF (мс<sup>2</sup>,%)) - мощность спектра в диапазоне 0,003-0,04 Гц. TP (мс<sup>2</sup>) – общая мощность спектра или полный спектр частот, характеризующих ВРС. Это мощность спектра в диапазоне от 0,003 до 0,4 Гц; LF/HF - отношение низкочастотной составляющей спектра к высокочастотной.

Исследование проводилось с каждым ребенком индивидуально. Запись ЭКГ осуществлялась во II стандартном отведении в следующей последовательности: 1) фон; 2) функциональная проба (счет в уме). Во всех экспериментальных ситуациях анализировалась 3-5-минутная запись ЭКГ.

В качестве умственной нагрузки использовали функциональную пробу "счет в уме". Длительность теста составляла 5 минут, в течение которых испытуемый последовательно из начального числа 400 вычитал 7. Если он совершал ошибку или не отвечал, тест повторялся сначала, при этом не применялось никакого наказания. Условия выполнения этого теста комплементарны заданию субтеста 5 «Арифметика» теста Р. Амтхауэра.

Все анализируемые данные ВРС значительно не отклонялись от нормального распределения (критерий Колмогорова-Смирнова). Для проверки статистических гипотез исследования использовался дисперсионный анализ (ANOVA), t-тест Стьюдента. Для статистического анализа показателей интеллекта использовался непараметрический критерий Манна–Уитни для независимых выборок.

Для исследования особенностей взаимосвязей между параметрами ВРС и показателями интеллекта применялось вычисление ранговой корреляции Спирмана.

Представленные результаты основаны на статистически значимых данных с уровнем значимости не ниже  $p \leq 0.05$ .

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

### Особенности структуры интеллекта у мальчиков и девочек 13-14 лет

Анализ компонентов интеллекта подростков 13-14 лет показал, что уровень психофизиологических функций, определяющих эффективность решения вербальных и невербальных задач, имеет свои особенности. Отмечено низкое качество выполнения (ниже средних значений) вербальных и невербальных заданий в целом по группе, что отражается на общем интеллектуальном показателе - 33,33 % детей имеют низкий уровень, а 8,33 % - очень низкий.

Обращают на себя внимание низкие результаты выполнения субтеста 4 "Обобщение" (73,96 % детей), основу выполнения которого составляют обобщение, анализ и синтез [2; 12] понятийного аппарата и возможность актуализировать общий объем пассивного словаря, что является критерием сформированности вербально-логического и абстрактного мышления, что отмечается и другими исследователями [7].

Трудности при выполнении этого субтеста подростками отмечается и другими исследователями [9; 16].

В классификациях, аналогиях и обобщениях в подростковом возрасте ещё встречаются неточности. Возможно, причина этого - в недостаточном развитии умения выделять существенные признаки, которое служит основанием для классификации [15]. При выполнении таких заданий подростки выбирают в качестве обобщающего понятия общие категории, что приводит к частичной потере ключевых признаков. Подавляющее большинство подростков решают мыслительные задачи с помощью регуляции поиска на основе обобщенного понимания [15]. Возможно, это связано с недостаточным уровнем активации префронтальной коры в подростковом возрасте, что отмечается многими исследователями [17; 46].

Несмотря на то, что в подростковом возрасте отмечается рост в развитии способности действовать в уме [15], обращают на себя внимание низкие результаты при решении арифметических задач (субтест 5 "Арифметика") [9, 16].

Ведущую роль при решении арифметических задач исследователи отводят рабочей памяти [47], в механизмах которой подчеркивается роль лобных областей коры головного мозга [44]. В подростковом возрасте продолжают прогрессивные изменения нейронного аппарата коры головного мозга, главным образом ее лобных отделов [17; 19]. Вместе с тем, этот возраст характеризуется отрицательными сдвигами в функционировании регуляторных систем, связанных с нейроэндокринными процессами пубертатного периода [21]. При визуальном анализе ЭЭГ у детей подросткового возраста отмечается неоптимальное функциональное состояние передних отделов структур мозга, что авторы связывают с гормональными изменениями в период полового созревания [20]. Однако, как замечает Попова Е.В. (2009) [16], причиной может быть и недостаточно развитое умение анализировать условия задания.



Несмотря на то, что субъективная оценка не выявила значимых различий в показателях успеваемости по предметам математического блока между мальчиками и девочками, дополнительно проведенный дисперсионный анализ выявил влияние фактора «ПОЛ» на показатели интеллекта, в частности субтест 5 «Арифметика» (Табл. 1).

Таблица 1

*Дисперсионный анализ показателей интеллекта теста Амтхауэра  
у детей 13-14 лет.  
(влияние фактора «ПОЛ»)*

Субтесты	df	F	Sig.
1. Закончи предложение («Логический отбор»)	1,96	0,136	0,714
2. Пятый лишний («Определение общих признаков»)	1,96	0,769	0,386
3. Аналогии («Аналогии»)	1,96	1,510	0,226
4. Обобщение («Классификация»)	1,96	0,163	0,689
<b>5. Арифметика («Счет»)</b>	<b>1,96</b>	<b>4,319</b>	<b>0,044</b>
6. Последовательность чисел («Ряды чисел»)	1,96	1,389	0,245
7. Сложение фигур («Выбор фигур»)	1,96	0,240	0,627
8. Кубики («Кубики»)	1,96	0,596	0,445
9. Рабочая память («Задание на сосредоточение внимания и память»)	1,96	1,214	0,277

*Примечание: значимость влияния соответствующего фактора (p), значения критерия Фишера (F), степени свободы с поправкой Гринхауса-Гейссера (df). Значимые влияния выделены жирным шрифтом.*

В литературе отмечается преимущество мальчиков при выполнении арифметических и зрительно-пространственных заданий, в то время как девочки лучше справляются с вербальными заданиями [36; 40].

Базовой основой выполнения математических субтестов является уровень развития счетных операций и вербально-логического мышления [2]. Более низкие результаты при выполнении этого субтеста отмечены у девочек ( $5,41 \pm 0,46$ ), по сравнению с показателем мальчиков ( $7,84 \pm 0,58$ ), что отмечается в ранних исследованиях [41], тогда как более поздние исследования не выявляют половые различия [37; 45]. При этом встречаются данные, где отмечаются преимущества девочек при выполнении заданий по математике [30].

Как отмечали ранее, анализ средних данных исследуемой выборки показал, что подростки 13-14 лет испытывают трудности с выполнением арифметических операций. Следует заметить, что высокие показатели при выполнении таких вычислений опираются на совокупность разных навыков и способов мышления –

они требуют абстрактных, концептуальных, логических и пространственных рассуждений, но также часто нуждаются в аккуратности и точности при выполнении задания. У подростков 13-14 лет концептуальное мышление недостаточно развито [35]. Возможно, это может быть связано с функциональными особенностями развития управляющих функций [20; 34].

Таким образом, проведенный анализ интеллекта выявил, что в целом по группе низкие значения всех показателей интеллекта, при этом наибольшие трудности были выявлены при выполнении арифметического задания. У девочек качество выполнения этого задания ниже, чем у мальчиков ( $p < 0,05$ ). Такие результаты у подростков 13-14 лет могут быть связаны с разным темпом полового созревания, а также с недостаточно сформированным абстрактным и концептуальным мышлением и рабочей памятью.

Проведенный корреляционный анализ показал, что теснота связей по своей структуре и количеству значимых коэффициентов корреляций имеет свои особенности у мальчиков и девочек (рис. 1). Как видно из рис. 1 число взаимосвязей между значениями анализируемых показателей интеллекта больше у мальчиков. Так, у них выявлены между субтестом 5 ("Арифметика") и показателями вербальных субтестов 1,2,3,4 («Закончи предложение», «Пятый лишний», «Аналогии», «Обобщение») ( $r=0,385$ ;  $r=0,414$ ;  $r=0,597$ ;  $r=0,502$ ;  $p < 0,05$  соответственно), что, вероятно, связано с особенностями развития речи. В подростковом возрасте происходит значительное обогащение словаря, увеличение запаса слов, которыми оперирует подросток, в основном за счет специальных научных терминов, усваиваемых подростками в процессе изучения различных предметов [5; 15]. Большая теснота корреляционных связей с показателями субтестов, относящихся к факторам речевого развития, памяти и произвольного внимания, дает нам основание рассматривать ее как связь между механизмами, обеспечивающими эту деятельность (счетные операции).

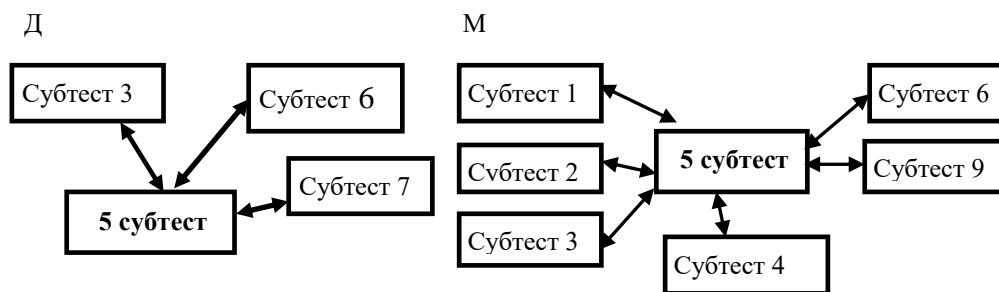


Рис. 1. Взаимосвязи между показателем субтеста 5 «Арифметика» и другими показателями интеллекта у детей 13-14 лет (М - мальчики, Д - девочки), линии черного цвета – коэффициент корреляции положительного значения,  $p < 0,05$ .

Также у мальчиков отмечаются слабые взаимосвязи между показателем этого же арифметического субтеста 5 («Арифметика») и показателем субтеста 9 «Рабочая память» ( $r=0,273$ ;  $p<0,01$ ).

В психофизиологической структуре субтеста 9 ("Рабочая память") важнейшая роль отводится рабочей памяти, уровню речевого развития (состояние активного и пассивного словаря), а также уровню развития словесно-логического мышления и умению организовать свою деятельность [2].

Хорошо известно, что одним из ведущих компонентов при выполнении арифметических заданий является вербальная память, которая опосредует эту деятельность путем совместного «включения» зрительного и словесного восприятия [27], что предполагает возможность координации двух отдельных операций (например, одновременное хранение и обработка информации) [24]. Выполнение подобных заданий сопровождается проговариванием (вслух или про себя) чисел при вычислениях в уме. Такое фонологическое посредничество влияет на точность и скорость их выполнения [33; 38]. Особенности арифметических действий зависят и от индивидуальных стратегий решения [32].

В группе девочек - подростков взаимодействия между арифметическим субтестом и другими компонентами интеллекта отличны по влиянию, количеству и качеству связей, по сравнению с мальчиками. Так у них выявлено меньшее количество связей с вербальными субтестами. Такая связь выявлена с показателем субтеста 3 («Аналогии») ( $r=0,507$ ;  $p<0,001$ ), психофизиологическую основу этого субтеста составляют абстрактное и логическое мышление, внимание, рабочая память, произвольная организация и регуляция деятельности, что может свидетельствовать о специфичности выполнения математических заданий.

Несмотря на то, что некоторые исследователи отводят главную роль вербальной составляющей в выполнении математических заданий, ряд исследователей связывают успешность выполнения математических заданий с уровнем пространственных способностей [42]. По предположению некоторых ученых [28] показатели пространственных способностей, таких, как способность мысленно вращать объекты, образуют корреляции высокого уровня с математическими показателями. Однако, другой исследователь Chipman S. (2005) [25], анализируя исследования, приходит к выводу, "что корреляции между пространственными и математическими показателями – свидетельство определенного вклада пространственных способностей к выполнению математических заданий....но очень слабое" (С.8).

Проведенный нами корреляционный анализ у девочек выявил взаимосвязь с показателем зрительно-пространственного субтеста 7 («Сложение фигур») ( $r=0,330$ ,  $p<0,05$ ). Отмеченные нами взаимосвязи между показателями математических и пространственных субтестов можно объяснить общими психофизиологическими функциями, лежащими в основе реализации данных заданий, которые включают вербально-логическое мышление, произвольное внимание, рабочую память, произвольную организацию и регуляцию деятельности [2; 12].

И у мальчиков, и у девочек между показателями математических субтестов 5 ("Арифметика") и 6 ("Последовательность цифр") также выявлены положительные корреляции высокого и среднего уровня ( $r=0,746$  и  $r=0,493$ ;  $p<0,001$  соответственно), что объясняется уровнем сформированности вербально-логического мышления, зрительно-пространственного восприятия, внимания и рабочей памяти [2].

Таким образом, корреляционный анализ выявил разный характер связей между анализируемыми показателями интеллекта у мальчиков и девочек. Меньшее количество связей у девочек между математическим и вербальными субтестами может свидетельствовать о меньшей опоре на вербальный компонент, но при этом отмечается заинтересованность зрительно-пространственных компонентов при выполнении счетных операций, а у мальчиков большая теснота связей с вербальными составляющими и «включение» компонентов рабочей памяти.

Особенности выявленных взаимосвязей позволяет предположить, что мальчики и девочки используют разные стратегии при выполнении счетных действий: мальчики – в большей степени «опираются» на вербальные функции и компоненты рабочей памяти. Меньшее количество взаимосвязей у девочек свидетельствует о большей специфичности когнитивных функций при выполнении математических заданий. Такие различия могут быть связаны с возрастными и индивидуальными особенностями подростков.

### **Особенности вегетативной регуляции сердечного ритма у мальчиков и девочек 13-14 лет**

Исследование вариабельности сердечного ритма школьников 13-14 лет в состоянии относительного покоя показало, что значения спектральных и временных показателей ВРС соответствуют данным, приводимым в работах последних лет [22; 26]. У всех обследованных детей частотный спектр ВРС характеризовался хорошо выраженными волнами высокой и низкой частот, что согласуется с данными Шарапова А.Н. и соавт (2016) [22].

Не менее важным аспектом изучения вегетативных реакций является фактор пола в подростковом возрасте, поскольку именно в этот период происходят активные эндокринные перестройки, степень выраженности которых различается у мальчиков и девочек. Данные, приводимые в литературе по этому вопросу, в состоянии покоя и при выполнении умственных и физических нагрузок противоречивы. Спектральный анализ ВРС позволил установить половые различия по параметрам очень низкочастотного (VLF) и низкочастотного (LF) компонентов спектра – с 11 лет, по параметру высокочастотного компонента спектра (HF) – с 12 лет и нивелирование различий между мальчиками и девочками в 16 лет [6; 22].

По данным другого исследования в 13, 14 и 16 лет общая мощность спектра выше у мальчиков [13; 14]. Высокая симпатическая активность ВНС у девочек отмечается в 11-13 лет [3; 14], тогда как у мальчиков по одним данным в 12 и 15 лет [14], по другим в период 13-16 лет [3]. В свете физиологических изменений, которые происходят в подростковый период отмечаются периоды риска срыва адаптации, которые носят временный характер [3; 14], что отражается на успешности учебной деятельности.

Проведенный в настоящем исследовании дисперсионный анализ данных ВРС позволил выявить различия в регуляции сердечного ритма у мальчиков и девочек в состоянии покоя.

В целом по выборке значимые половые различия в анализируемых показателях СР выявлены в случае временного параметра  $pNN_{50}$  ( $F(1,34)=4.603$ ,  $p=0.039$ ): у мальчиков значение этого показателя выше, в сравнении с девочками ( $t(30) = 9,213$ ;  $p=0,049$ ).

Таблица 2

Показатели спектрального и временного анализа variability сердечного ритма у мальчиков и девочек 13-14 лет в покое, при выполнении арифметической задачи ( $M \pm m$ )

Показатели		Период исследования			
		Мальчики (n=16)		Девочки (n=16)	
		Исх.сост.	Арифметическая задача	Исх.сост.	Арифметическая задача
Временные характеристики	RRNN	748,31 ±41,78	645,71* ±22,32	682,87 ± 35,29	646,71* ± 33,21
	SDNN	74,43 ±9,46	76,52 ±10,55	60,25 ±6,17	61,64 ±6,97
	RMSSD	66,69 ±11,43	66,80 ±11,58	46,31 ±7,33	46,47 ±8,78
	pNN50	32,33^ ±6,26	19,91* ±4,99	16,29 ±4,62	16,81 ±4,91
	CV	9,62 ±0,89	10,83 ±1,40	8,59 ±0,58	9,16 ±0,66
	Спектральные характеристики	LF/HF	1,20^±0,17	1,95*±0,22	1,93±0,39
TP		7780,625± 1821,52	7569,90± 1717,61	5013,87 ± 829,71	5580,53 ± 961,11
VLF mc <sup>2</sup>		2269,25± 514,66	1674,05± 350,22	1697,1250± 273,05	1318,76 ± 233,41
LFmc <sup>2</sup>		2404,43± 478,21	3140,05± 562,61	1763,37 ± 274,26	2570,88 ± 388,76
HFmc <sup>2</sup>		3106,81± 976,03,02	2755,62± 933,03	1553,25 ± 444,00	1690,82 ± 481,08
VLF %		32,81 ±3,87	24,90 ±2,32	34,81± 3,52	23,76 ±1,82
LF %		33,81 ±2,90	46,09* ±2,36	37,20 ±3,32	49,23* ±2,56
HF %		33,56 ±3,51	29,09 ±2,92	28,00 ±3,35	28,00 ±2,94
LF n.u		50,76 ±3,45	62,03* ±3,05	58,1 ±4,29	63,53 ±3,29
HF n.u		49,23 ±3,45	37,92* ±3,05	41,87 ±4,28	35,87 ±3,03

Примечания: ^ – значимые различия между мальчиками и девочками, \* - значимые различия показателей по сравнению с исходным состоянием, (при  $p \leq 0,05$ ) по t-критерию Стьюдента.

Выявлены различия на уровне тенденции в значениях показателя LF/HF ( $F(1,30)=2.978, p=0.095$ ) – у девочек его величина выше в сравнении с мальчиками

( $t(30) = 9,213$ ;  $p=0,049$ ). Следует отметить, что этот параметр у девочек выше за счет низких значений высокочастотного показателя (HF,  $p>0,05$ ), в отличие от мальчиков, что смещает баланс в сторону низкочастотного (LF). При этом значение LF значимо не отличается между мальчиками и девочками.

Таким образом, у девочек в состоянии покоя отмечается равноценный вклад симпатических, парасимпатических и гуморально-метаболических влияний, тогда как у мальчиков отмечается преобладание парасимпатических нервных влияний в регуляции сердечного ритма ( $p>0,05$ ).

Увеличение парасимпатических влияний на ритм сердца на различных этапах онтогенеза происходит волнообразно, что рассматривается как регуляторные сдвиги, имеющие адаптационный характер [6].

Значимые различия при решении математических задач у мальчиков и девочек 13-14 лет позволили рассмотреть особенности вегетативной реакции при выполнении арифметического теста (обратный счет в уме) отдельно в группах мальчиков и девочек.

Как показал проведенный анализ направленность изменений параметров вегетативной регуляции у мальчиков при когнитивной нагрузке характеризуется ростом активности симпатической нервной системы (LF%,  $t(15)=-3,338$ ,  $p=0,004$ ; LFn.u.  $t(15)=-2,816$ ,  $p=0,013$ ) характеризующие активность парасимпатического отдела АНС, в сторону снижения (HF п.у. ( $t(15)=2,816$ ,  $p=0,013$ ;  $pNN_{50}$  ( $t(15)=2,175$ ,  $p=0,046$ ).

Во время счета в уме у девочек отмечается рост активности симпатической нервной системы (LF%,  $t(15)=-1,973$ ,  $p=0,069$ ; LFn.u.  $t(15)=-3,607$ ,  $p=0,003$ ) (Табл.2).

Повышение тонуса симпатической нервной системы во время когнитивной деятельности вполне типичная вегетативная реакция [10].

Таким образом, сравнительный анализ вегетативной реакции мальчиков и девочек при когнитивной деятельности не выявил существенных различий.

По данным интеллектуального теста значимые различия по полу отмечаются. В связи с этим, считаем необходимым рассмотреть особенности взаимосвязей между значением показателя субтеста 5 («Арифметика») и параметрами ВРС во время когнитивной деятельности (счет в уме) у мальчиков и девочек. Как видно из рис.2. у мальчиков выявлена отрицательная зависимость между показателем ритма спектра, отражающим гуморально-метаболическое влияние (VLF,  $r=-0,507$ ;  $p=0,038$ ) и положительная зависимость с значением показателя симпатической нервной активности (LF,  $r=0,498$ ;  $p=0,042$ ).

Иной характер взаимосвязей выявлен в группе девочек. У них отмечаются прямые взаимосвязи с показателями парасимпатической нервной системы (HF, SDNN, RMSSD  $r=0,546 - 0,677$ ;  $sp<0,01$ ) и общей мощностью спектра ритма сердца (TP,  $r=0,588$ ;  $p=0,017$ ). Выявленные взаимосвязи у девочек можно объяснить с позиции поливагусной теории, предложенной Стивенем Порджесом, где парасимпатической нервной системе отводится роль в регуляции деятельности, эмоций и социальной адаптации [43]. Экспериментальные исследования с участием взрослых отмечают взаимосвязи показателей парасимпатических нервных влияний с управляющими функциями при когнитивных задачах [39].

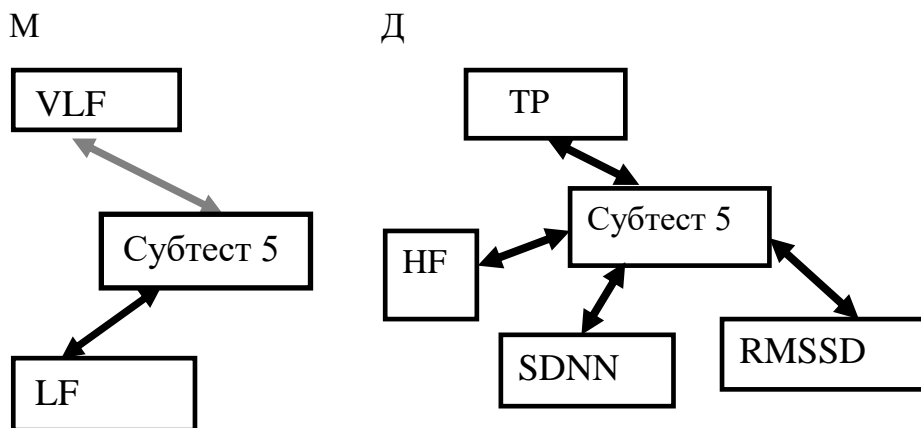


Рис. 2. Взаимосвязи между показателями вегетативной нервной регуляции сердечного ритма во время решения арифметической задачи и показателем субтеста 5 «Арифметика» у детей 13-14 лет (М- мальчики, Д - девочки), линии черного цвета – коэффициент корреляции положительного значения, линии серого цвета – коэффициент корреляции отрицательного значения,  $p < 0,05$ .

Таким образом, отмеченные особенности во взаимосвязях показателей сердечного ритма и значения показателя арифметического субтеста 5 («Арифметика») может характеризовать разную физиологическую «цену» при определенной когнитивной деятельности.

## ВЫВОДЫ

1. Отмечается низкое качество выполнения вербальных и невербальных заданий у подростков 13-14 лет, в том числе математического субтеста («Арифметика»), при этом наибольшие трудности выявлены у девочек. Такие результаты могут быть связаны с особенностями развития психофизиологических функций: речи, абстрактного мышления, рабочей памяти, произвольной организации и регуляции деятельности.

2. Особенности взаимосвязи между показателем математического субтеста 5 («Арифметика») и показателями интеллекта зависят от пола: большая степень вовлечения психофизиологических функций у мальчиков, дает преимущество в решении математических задач с большим функциональным напряжением, а меньшее число взаимосвязей у девочек свидетельствует о большей специфичности когнитивных функций при выполнении математических заданий.

3. Вегетативная регуляция сердечного ритма при умственной нагрузке у мальчиков и девочек характеризуется ростом активности симпатической нервной системы и снижением парасимпатической.

4. Структура и характер взаимосвязей между показателями variability сердечного ритма и показателем субтеста 5 («Арифметика») зависят от пола: у девочек отмечены прямые взаимосвязи с показателями парасимпатических нервных влияний ( $r = 0,546 - 0,677, p < 0,01$ ), а у мальчиков – с симпатическими

( $r=0,498$ ;  $p=0,042$ ), что может свидетельствовать о разной физиологической «цене» при когнитивной деятельности.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баевский Р.М. Иванов Г.Г., Чирейкин Л.В. и др. Анализ variability сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем (часть 1) // Вестник аритмологии. – 2001. – № 24. – С. 65.
2. Безруких М.М., Комкова Ю.Н. Интеллектуальное развитие мальчиков и девочек 15-16 лет. Психофизиологическая структура // Физиология человека. – 2010. – Т. 36. № 4. – С. 57-64.
3. Белоусов, Ю.В., Батырев М.И. Кардиоинтервалография (вариационная пульсометрия в детской гастроэнтерологии). – М., 1988. – 44 с.
4. Весна Е.Б., Фризмен М.А. Особенности развития смысловой сферы подростков. – Петр.-камч.: Изд-во КамГУ им. В. Беринга, 2007. – 189 с.
5. Выготский Л.С. Психология. – М.: Апрель пресс: ЭКСМО-пресс, 2000. – 1006 с.
6. Галлеев А.Р., Игишева Л.Н., Казин Э.М. ВРС у здоровых детей в возрасте 6-16 лет // Физиология человека. – 2002. – Т. 28, № 4. – С. 54-58.
7. Дроздова Т.В. Исследование креативности мышления в процессе решения компьютерных задач: на примере младшего школьника: Дисс. ... канд. психол. наук. – Кастрома, 1998. – 284 с.
8. Колесов Д.В., Сельверова Н.Б. Физиолого-педагогические аспекты полового созревания. – М.: Педагогика, 1978. – 224 с.
9. Комкова Ю.Н. Познавательное развитие и функциональное состояние организма подростков 15-16 лет с разным опытом работы за компьютером : дисс.... к. б.н. – М., 2011. – 168 с .
10. Кузнецова О.В., Комкова Ю.Н. Возрастные изменения параметров гемодинамики и дыхания у мальчиков школьного возраста по данным временного и спектрального анализа // Новые исследования. – 2015. – Т. 43, № 2. – С. 27.
11. Кучма В.Р. Вызовы XXI века: Гигиеническая безопасность детей в изменяющейся среде. – М.: Педиатр. 2016. – 76 с.
12. Логинова Е.С. Психофизиологическая структура вербального и невербального интеллекта детей 6-7 и 9-10 лет с разной успешностью обучения: автореферат дисс. ... на соискание ученой степени к.б.н. – М., 2003. – 21 с.
13. Макаров Л.М. ЭКГ в педиатрии. – М.: Медпрактика, 2002. – 276 с.
14. Никулина М.В. Вегетативная регуляция сердечной деятельности у детей и подростков: Дис... канд. биол. наук. – Архангельск, 2005. – 210 с.
15. Особенности обучения и психического развития школьников 13-17 лет / Под ред. И.В. Дубровиной, Б.С. Круглова. – М.: Педагогика, 1988. – 192 с.
16. Попова Е.В. Психофизиологический анализ интеллекта и стратегий принятия решений у детей дошкольного и школьного возраста: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Архангельск, 2003. – 20 с.
17. Развитие мозга и формирование познавательной деятельности ребенка / Под ред. Д.А. Фарбер, М.М. Безруких. – М.: Изд-во МПСИ; Воронеж: Изд-во НПО "МОДЭК", 2009. – 432 с.



18. Руководство к применению теста структуры интеллекта Рудольфа Амтхауэра / Под ред. К.М. Гуревича. – Обнинск: Принтер, 1993. – 18 с.
19. Семенова Л.К., Васильева В.А., Цехмистренко Т.А., Шумейко Н.С. Структурные преобразования коры головного мозга // Физиология развития ребенка: Рук-во по возрастной физиологии / Под ред. М.М. Безруких, Д.А. Фарбер. – М.: Изд-во МПСИ; Воронеж: Изд-во НПО "МОДЭК", 2010. – С. 132-191.
20. Семенова О.С., Мачинская Р.И. Влияние функционального состояния регуляторных систем мозга на эффективность программирования, избирательной регуляции и контроля когнитивной деятельности у детей. Сообщение 1. Нейропсихологический и электроэнцефалографический анализ возрастных преобразований регуляторных функций мозга в период от 9 до 12 лет // Физиология человека. – 2015. – Т. 41, № 4. – С. 1-13.
21. Физиология подростка / Под ред. Фарбер Д.А. М.: Просвещение, 1988. 204 с.
22. Шарапов А.Н., Безобразова Л.Н., Догадкина С.Б. Адаптация сердечно-сосудистой и нейроэндокринной систем к нагрузкам разного вида у подростков 12-14 лет // Новые исследования. – 2016. – №4. (249). – С. 21-44.
23. Шквирина О.И., Трохимчук Л.Ф., Хасанова Н.Н., Мещеряков Ю.В., Линева Т.А. Динамика функционального состояния организма подростков 12-13 лет как критерий адаптации к образовательной среде // Научный журнал «Вестник АГУ». – 2014. – В. 1 (133). – С. 56-63.
24. Andersson U. Working memory as a predictor of written arithmetical skills in children: The importance of central executive functions // British Journal of Educational Psychology. – 2008, 78, P. 181–203
25. Chipman S. Research on the women and mathematics issue: A personal history // Gender Differences in Mathematics: An Integrative Psychological Approach / Eds. A.M. Gallagher, J.C. Kaufman. Cambridge University Press, 2005.
26. Cysarz D., Linhard M., Edelhäuser F., Längler A., Van Leeuwen P., Henze G. Unexpected course of nonlinear cardiac interbeat interval dynamics during childhood and adolescence. 2011.
27. Delazer M., Domahs F., Bartha L., Brenneis C., Lochy A., Trieb T. Learning complex arithmetic—an fMRI study // Cogn. Brain Res. – 2003. – 18. – P. 76-88
28. Delgado A., Prieto G. Cognitive mediators and sex-related differences in mathematics // Intelligence. – 2004. – Vol.32. – P.25-32.
29. Diamond A. Normal development of prefrontal cortex from birth to young adulthood: Cognitive functions, anatomy, and biochemistry. In: Stuss DT, Knight RT, editors. Principles of frontal lobe function. – New York: Oxford University Press, 2002. P. 466–503.
30. Else-Quest N.M., Hyde J.S., Linn M.C. Cross-national patterns of gender differences in mathematics and gender equity: A meta-analysis // Psychological Bulletin. – 2010. – 136. – P. 103–127.
31. Heart rate variability. Standards of Measurement, Physiological interpretation and clinical use // Circulation. – 1996. – Vol.93. – P. 1043.
32. Hubber P.J., Gilmore C., Cragg L. The roles of the central executive and visuospatial storage in mental arithmetic: A comparison across strategies // The Quarterly Journal of Experimental Psychology. – 2014. – V. 67. N. 5. – P. 936-954.

33. Klessinger N., Szczerbinski M., Varley, R. The role of number words: the phonological length effect in multidigit addition // *Mem. Cognit.* 2012. 40. P. 1289–1302.
34. Konrad K.I., Firk C., Uhlhaas P.J. Brain development during adolescence: neuroscientific insights into this developmental period // *Dtsch Arztebl Int.* 2013. Jun; 110 (25). P. 425-31.
35. Lawson A.E. A review of research on formal reasoning and science teaching // *Journal of Research in Science Teaching.* 1985. 22(7). P. 569-617
36. Leahey E, Guo G. Gender differences in mathematical trajectories // *Social Forces.* 2001. Dec;80. P. 713–732.
37. Lindberg S.M., Hyde J.S., Petersen J.L., Linn M.C. New trends in gender and performance in mathematics: A meta-analysis // *Psychological Bulletin.* 2010. 136. P. 1123–1135.
38. Logie R.H., Gilhooly K.J., Wynn V. Counting on working memory in arithmetic problem solving // *Memory and Cognition.* 1994. 22. P. 395–410.
39. Luque-Casado A., Perales J.C., Cárdenas D., Sanabria D. Heart rate variability and cognitive processing: the autonomic response to task demands // *Biol. Psychol.* 2016. V. 113. P. 83.
40. Mau W.C., Lynn R. Gender differences in homework and test scores in mathematics, reading and science at tenth and twelfth grade // *Psychology, Evolution and Gender.* 2000. 2. P. 119–125.
41. Mullis I.V., Martin M.O., Gonzales E.J., Chrostowski S.J. TIMSS 2003 international maths report: Findings from IEA'S trends in international mathematics and science study of the fourth and eight grades. Chestnut Hill: Boston College. 2004.
42. Nuttall R., Casey M., Pezaris E. Spatial ability as a mediator of gender differences on mathematics test: A biological-environmental framework // *Gender Differences in Mathematics: An Integrative Psychological Approach* /Ed. A.M. Gallagher, J.C. Kaufman.- Cambridge: Cambridge University Press, 2005.
43. Porges S. The polyvagal theory: New insights into adaptive reactions of the autonomic nervous system // *Cleve Clin J Med.* 2009. 76 (Suppl 2). P. S86–S90.
44. Rivera S., Reiss A., Eckert M. Developmental changes in mental arithmetic: evidence for increased functional specialization in the left inferior parietal cortex // *Cerebral Cortex.* 2005. V.15. P. 1779–1790.
45. Rosselli M., Ardila A., Matute E., Inozemtseva O. Gender differences and cognitive correlates of mathematical skills in school-aged children // *Child Neuropsychol.* 2009. May; 15 (3). P. 216-31.
46. Steinberg L. A social neuroscience perspective on adolescent risk-taking // *Developmental Review.* 2008. V.28. P. 78–106.
47. Swanson H.L., Zheng X., Jerman O. Growth in Working Memory and Mathematical Problem Solving in Children at Risk and Not at Risk for Serious Math Difficulties // *Journal of Educational Psychology.* 2008. V.100. P.343-379.

## REFERENCE

1. Baevskij R.M. Ivanov G.G., Chirejkin L.V. i dr. Analiz variabel'nosti ser-dechnogo ritma pri ispol'zovanii razlichnyh jelektrokardiograficheskikh sistem (chast' 1) // *Vestnik aritmologii.* 2001. № 24. S. 65.

2. Bezrukih M.M., Komkova Ju.N. Intellektual'noe razvitie mal'chikov i devochek 15-16 let. Psihofiziologicheskaja struktura // Fiziologija cheloveka. 2010. T.36. №4. P. 57-64.
3. Belousov, Ju.V., Batyrev M.I. Kardiointervalografija (variacionnaja pul'sometrija v detskoj gastrojenterologii). M., 1988. 44 p.
4. Vesna E.B., Frizmen M.A. Osobennosti razvitija smyslovoj sfery podrostkov. Petr.-kamch.: Izd-vo KamGu im. V. Beringa, 2007. 189 p.
5. Vygotskij L.S. Psihologija. M.: Aprel' press: JeKSMO-press, 2000. 1006 s.
6. Galleev A.R., Igisheva L.N., Kazin Je.M. VRS u zdorovyh detej v vozraste 6-16 let // Fiziologija cheloveka. 2002. T.28. №4. P.54-58.
7. Drozdova T.V. Issledovanie kreativnosti myshlenija v processe reshenija komp'juternyh zadach: na primere mladshego shkol'nika: Diss....kand. psihol. nauk. Kastroma, 1998. 284 p.
8. Kolesov D.V., Sel'verova N.B. Fiziologo-pedagogicheskie aspekty polovogo sozrevanija. M.: Pedagogika, 1978. 224 p.
9. Komkova Ju.N. Poznavatel'noe razvitie i funkcional'noe sostojanie organizma podrostkov 15-16 let s raznym opytom raboty za komp'juterom : diss.... k. b.n., Moskva, 2011.- 168 p
10. Kuznecova O.V., Komkova Ju.N. Vozrastnye izmenenija parametrov gemodinamiki i dyhanija u mal'chikov shkol'nogo vozrasta po dannym vremennogo i spektral'nogo analiza // Novye issledovanija. 2015. T. 43, № 2. P. 27.
11. Kuchma V.R. Vyzovy XXI veka: Gigienicheskaja bezopasnost' detej v izmenjajushhejsja srede. M.: Pediatr. 2016. 76 p.
12. Loginova E.S. Psihofiziologicheskaja struktura verbal'nogo i neverbal'nogo intellekta detej 6-7 i 9-10 let s raznoj uspešnost'ju obuchenija, Avtoreferat dissert. na soiskanie uchenoj stepeni kbn., Moskva, 2003. 21str.
13. Makarov L.M. JeKG v pediatrii. M.: Medpraktika, 2002. 276 p.
14. Nikulina M.V. Vegetativnaja reguljacija serdečnoj dejatel'nosti u detej i podrostkov: Dis... kand. biol. nauk. Arhangel'sk, 2005. 210 p.
15. Osobennosti obuchenija i psihicheskogo razvitija shkol'nikov 13-17 let / Pod red. I.V. Dubrovinoj, B.S. Kruglova. M.: Pedagogika, 1988. 192 p.
16. Popova E.V. Psihofiziologicheskij analiz intellekta i strategij prinjatija reshenij u detej predshkol'nogo i shkol'nogo vozrasta: Avtoref. dis....kand. biol. nauk. Arhangel'sk, 2003. 20 p.
17. Razvitie mozga i formirovanie poznavatel'noj dejatel'nosti rebenka / Pod red. D.A. Farber, M.M. Bezrukih. M.: Izd-vo MPSI; Voronezh: Izd-vo NPO "MODJeK", 2009.432p.
18. Rukovodstvo k primeneniju testa struktury intellekta Rudol'fa Amthaujera / Pod red. K.M. Gurevicha. Obninsk: Printer, 1993. 18 p.
19. Semenova L.K., Vasil'eva V.A., Cehmistrenko T.A, Shumejko N.S. Strukturnye preobrazovanija kory golovnogogo mozga //Fiziologija razvitija rebenka: Ruk-vo po vozrastnoj fiziologii / Pod red. M.M. Bezrukih, D.A.Farber. M.: Izd-vo MPSI; Voronezh: Izd-vo NPO "MODJeK", 2010. P. 132-191.
20. Semenova O.S., Machinskaja R.I. Vlijanie funkcional'nogo sostojanija reguljatornyh sistem mozga na jeffektivnost' programmirovanija, izbiratel'noj reguljaciji i kontrolja kognitivnoj dejatel'nosti u detej. Soobshhenie 1. Nejropsihologicheskij i jel-

ektrojencefalograficheskiy analiz vozrastnyh preobrazovanij reguljatornyh funkcij mozga v period ot 9 do 12 let // Fiziologija cheloveka. 2015. T. 41. №4. P.1-13.

21. Fiziologija podrostka / Pod red. Farber D.A. M.: Prosveshhenie, 1988. 204 s.

22. Sharapov A.N., Bezobrazova L.N., Dogadkina S.B. Adaptacija serdechno-sosudistoj i nejrojedokrinnoj sistem k nagruzkam raznogo vida u podrostkov 12-14 let // Nove issledovanija. 2016. №4. (249). P.21-44.

23. Shkvirina O.I., Trohimchuk L.F., Hasanova N.N., Meshherjuk Ju.V., Lineva T.A. Dinamika funkcional'nogo sostojanija organizma podrostkov 12-13 let kak kriterij adaptacii k obrazovatel'noj srede // Nauchnyj zhurnal «Vestnik AGU». – 2014. – B. 1 (133). – P. 56-63.

# ОСОБЕННОСТИ ТЕРМОВЕГЕТАТИВНОЙ ФУНКЦИИ КОЖИ ПРИ КРАТКОВРЕМЕННОЙ ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ У ПОДРОСТКОВ 14-15 ЛЕТ, СИСТЕМАТИЧЕСКИ ЗАНИМАЮЩИХСЯ ПЛАВАНИЕМ

Т.С. Пронина\*<sup>1</sup>, Н.И Орлова\*, В.Д. Сонькин\*,  
Ю.Л. Войтенко\*\*, А.Д. Колесов\*\*

\*ФГНУ «Институт Возрастной физиологии  
Российской академии образования», Москва  
\*\*«Российский Государственный Университет  
Физической Культуры, Спорта,  
Молодежи и Туризма», Москва

Целью настоящей работы было определить степень термовегетативной реактивности кожи в разных анатомических точках под влиянием кратковременной физической нагрузки. Для этого, у 11 мальчиков подростков 14-15 лет, регулярно занимающихся плаванием, одновременно определяли температуру (Т) шеи (над ключицей), груди, плеча (верхней части), спины. Температуру определяли методом «Термохрон iButton» с интервалом 1 минута. Показано, что физическая нагрузка (3 минуты на велоэргометре 100 W), вызывает различное увеличение температуры на разных частях кожи. Абсолютная величина амплитуды температуры в течение и после нагрузки в разных точках кожи различна, эти изменения отражают баланс периферического кровотока, и свидетельствуют о физиологическом механизме поддержания температурного гомеостаза. Настоящее исследование является пилотным экспериментом, оценивающим влияние краткосрочной физической нагрузки на терморегуляцию у подростков. Обсуждается возможность применения подобного количественного метода для индивидуальной оценки затраты энергии, вызванной кратковременной физической активностью.

**Ключевые слова:** подростки 14-15 лет, температура кожи, физическая нагрузка.

**Characteristics of skin thermovegethetic function under short-term physical load in 14-15-year-old adolescents involved in systematic swimming training.** The aim of this work was to determine the degree of thermo-vegetative reactivity of skin in different anatomical areas, the baseline temperature of which is significantly different. To do this, it was necessary to study the nature of the rapid adaptation of the organism to the short-term effects of physical activity. It is shown that a three-minute physical exercise on a bicycle ergometer in adolescents aged 14-15 years old, regularly engaged in swimming, causes a different temperature increase in different skin areas. The temperature was determined by the method "Thermochron iButton" with an interval of 1 minute. The absolute temperature amplitude during and after the load in different skin areas is different. These changes reflect the balance of the peripheral blood flow and indicate the physiological mechanism responsible for maintaining the temperature homeostasis. The paper discusses the possibility of applying the quantitative method for individual

*evaluation of the thermo-vegetative function in athletes.*

**Key words:** 14-15-year-old adolescents, skin temperature, physical activity.

Температура тела является одним из интегративных показателей общего состояния организма, в том числе, его энергетического обмена [1]. Тепловое состояние организма оценивают, как правило, по температуре (Т) кожи, которая зависит от состояния капиллярной системы, что, в свою очередь, зависит от функционирования нейроэндокринной системы [2; 3]. Величина температуры на разных анатомических участках кожи является отражением термовеgetативной функции. Терморегуляция (поддержание нормального метаболизма) через кожу происходит при помощи различных механизмов: кожного кровоснабжения, потовой секреции, проводимости кожи. При физических нагрузках в кровоток включаются почти все капилляры работающей мышцы. В экспериментальных исследованиях, воздействия физических упражнений на термогенез человека учитываются множество различных физиологических факторов, таких как возраст, пол, болезнь, травмы, степень ожирелости [4]. Кроме того, принципиальна важна интенсивность и время воздействия упражнений [5; 6]. Появление портативных, высокотехнологичных приборов, регистрирующих Т кожи с точностью до 0,05°, делает возможным исследование изменений термовеgetативной функции при кратковременных физических нагрузках, что является важным для выявления индивидуальных особенностей спортсменов и для оптимизации их тренировок.

Целью настоящей работы было определить степень термовеgetативной реактивности кожи (степень затраты энергии) в разных анатомических точках. Настоящее исследование является пилотным экспериментом, оценивающим влияние краткосрочной физической нагрузки на терморегуляцию у подростков мальчиков 14-15 лет

## МЕТОДЫ И ОРГАНИЗАЦИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для этого было исследовано изменение термовеgetативной функции на разных участках кожи: шеи (над ключицей), груди, плеча (верхней части), спины, под влиянием кратковременной физической нагрузки (3 минуты на велоэргометре 100 W) у 11 подростков мальчиков 14-15 лет, регулярно занимающихся плаванием. Средний вес испытуемых был  $63,4 \pm 1,5$  см, рост  $175,0 \pm 1,3$  кг, ИМТ  $20,7 \pm 0,4$ .

Для количественного определения Т был использован метод «Термохрон iButton» [7], который дает возможность провести мониторинг Т с любым заданным интервалом тестирования. В нашем исследовании Т измеряли (в град. С) с интервалом 1 минута. Считывание полученных результатов с термометра-таблетки осуществляли через специальное крепежное приспособление к компьютеру и с применением специальной программы. Для каждого испытуемого были построены 4 графика динамики Т в четырех разных точках кожи.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

У всех подростков на протяжении 6 минут до начала эксперимента была зарегистрирована базовая Т (Таблица 1).

Таблица 1

## Средняя температура на анатомически разных участках кожи

Место прикрепления	шея	грудь	плечо	спина
среднее	35,35±0,05	33,79±0,13	34,26±0,08	34,59±0,06

Результаты таблицы показывают, что наибольшая Т определяется в области шеи, меньшая величина Т спины ( $p < 0,001$ ), еще более сниженная - Т плеча и, самая низкая - Т груди ( $p < 0,001$ ). По-видимому, такое распределение температур отражает разную степень тонуса кожных капилляров в исследованных анатомических точках.

Физическая активность на велоэргометре практически сразу увеличивает Т кожи на разных участках (Рис. 1). Через 2-3 минуты динамика Т достигает максимума. Как только нагрузка прекращается, Т резко падает. Причем как увеличение, так и снижение Т на разных участках кожи количественно может быть различно (таблица 2). Оказалось, что наибольший подъем Т после нагрузки выявляется на коже груди и спины, а наименьший – на коже шеи и плеча. При этом, именно базовая Т кожи шеи и плеча выше. Однако снижение температуры после завершения физической нагрузки на плече, спине и груди выражено значительно сильнее, чем на шее – разница температур через 10 минут после нагрузки превышает  $1^{\circ}\text{C}$ . В последующие 10 минут температура всех участков кожи, где производилось измерение, вновь возрастает.

На протяжении всего исследования температура поверхности шеи в области над ключицей была в среднем на  $0,2 - 0,8^{\circ}\text{C}$  выше, чем на других участках тела. Возможно, это связано с термогенной активностью расположенной в этом регионе подкожной бурой жировой ткани [1].

Таблица 2

Амплитуда температуры в разных анатомических точках кожи (первоначальный **подъем** с последующим **снижением**) в ответ на трехминутную физическую нагрузку у подростков 14-15 лет.

место прикрепления.	Амплитуда (макс- мин)	суммарная температура
ШЕЯ	подъем	0,30 ± 0,06
	снижение	0,48 ± 0,12
ГРУДЬ	подъем	0,47 ± 0,06
	снижение	0,65 ± 0,14
ПЛЕЧО	подъем	0,35 ± 0,07
	снижение	0,76 ± 0,2
СПИНА	подъем	0,44 ± 0,12
	снижение	0,79 ± 0,18

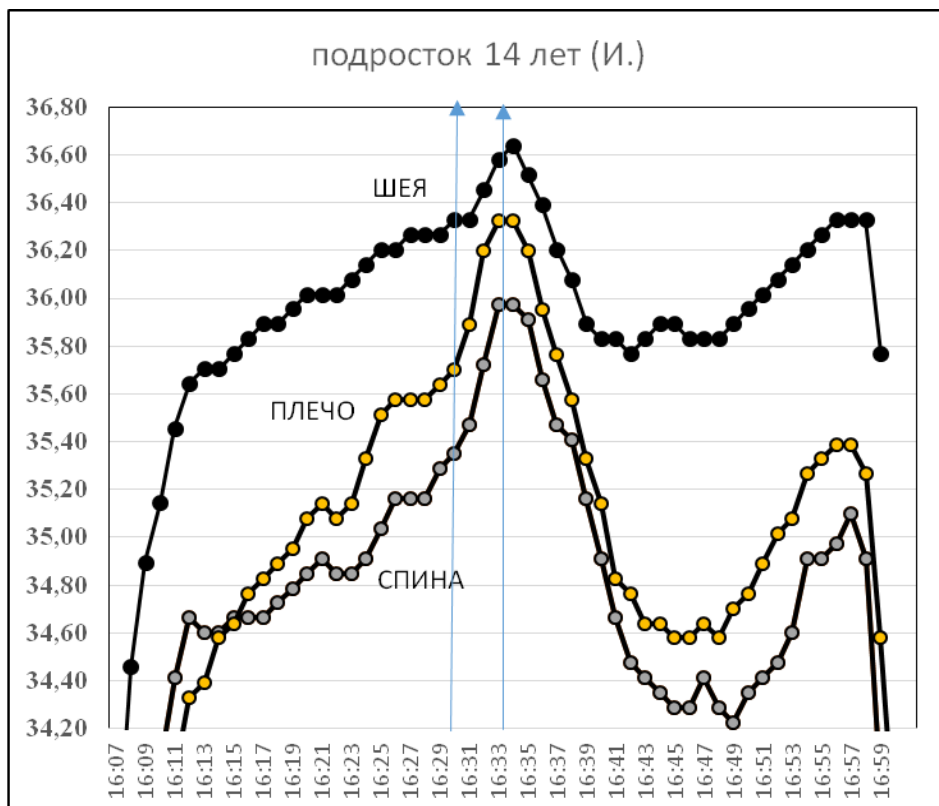


Рис. 1. Динамика температуры в области шеи, плеча, спины под влиянием физической нагрузки у одного подростка.  
(время действия трехминутной нагрузки обозначена стрелками)

При сопоставлении индивидуальных данных наблюдается большой разброс. Характер изменений  $T$  в 4 точках кожи у подростков, участвующих в эксперименте, можно разделить на 3 типа: 1 – небольшой подъем и резкое падение  $T$  (50 %), 2 – одинаковые по величине подъем и падение ((25 %), 3 – резкий, большой подъем и небольшое снижение  $T$  после нагрузки (25 %). Эти результаты отражают индивидуальную реактивность, которая зависит как от индивидуальных особенностей термовегетативной функции организма, так и от начала времени нагрузки с учетом фазы индивидуального процесса колебаний  $T$ . Именно эти процессы отражены в таблице 3, в которой представлены индивидуальные величины увеличения и снижения  $T$  шеи под воздействием нагрузки у 11 испытуемых подростков.



Таблица 3

*Образец индивидуальных величин подъема температуры во время физической нагрузки и величин снижения температуры кожи шеи после физической нагрузки у каждого испытуемого*

№ испытуемого.	Величина подъема Т во время нагрузки	Величина снижения Т после нагрузки
1	0,25	0,4
2	0,35	1,05
3	0,15	0,07
4	0,45	0,2
5	0,18	0,25
6	0,05	0,45
7	0,2	0,3
8	0,35	1,1
9	0,7	0,05
10	0,4	0,45
11	0,25	0,75

Видно, что у 4-х испытуемых амплитуда Т кожи в области шеи падала после нагрузки меньше, чем увеличивалась сразу после нее. У 6 испытуемых – амплитуда снижения (падения) после физической нагрузки больше, чем первоначальный подъем.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Настоящее исследование является пилотным экспериментом, оценивающим влияние краткосрочной физической нагрузки на терморегуляцию у подростков мальчиков 14-15 лет.

Известно, что температура ядра по-разному меняется под влиянием физической нагрузки [8; 9]. Авторы предложили количественную методику оценки терморегуляционного ответа на 60 минутную нагрузку на велоэргометре у разных экспериментальных групп людей (расчет проводился в ваттах на кг веса).  $\Delta T$  была различной в зависимости от возраста, пола, степени ожирения и от болезни испытуемых. В этом исследовании было ясно показано, что большая разница в массе тела изменяет  $\Delta T$  во время тренировки на велоэргометре.

В нашем исследовании физическая нагрузка была для всех детей одинакова по абсолютной мощности –100 ватт. Основанием для этого было то, что испытуемые подростки одного возраста, одинаковой конституции и незначительно отличались по ИМТ. Кроме того, измерение Т кожи методически намного проще, физическая нагрузка была короткой и эффективной. Использование метода «Термохрон iButton» для быстрой оценки адаптивного термогенеза [10] кожи в разных анатомических точках предполагает в дальнейших исследованиях разработать практические рекомендации количественной методики для оценки индивидуальной термовегетативной особенности спортсменов. Учет физиологических показате-

телей имеет немаловажное значение для индивидуальной оптимизации тренировочного процесса и успешности соревновательной деятельности.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сонькин В.Д. Гомеостатический несократительный термогенез у человека: факты и гипотезы. / В.Д. Сонькин, А.А Кирдин., Р.С. Андреев, Е.Б. Акимов // Физиология человека. – 2010. – Т. 36. (5). – С. 121-127.
2. Benzinger T.H. Heat regulation: homeostasis of central temperature in man. / T.H. Benzinger // *Physiol. Rev.* – 1969. – V. 49(4). – P. 671–759
3. Anouk A. J. Supraclavicular skin temperature and BAT activity in lean healthy adults. / A.J Anouk, J. van der Lans, Maarten, J. Vosselman ,W. Hanssen // *J Physiol Sci.* - 2016. – V. 66. - P.77–83.
4. Jay O, Cramer A new approach for comparing thermoregulatory responses of subjects with different body sizes. / O. Jay, M.N. Cramer // *Temperature.* – 2015. – V. 2. – P. 42–43.
5. Cramer M.N. Selecting the correct exercise intensity for unbiased comparisons of thermoregulatory responses between groups of different mass and surface area. / M.N. Cramer, O. Jay // *J Appl Physiol.* – 2014. - № 116. – P.1123–1132.
6. Limbaugh J.D. Body fatness, body core temperature, and heat loss during moderate-intensity exercise. / J.D. Limbaugh, G.S. Wimer, L.H. Long, W.HBaird // *Aviat Space Environ Med.* – 2013. -V. – 84.- P.1153–1158.
7. Программа Thermo Chron Revisor, [Электронный ресурс] – URL <http://www.elin.ru> / (дата обращения 10.01.2005).
8. Lowell BB, Towards a molecular understanding of adaptive thermogenesis / B.B. Lowell, B.M. Spiegelman // *Nature.* - 2000. – V. 404 (6778). - P. 652–660.
9. McArdle W.D. Physiology of exercise: nutrition, energy and human performance. / WD McArdle, FI Katch, VL Katch.// Philadelphia, PA: Kluwer Health. - Lippincott Williams and Wilkins. - 2015. - 1028 p.
10. Rowland T. Thermoregulation during exercise in the heat in children: old concepts revisited. / T Rowland // *J Appl Physiol.* – 2008. – V.105. – P. 718–724.

### REFERENCE

1. Son'kin V.D. Gomeostaticheskij nesokratitel'nyj termogenez u cheloveka: fakty i gipotezy. / V.D. Son'kin, A.A Kiridin., R.S. Andreev, E.B. Akimov // *Fiziologija cheloveka.* - 2010. – Т. 36. (5). - S.121-131.

# ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ КОНДИЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЬНЫХ СПОСОБНОСТЕЙ У МАЛЬЧИКОВ В ПОДРОСТКОВОМ ВОЗРАСТЕ

И.А. Криволапчук\*<sup>1</sup>, С.А. Баранцев\*, В.В. Мышьяков\*\*,  
С.А. Кесель\*\*, М.Б. Чернова\*

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

\*\*УО «Гродненский государственный университет  
имени Янки Купалы», Беларусь, Гродно

*Динамика кондиционных двигательных способностей у мальчиков-подростков 12-15 лет характеризуется периодами повышенной и сниженной активности, отражающей возрастные особенности развития двигательной функции, которые необходимо учитывать в процессе физического воспитания современных школьников. Анализ изменений рассматриваемых показателей двигательной подготовленности в течение учебного года свидетельствует о существенных различиях в темпах приростов одних и тех же двигательных способностей у школьников разного возраста. Полученные эмпирические материалы могут найти применение при разработке современных, релевантных и репрезентативных возрастных норм двигательной подготовленности.*

**Ключевые слова:** двигательные функции, кондиционные двигательные способности, возрастные изменения, закономерности развития

*Development of conditioned motor abilities in adolescent boys. The dynamics of conditioned motor abilities in 12-15-year-old boys is characterized by periods of increased and decreased activity, which reflects the age-specific features of the development of motor function. It must be taken into account in the process of physical education of modern schoolchildren. The analysis of changes of motor readiness indices during the school year indicates significant differences in the growth rate of the same motor abilities in schoolchildren of different ages. The results can be applied to the development of modern relevant representative age norms of motor readiness.*

**Key words:** motor functions, conditioned motor abilities, age-related changes, patterns of development

Исследования динамики двигательной подготовленности детей и подростков школьного возраста, выполненные в последние десятилетия, свидетельствуют о том, что развитие кондиционных двигательных способностей происходит в соответствии с основными закономерностями становления двигательных функций человека в онтогенезе [1; 5; 8; 11, 13; 17; 18]. Процесс формирования кондиционных двигательных способностей контролируется генетической программой развития [2; 6; 10; 16]. Выявлена четкая упорядоченность функционирования хроногенетической регуляции развития двигательных способностей в связи со стадиями онтогенеза [6]. Вместе с тем, как известно, факторы среды оказывают существен-

---

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

ное влияние на изменчивость двигательных способностей человека в рамках наследственно детерминированной нормы реакции.

По мере созревания организма, адаптивная фенотипическая изменчивость моторики существенно различается на разных этапах развития с учетом воздействия комплекса природных, временных и социальных факторов среды, в том числе привычной двигательной активности [6; 10]. Все это делает необходимым постоянное уточнение и обновление данных о возрастной динамике двигательной подготовленности в рамках воздействия определенного комплекса факторов окружающей среды в конкретных культурно-исторических и социально-экономических условиях.

Целью исследования явилось изучение динамики развития кондиционных двигательных способностей у подростков 12-15 лет в условиях современной образовательной среды.

## **МЕТОДЫ И ОРГАНИЗАЦИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ**

В исследовании приняли участие подростки, отнесенные по состоянию здоровья к основной медицинской группе. В ходе проведения педагогического тестирования в 12-13 лет в начале и конце учебного года было обследовано 104 и 97, в 13-14 лет – 160 и 148, в 14-15 лет – 125 и 122 школьника соответственно. В трехлетнем лонгитудинальном исследовании приняли участие 75 человек. Работа была организована в соответствии с этическими нормами, изложенными в Хельсинской декларации.

Педагогическое тестирование применялось для оценки динамики двигательной подготовленности. Изучались скоростные, силовые, скоростно-силовые способности, выносливость и гибкость. Для определения уровня двигательной подготовленности использовали следующие тесты: прыжок в длину с места; бег 20 метров с хода; становаая динамометрия; шестиминутный бег; поднимание туловища из положения «лежа на спине» за 1 минуту; наклон вперед. Тестирование двигательной подготовленности осуществлялось в начале и в конце учебного года. Занятия по физическому воспитанию проводились 3 раза в неделю по традиционной методике на основе действующей программы.

Математическая обработка полученных данных осуществлялась с использованием стандартной программы в пакете Statistica. В процессе статистической обработки результатов исследования рассчитывались: средняя арифметическая, ошибка средней арифметической, среднее квадратическое отклонение. На основе коэффициентов асимметрии и эксцесса оценивалась нормальность распределения полученных эмпирических данных. Достоверность различий определялась с помощью t-критерия Стьюдента для корреляционно связанных и независимых выборок.

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ**

Динамика развития скоростно-силовых способностей оценивалось на основе результатов выполнения прыжка в длину с места (табл. 1). Полученные результаты свидетельствуют о статистически значимом ( $p < 0,05-0,001$ ) приросте скоростно-силовых способностей в течение учебного года у мальчиков рассматриваемых

возрастных групп. Наибольший сдвиг результатов прыжка в длину с места наблюдался у школьников 12-13 лет. Различия между мальчиками 12-13 и 13-14 лет, 13-14 и 14-15 лет, как в начале, так и в конце учебного года носили статистически существенный характер ( $p < 0,001$ ).

Таблица 1

*Динамика показателей двигательной подготовленности у подростков 12-15 лет*

Возраст	Начало уч. года	Конец уч. года	Сдвиг		
	M±m	M±m	d±m	t	p
<b>Прыжок в длину с места, см</b>					
12-13 лет	176,4±1,7	181,7±1,5	5,3±0,9	5,9	<0,001
13-14 лет	188,4±1,6***	195,9±1,5***	7,5±1,1	6,8	<0,001
14-15 лет	202,9±1,7 <sup>xxx</sup>	206,2±1,7 <sup>xxx</sup>	3,3±1,3	2,5	<0,05
<b>Бег 20 м с хода, с</b>					
12-13 лет	3,05±0,03	3,00±0,03	-0,05±0,02	2,5	<0,05
13-14 лет	2,89±0,02***	2,82±0,02***	-0,07±0,02	3,5	<0,001
14-15 лет	2,76±0,03 <sup>xxx</sup>	2,68±0,03 <sup>xxx</sup>	-0,08±0,02	4,0	<0,001
<b>Становая динамометрия, кг/кг</b>					
12-13 лет	1,72±0,03	1,70±0,03	-0,02±0,02	1,0	>0,05
13-14 лет	1,83±0,02**	1,86±0,02***	0,03±0,01	3,0	<0,01
14-15 лет	1,87±0,03	1,96±0,03 <sup>xx</sup>	0,09±0,02	4,5	<0,001
<b>Шестиминутный бег, м</b>					
12-13 лет	1207,5±13,4	1228,8±14,9	21,3±7,4	2,9	<0,01
13-14 лет	1259,0±12,1**	1268,1±11,2*	9,1±5,1	1,8	>0,05
14-15 лет	1275,9±17,7	1337,3±16,5 <sup>xxx</sup>	61,4±12,6	5,1	<0,001
<b>Поднимание туловища, раз</b>					
12-13 лет	47,2±1,0	46,9±1,1	-0,3±0,5	0,6	>0,05
13-14 лет	45,5±1,2	46,2±1,3	0,7±0,6	1,2	>0,05
14-15 лет	42,6±1,3	45,7±1,2	3,1±1,1	2,6	<0,01
<b>Наклон вперед, см</b>					
12-13 лет	1,75±0,72	2,33±0,83	0,58±0,49	1,2	>0,05
13-14 лет	2,14±1,11	3,42±1,15	1,28±0,53	2,4	<0,05
14-15 лет	-1,83±1,26 <sup>x</sup>	0,86±1,18	2,69±0,50	5,4	<0,001

**Примечание:** \*, \*\*, \*\*\* – статистически значимые различия между подростками 12-13 и 13-14 лет при  $p < 0,05$ ,  $p < 0,01$  и  $p < 0,001$  соответственно; <sup>x</sup>, <sup>xx</sup>, <sup>xxx</sup> – статистически значимые различия между подростками 13-14 и 14-15 лет при  $p < 0,05$ ,  $p < 0,01$  и  $p < 0,001$  соответственно.

Изменение уровня развития скоростных способностей определялись посредством применения бега на 20 м с хода (см. табл.). Анализ сдвигов результатов выполнения данного теста показал, что к концу учебного года у мальчиков всех рассматриваемых возрастных групп наблюдается улучшение его результатов ( $p < 0,05-0,001$ ). Наиболее значимое увеличение скорости бега на 20 м происходило у школьников 14-15 лет. Различия между мальчиками 12-13 и 13-14 лет, 13-14 и 14-15 лет, как в начале, так и в конце учебного года были статистически значимыми ( $p < 0,001$ ).

Изменения относительной силы мышц разгибателей туловища в течение учебного года у школьников 12-13 лет были несущественными, тогда как у маль-

чиков 13-14 и 14-15 лет сдвиги данного показателя носили ярко выраженный характер ( $p < 0,01-0,001$ ). В начале учебного года значимые различия в уровне относительной силы наблюдались только между мальчиками 12-13 и 13-14 лет ( $p < 0,01$ ), а в конце учебного года – между школьниками 12-13 и 13-14, а также 13-14 и 14-15 лет ( $p < 0,01-0,001$ ).

Динамика показателей общей выносливости оценивалась на основе выполнения 6-минутного бега (см. табл.). Результаты тестирования указывают на то, что выносливость у мальчиков 13-14 лет в течение учебного года проявляет лишь тенденцию к увеличению, тогда как у школьников 12-13 и 14-15 лет наблюдается статистически существенный прирост общей выносливости ( $p < 0,01-0,001$ ). В начале учебного года значимые различия наблюдались только между мальчиками 12-13 и 13-14 лет, а в конце учебного года они касались школьников 12-13, 13-14 и 14-15 лет ( $p < 0,05-0,001$ ).

Сдвиги силовой выносливости оценивалась на основе выполнения теста поднимание туловища из положения «лёжа на спине» за 1 минуту. Полученные данные показывают, что от начала к концу учебного года силовая выносливость у мальчиков 14-15 лет увеличивается ( $p < 0,01$ ), тогда как у школьников 12-13 лет она проявляет тенденцию к снижению, а 13-14 лет – к увеличению. Значимые различия по уровню силовой выносливости между мальчиками рассматриваемых возрастных групп отсутствовали как в начале, так и в конце учебного года.

Анализ результатов выполнения наклона вперед позволил установить, что в рассматриваемых возрастных группах данный показатель мало изменяется. Вместе с тем у школьников 13-14 и 14-15 лет отмечается увеличение «глубины» наклона вперед от начала к концу учебного года ( $p < 0,05-0,001$ ). Различия в уровне гибкости между мальчиками 12-13, 13-14 и 14-15 лет отсутствовали.

Таким образом, проведенная работа показала, что кондиционные двигательные способности в период полового созревания развиваются у мальчиков неравномерно и неодновременно. Важно отметить, что по уровню развития силовых, скоростных, скоростно-силовых способностей, и общей выносливости мальчики разного календарного возраста значительно отличаются от подростков «соседних» возрастных групп, при этом с увеличением возраста школьников данные двигательные способности улучшаются. Уровни развития гибкости и силовой выносливости в рассматриваемый возрастной период изменяются разнонаправленно.

Необходимо отметить, что полученные результаты могут найти применение при разработке современных, релевантных и репрезентативных возрастных норм двигательной подготовленности.

В целом общая картина развития изучаемых двигательных способностей у мальчиков-подростков сходна с динамикой данных показателей, полученных в исследованиях, проводимых другими авторами на протяжении второй половины XX века и в начале XXI века [1; 5; 7; 13 и мн. др.]. Полученные результаты свидетельствуют, что развитие двигательных способностей подчиняется общим закономерностям роста и развития организма, определяющим его функциональные и адаптационные возможности в различные возрастные периоды [11; 12; 14; 15; 16; 17]. Материалы исследования выступают в поддержку представления о том, что у детей школьного возраста можно выделить периоды, отличающиеся неодинаковыми темпами развития двигательных способностей, в том числе и наиболее благоприятные для осуществления педагогического воздействия – сенситивные пе-

риоды [1; 3; 4; 5; 7, и др.]. Эти периоды характеризуются тем, что отдельные генные комплексы временно изменяют свою норму реакции и становятся более или, наоборот, менее чувствительными к нейрогормональным и метаболическим модуляторам их активности, изменяя восприимчивость организма к нагрузкам определенной направленности [6].

Поскольку уровень развития двигательных способностей у подростков существенно зависит от степени биологической зрелости [8, 9, 11] в дальнейшем предполагается провести анализ полученных результатов с учетом не только возраста, но стадий полового созревания.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Динамика кондиционных двигательных способностей у мальчиков-подростков характеризуется периодами повышенной и сниженной активности, отражающей возрастные особенности развития двигательной функции, которые необходимо учитывать в процессе физического воспитания современных школьников.

Анализ изменений рассматриваемых показателей двигательной подготовленности в течение учебного года свидетельствует о существенных различиях в темпах приростов одних и тех же двигательных способностей у мальчиков-подростков разного возраста.

Полученные эмпирические данные подтверждают классическое представление о том, что у школьников в период полового созревания кондиционные двигательные способности развиваются неравномерно и гетерохронно, отражая более общие закономерности роста и развития организма.

Результаты исследования могут быть использованы для выявления «вековой тенденции» изменений физических возможностей человека на основе сопоставления данных о двигательной подготовленности современных подростков с аналогичными материалами, относящимися к прошедшим периодам времени.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Гужаловский А.А. Проблема «критических» периодов онтогенеза в ее значении для теории и практики физического воспитания // Очерки по теории физической культуры. – М.: Физкультура и спорт, 1984. – С. 219.
2. Зациорский В.М., Сергиенко Л.П. Влияние наследственности и среды на развитие двигательных качеств человека // Теория и практика физической культуры. – 1975. – № 6. – С. 22-28.
3. Кузнецова З.И. Когда и чему. Критические периоды развития двигательных качеств школьников // Физ.культура в школе. – 1976. – № 4. – С. 7-9.
4. Левушкин С.П. Сенситивные периоды в развитии физических качеств школьников 7-17 лет с разными типами телосложения // Физическая культура, воспитание, образование, тренировка. 2006. – №6. – С. 1-5.
5. Лях В.И. Двигательные способности школьников: основы теории и методики развития. – М.: Терра-спорт, 2000. – 192 с.

6. Москатова А.К. Генетические и средовые факторы развития и изменчивости двигательных качеств // Физиология человека / Под общ. ред. В.И. Тхоревского. – М.: Физкультура, образование и наука, 2001. – С. 368-382.
7. Нестеров В.А. Этапность развития физических качеств у детей школьного возраста, проживающих в различных климато-географических условиях // Физическая культура. – 1989. – № 1. – С. 15-17.
8. Нормирование нагрузок в физическом воспитании школьников/ Под ред. Л.Е. Любомирского. – М.: Педагогика, 1989. – 192 с.
9. Ремшмидт Х. Подростковый и юношеский возраст: Проблемы становления личности. – М.: Мир, 1994. – 320 с.
10. Сергиенко Л.П. Основы спортивной генетики. – Киев: Вища шл., 2004. – 631 с.
11. Соськин В.Д., Тамбовцева Р.В. Развитие мышечной энергетики и работоспособности в онтогенезе. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2011. – 368 с.
12. Сухарев А.Г. Шесть закономерностей роста и развития детского организма. – М.: МИОО, 2008. – 64 с.
13. Уилмор Дж.Х., Костилл Д.Л. Физиология спорта и двигательной активности. – Киев: Олимпийская литература, 1997. – 503 с.
14. Фарбер Д.А., Безруких М.М. Методологические аспекты изучения физиологии развития ребенка // Физиология человека. – 2001. – Т. 27, № 5. – С. 8-16.
15. Физиология развития ребенка. Руководство по возрастной физиологии // Под ред. М.М. Безруких, Д.А. Фарбер. – М.: Изд-во Московского психологосоциального института, 2010. – 768 с.
16. Швеллнус М. Олимпийское руководство по спортивной медицине. – М.: Практика, 2011. – 672 с.
17. Kenney W.L., Wilmore J., Costill D. Physiology of Sport and Exercise. – Published by Champaign, IL; Human Kinetics, 2015. – 640 p.
18. Physical Activity and Public Health. A Recommendation From the Centers for Disease Control and Prevention and the American College of Sports Medicine // JAMA. – 1995. – Vol. 273, № 5. – P. 402–407.

## REFERENCE

1. Guzhalovskij A.A. Problema «kriticheskikh» periodov ontogeneza v ee znachenii dlja teorii i praktiki fizicheskogo vospitanija // Oчерки по теории физической культуры. – Moscow: Fizkul'tura i sport, 1984. – P. 219.
2. Zaciorskij V.M., Sergienko L.P. Vlijanie nasledstvennosti i sredy na razvitie dvigatel'nyh kachestv cheloveka // Teorija i praktika fizicheskoi kul'tury. – 1975. – № 6. – P. 22-28
3. Kuznecova Z.I. Kogda i chemu. Kriticheskie periody razvitija dvigatel'nyh kachestv shkol'nikov//Fiz.kul'tura v shkole. – 1976. – № 4. – P. 7-9.
4. Levushkin S.P. Sensitivnye periody v razvitii fizicheskikh kachestv shkol'nikov 7-17 let s raznymi tipami teloslozhenija //Fizicheskaja kul'tura, vospitanie, obrazovanie, trenirovka. 2006. – №6. – P. 1-5.
5. Ljah V.I. Dvigatel'nye sposobnosti shkol'nikov: osnovy teorii i metodiki razvitija. – Moscow: Terra-sport, 2000. – 192 p.



6. Moskatova A.K. Geneticheskie i sredovye faktory razvitija i izmenchivosti dvigatel'nyh kachestv // Fiziologija cheloveka / Pod obshh. red. V.I.Thorevskogo. – Moscow: Fizkul'tura, obrazovanie i nauka, 2001. – P. 368-382.
7. Nesterov V.A. Jetapnost' razvitija fizicheskikh kachestv u detej shkol'nogo vozrasta, prozhivajushhih v razlichnyh klimato-geograficheskikh uslovijah// Fizicheskaja kul'tura, 1989. – № 1. – P. 15-17.
8. Normirovanie nagruzok v fizicheskom vospitanii shkol'nikov/Pod red. L.E. Ljubomirskogo. – Moscow: Pedagogika, 1989. – 192 p.
9. Remshmidt H. Podrostkovyj i junosheskij vozrast: Problemy stanovlenija lichnosti. – Moscow: Mir, 1994. –320 s.
10. Sergienko L.P. Osnovy sportivnoj genetiki. – Kiev.: Vishha shl., 2004. – 631 p.
11. Son'kin V.D., Tambovceva R.V. Razvitie myshechnoj jenergetiki i rabotosposobnosti v ontogeneze. – Moscow: Knizhnyj dom «LIBROKOM», 2011. – 368 p.
12. Suharev A.G. Shest' zakonomernostej rosta i razvitija detskogo organizma. – Moscow: MIOO, 2008. – 64 p.

# ВЛИЯНИЕ ОДНОКРАТНОГО ОСТРОГО ГИПОКСИЧЕСКОГО СТИМУЛА НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ЮНЫХ СПОРТСМЕНОВ – ПЛОВЦОВ РАЗНОГО ВОЗРАСТА

М.И. Малахов\*, Ю.Л. Войтенко\*, В.Д. Сонькин<sup>1\*</sup>,\*\*

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

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

В статье анализируются физиологические эффекты применения однократного острого гипоксического стимула на организм спортсменов-пловцов разного возраста по показателям аэробной и анаэробной производительности и реакциям кардиореспираторной системы. Установлен оптимальный возраст применения острой гипоксической экспозиции для стимуляции физической работоспособности. Высказано предположение о существовании компенсаторного механизма, основанного на активации симпатического звена регуляции, за счет чего стимулируется энергетический метаболизм с участием митохондриальных разобщающих белков, способных утилизировать лактат и другие побочные продукты обмена в процессе напряженной мышечной работы, и тем самым способствовать повышению ёмкости гликолитической системы.

**Ключевые слова:** гипоксия, мобилизация функциональных резервов, плавание  
**Influence of single acute hypoxia on the efficiency of young swimmers of different age.** To analyse the physiological effects of acute hypoxic stimulus on swimmers of different ages there were measured indices of aerobic and anaerobic performance and reactions of cardiorespiratory system. The optimal age for the use of acute hypoxia to stimulate physical performance was determined. An assumption was made regarding the existence of compensatory mechanism based on the activation of sympathetic regulation. It stimulates energy metabolism using mitochondrial uncoupling proteins that are able to utilize lactate and other metabolism side products in strenuous muscular activities and thus to promote an increase of glycolytic system capacity.

**Key words:** hypoxia, mobilization of functional reserves, swimming

На сегодняшний день уровень спортивных результатов в плавании, как и во многих других видах спорта, приблизился к абсолютным максимумам человеческих возможностей [2; 4; 10; 14; 15; 16]. Для дальнейшего повышения спортивных результатов необходимо искать новые, не запрещенные средства повышения адаптивных возможностей [6; 13]. Одно из таких средств – гипоксическая тренировка, которая во многих видах спорта дает положительный эффект [5; 7]. Экспериментально показано позитивное воздействие интервальной гипоксической тренировки на работоспособность пловцов-спринтеров [1]. Однако, пока это применяется только для взрослых спортсменов. Важно выяснить, могут ли такие эрго-

---

Контакты: <sup>1</sup> Сонькин В.Д. – E-mail: <sonkin@mail.ru>

генические методы применяться в детском и юношеском возрасте. Это могло бы позволить существенно уменьшить объем общей тренировочной нагрузки и дать юным спортсменам возможность более полноценно отдыхать между тренировками.

Целью исследования было оценить физиологические эффекты применения однократного острого гипоксического стимула на организм спортсменов-пловцов разного возраста.

## ОРГАНИЗАЦИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Опытно-экспериментальной базой исследования служил СШОР "Юность Москвы" по водным видам спорта бассейна «СКИФЫ» г. Москвы. В исследовании приняли участие 15 юных пловцов в возрасте от 10 до 18 лет, занимающихся спортивным плаванием. Стаж занятий плаванием составлял от 2 до 10 лет. Количество тренировочных занятий в неделю – 30 часов. Для анализа результатов испытуемые были разделены на 3 возрастные группы согласно возрастной периодизации: 10-12 лет – второе детство (младшая возрастная группа); 13-15 лет – подростки (средняя возрастная группа) и 17-18 лет – юноши (старшая возрастная группа).

Методы исследования. Для оценки аэробной производительности использовался тест ступенчато возрастающей нагрузки на велоэргометре. Перед проведением данного теста проводилась 5-минутная произвольная разминка. Скорость педалирования составляла 75 об/мин и поддерживалась неизменно на этом уровне, прирост сопротивления с каждой последующей ступенью составлял 5 %, длительность ступени – 1 минута. Работа выполнялась до отказа.

Уровень анаэробных возможностей оценивался с использованием Вингейтского анаэробного теста. После 3-минутной разминки на велоэргометре без отягощения и 3-5 минутного активного отдыха (ходьба), выполняется тестовая работа с максимальной скоростью в течение 30 секунд и вербально сформулированной задачей полностью выложиться за это время. Сопротивление подбиралось индивидуально из расчета 7,5 % от веса испытуемого, и задавалось с первых секунд теста. Измеряли следующие показатели на каждом 10-секундном отрезке:  $W_{max}$  – максимальная мощность, Вт/кг;  $t_{max}$  – время достижения максимальной мощности, с;  $t_{уд}$  – время удержания максимальной мощности, с;  $A/m$  – выполненная работа, Дж/кг

Испытуемые всех возрастных групп выполняли нагрузочные тесты для определения исходного состояния. Далее, через 72 часа, была проведена однократная острая гипоксическая экспозиция, которая моделировалась с помощью гипоксикатора «ЭВЕРЕСТ-1» и включала дыхание газовой смесью с содержанием кислорода 8-9 %  $O_2$ , в течение 30 минут непрерывно. Маска удерживалась в активном положении каждым испытуемым самостоятельно, и он в любой момент мог отказаться от вдыхания гипоксической смеси или на время его прервать. Этим активно пользовались испытуемые младшей возрастной группы, для которых гипоксическое воздействие оказалось функционально трудным. В течение 10 минут после гипоксического воздействия все испытуемые приступали к повторному выполнению Вингейтского, а через 30 минут - ступенчатого теста, для дальнейшего срав-

нения показателей физической работоспособности и реакции кардиореспираторной системы с исходными данными.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На представленных рисунках показаны динамические изменения оксигенации кислородом крови ( $SaO_2$ ) и ЧСС, а также их зависимость друг от друга, в процессе выполнения гипоксической экспозиции, у испытуемых трех возрастных групп.

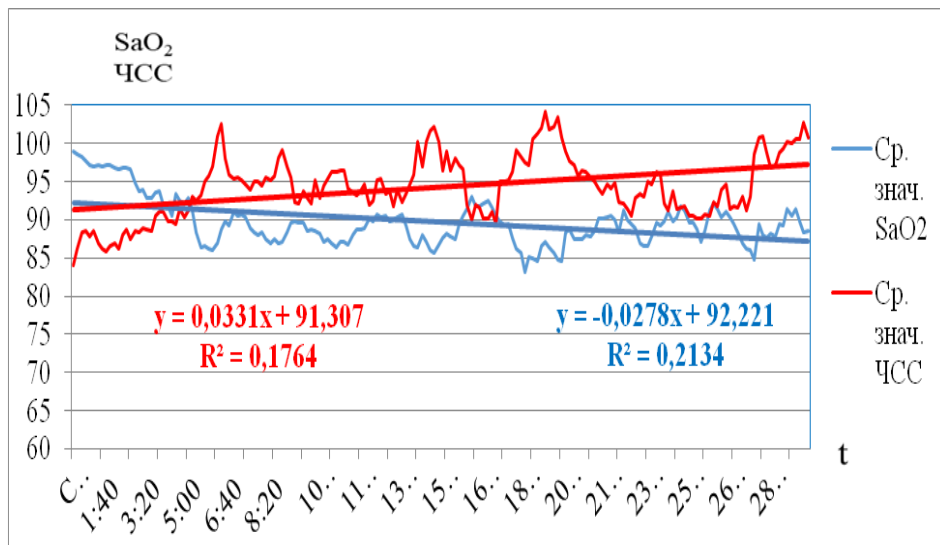


Рис. 1. Влияние гипоксической экспозиции на динамику снижения  $SaO_2$  и повышения ЧСС у испытуемых младшей возрастной группы (10-12 лет)

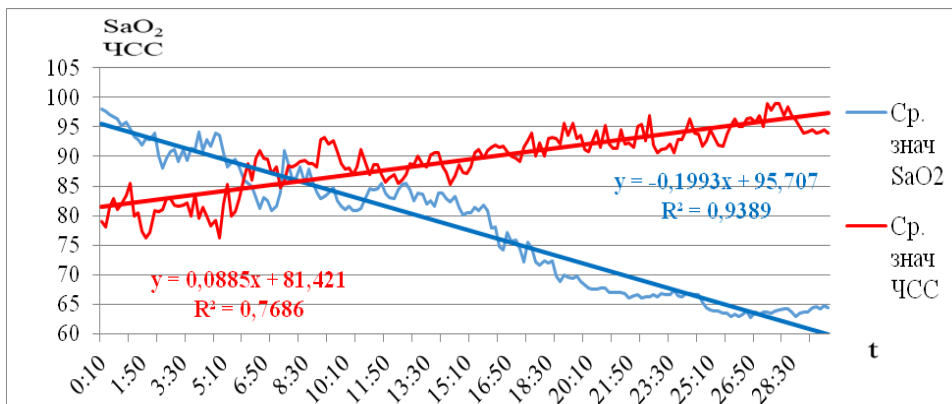


Рис. 2. Влияние гипоксической экспозиции на динамику снижения  $SaO_2$  и повышения ЧСС у испытуемых средней возрастной группы (13-15 лет)

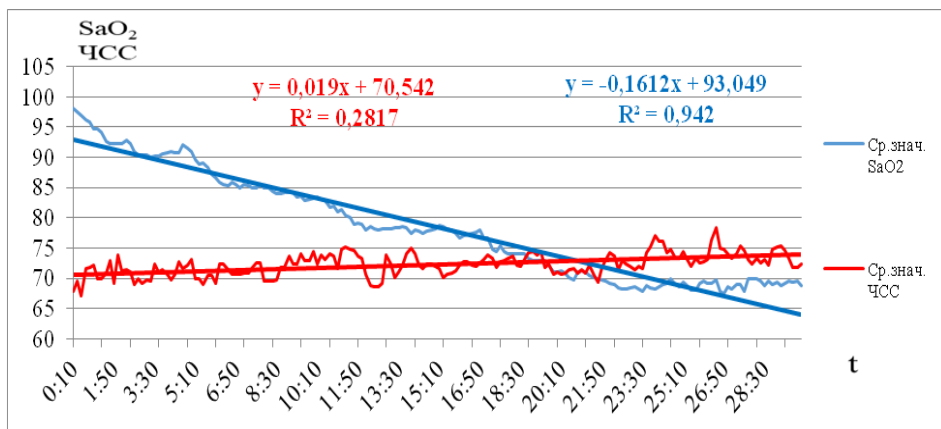


Рис. 3. Влияние гипоксической экспозиции на динамику снижения SaO<sub>2</sub> и повышения ЧСС у испытуемых старшей возрастной группы (16-18 лет)

Показатель  $R^2$  (коэффициент детерминации) зависимости ЧС и SaO<sub>2</sub> от длительности гипоксической экспозиции в младшей группе существенно меньше 0,5, то есть зависимость снижения рассматриваемых показателей в малой степени определяется длительностью гипоксической экспозиции. Очевидно, что это связано с тем, что дети младшей возрастной группы в процессе экспозиции не выдерживали гипоксии и неоднократно прерывали дыхание газовой смесью с пониженным содержанием кислорода. В результате, за 30 минут мы наблюдали у младших детей минимальное снижение оксигенации крови и совсем небольшое увеличение частоты пульса – менее 10 уд/мин. Эти данные говорят о низкой устойчивости организма младших школьников к гипоксии и свидетельствуют о невозможности применения острого гипоксического воздействия к детям младшей возрастной группы в качестве эргогенического средства.

У подростков 13-15 лет показатель  $R^2 > 0,5$  для обоих показателей, это указывает на зависимость рассматриваемых показателей от длительности гипоксической экспозиции. К концу экспозиции насыщение крови кислородом снижается до 65%, что представляет собой критический уровень, ниже которого спускаться опасно. При этом ЧСС компенсаторно возрастает по сравнению с исходным уровнем примерно на 15 уд/мин – довольно существенно для состояния мышечного покоя. Исходя из этого можно сделать вывод о необходимости с большой осторожностью применять гипоксическое воздействие в подростковом возрасте.

У юношей показатель  $R^2 = 0,94$  в случае SaO<sub>2</sub>, что отражает почти полную зависимость данного показателя от длительности гипоксической экспозиции. При этом нижнее значение напряжения кислорода в крови не опускается ниже 65%, как и у подростков. В отличие от подростков, ЧСС в старшей возрастной группе в меньшей степени используется для компенсации недостатка кислорода – коэффициент детерминации для ЧСС составляет всего 0,27, что означает сильную корреляционную зависимость, но не наличие жесткой причинно-следственной связи. При этом прирост ЧСС за время экспозиции составляет примерно 5 уд/мин – в 3 раза меньше, чем у подростков. Такое повышение устойчивости к гипоксической

гипоксии может быть связано с возрастными особенностями организма, но может быть и следствием физической тренированности.

Далее были рассмотрены изменения показателей внешнего дыхания, газообмена и аэробной производительности у пловцов различного возраста при тестовых физических нагрузках до и после применения гипоксии (рис.4).

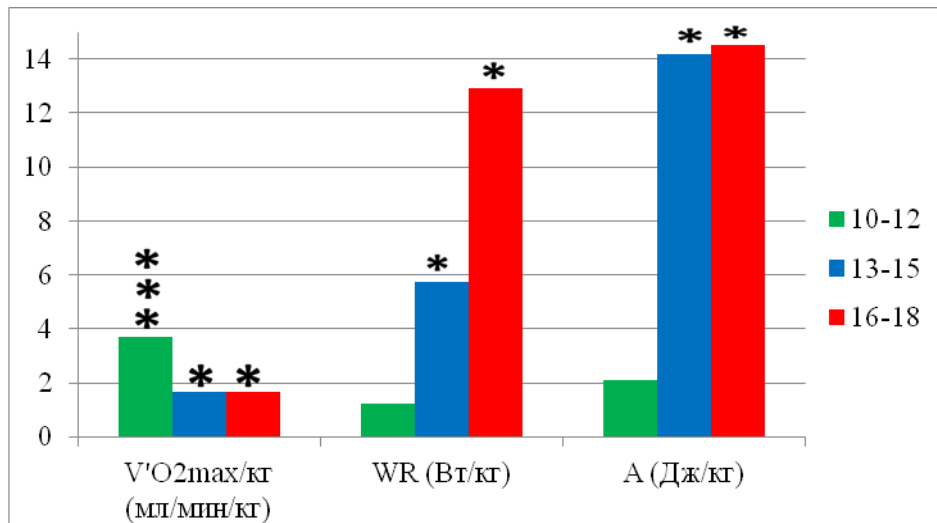


Рис. 4. Возрастные различия в величине прироста показателей максимальной аэробной мощности при выполнении рампттеста после воздействия гипоксической смесью по сравнению с исходным уровнем в (%)

Примечание: здесь и далее:  $p < 0,05$  - \*  $p < 0,01$  - \*\*  $p < 0,001$  - \*\*\*

Из представленных данных видно, что  $VO_{2max}$  во всех группах достоверно увеличился, но мощность работы достоверно увеличилась только в средней и старшей группе, в младшей группе данный показатель практически не изменился. Объем выполненной работы в младшей группе практически не вырос, тогда как в средней и старшей – достоверно увеличился.

Изменения показателей анаэробной производительности под воздействием гипоксической экспозиции у спортсменов разного возраста представлены на рис. 5.

По данным Вингейтского теста, изменения показателей после гипоксической экспозиции у детей 10-12 лет не имеют статистической достоверности. Значимые приросты отмечены только в среднем (максимальная мощность и общий объем работы) и старшем (максимальная мощность, время удержания, объем работы) возрасте.

Таким образом, позитивный эффект гипоксического воздействия наблюдается только у спортсменов, достигших полового созревания. Возможно, это связано с этапом морфофункционального развития скелетно-мышечных волокон II типа и

становлением возможностей анаэробного гликолиза в мышцах, что приходится как раз на возраст от 15 до 18 лет [8; 11].

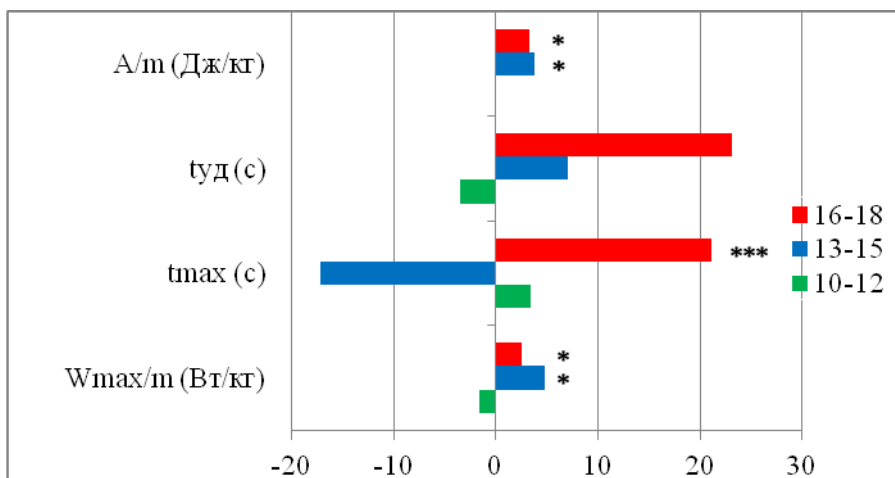


Рис. 5. Изменения результатов Вингейтского теста у пловцов трех возрастных групп (в %) после применения острой гипоксической экспозиции

Результаты проведённых исследований свидетельствуют о высокой эффективности применения однократного острого гипоксического воздействия, которое приводит к существенному увеличению анаэробных возможностей организма у пловцов старшей возрастной группы. Можно предположить, что такой эффект достигается за счет активации симпатического звена регуляции, как результат стрессорного воздействия гипоксии. По аналогии с острым кратковременным холодовым воздействием [9], можно полагать, что такое стрессовое воздействие может активизировать энергетический метаболизм с участием митохондриальных разобшающих белков, способных участвовать в утилизации лактата и других побочных продуктов напряженного энергетического метаболизма, и тем самым способствует повышению ёмкости гликолитической системы [12].

Результаты, полученные в средней возрастной группе, свидетельствуют о неустойчивости у них энерговегетативных процессов, и в целом не позволяют выявить существенные позитивные сдвиги после применения острой гипоксической экспозиции. Младшая группа демонстрирует скорее ухудшение анаэробных возможностей после гипоксической экспозиции, хотя у них процесс дыхания гипоксической газовой смесью многократно прерывался и реальная гипоксемия организма не наступала. Очевидно, что в младшем возрасте применение гипоксии для стимулирования работоспособности представляется бесперспективным.

## ВЫВОДЫ

1. Гипоксическое воздействие для детей младшей группы неэффективно; для подростков оно обладает частичной эффективностью; для пловцов старшей и средней возрастной группы налицо повышение производительности в аэробной

зоне энергообеспечения. Последнее подтверждается заметным увеличением мощности нагрузки, при которой был достигнут уровень МПК, и этот прирост тем выше, чем выше возраст испытуемых.

2. Гипоксическая экспозиция оказывает стимулирующее влияние на систему анаэробно-гликолитического (лактацидного) энергообеспечения мышечной деятельности, что приводит к повышению эргометрических результатов тестирования аэробной и анаэробно-гликолитической работоспособности. Сдвиги тем выше, чем старше испытуемые, вероятно потому, что именно в юношеском возрасте происходит интенсивное формирование анаэробно-гликолитического источника энергии в скелетных мышцах.

3. У младших детей позитивного влияния гипоксической экспозиции на работоспособность практически нет, так как их организм не приспособлен к работе в условиях недостатка кислорода. В дальнейших исследованиях данного направления использовать контингент младших школьников нецелесообразно.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Афонякин И.В. Применение интервальной гипоксической тренировки для повышения анаэробной работоспособности пловцов: диссертация ... кандидата педагогических наук: 13.00.04. – М., 2003. – 213 с.

2. Булгакова Н.Ж., Попов О.И., Партыка Л.И. Плавание в XXI веке: прогнозы и перспективы // Теория и практика физ. культуры. – 2002. – № 4. – С. 29-34.

3. Быковская Т.Ю., Шатов Д.В., Иванов А.О. и др. Влияние искусственной адаптации человека к условиям периодической нормобарической гипоксии на показатели эритроцитарного звена циркулирующей крови // Медицинский вестник Юга России. – № 4. – 2014. – С. 31-34.

4. Волков Н.И., Попов О.И. Историографический анализ рекордов в плавании // Теор. и практ. физ. культ. – 1997. – № 7. – С. 31-37.

5. Волков Н.И. Прерывистая гипоксия - новый метод тренировки, реабилитации и терапии // Теория и практика Физ. культуры. – 2000. – № 7. – С. 20-23.

6. Волков Н.И., Олейников В.И. Биологически активные пищевые добавки в специализированном питании спортсменов. – М.: Спортакадемпредс, 2001. – 80 с.

7. Колчинская А.З. Интервальная гипоксическая тренировка, эффективность, механизмы действия / Под ред. А.З. Колчинской. – Киев: Елта, 2011. – 159 с.

8. Корниенко И.А., Сонькин В.Д., Тамбовцева Р.В. Возрастное развитие энергетики мышечной деятельности: итоги 30 - летнего исследования. Эндогенные и экзогенные факторы, влияющие на развитие энергетики скелетных мышц // Физиология человека. – 2007. – Т. 33, № 5. – С. 118-123.

9. Левушкин С.П., Акимов Е.Б., Андреев Р.С., Якушкин А.В., Сонькин В.Д. Физиологические основания для применения гипотермических воздействии после спортивной работы субмаксимальной мощности // Медицина экстремальных ситуаций. – 2015. – № 4 (54). – С. 81-89.

10. Попов О.И., Партыка Л.И. Эволюция технологии подготовки, морфологического профиля сильнейших пловцов и мировых рекордов в спортивном пла-



вании на протяжении XX века // Наука в олимпийском спорте. – 2001, – № 1. – С. 43-53.

11. Сонькин В.Д. Физическая работоспособность и энергообеспечение мышечной функции в постнатальном онтогенезе человека // Физиология человека. – 2007. – Т. 33, № 3. – С. 81-99.

12. Сонькин В.Д. Физиологический смысл разобщенного тканевого дыхания при мышечной работе // В сборнике: Актуальные проблемы биохимии и биоэнергетики спорта XXI века / Материалы Всероссийской научно-практической интернет-конференции с международным участием. – 2017. – С. 150-154.

13. Горчакова Н.А. Фармакология спорта / Н.А. Горчакова, Я.С. Гудивок, Л.М. Гунина [и др.], под общ. ред. С.А. Олейника, Л.М. Гуниной, Р.Д. Сейфуллы. – К.: Олимп. л-ра, 2010.

14. Bulgakova N. J., O. Popov Current status and the development of competitive swimming in Russia. Swimming – III. Research, training, gidrorehabilitation / Under the general editorship. Petryaeva A. – St. Petersburg: Plavin, 2005. – P. 20-25.

15. Platonov V. Areas of improvement of the Olympic training // Science in Olympic sports. – 2004. – № 1. – P. 3-10.

16. Suslov F. P On the strategy of competitive practices in individual sports in the Olympic years// Theory and Practice of Physical Culture. – 2002. – № 11. – P. 30-33.

## REFERENCES

1. Afonjakin I.V. Primenenie interval'noj gipoksicheskoj trenirovki dlja povsheniya anajerobnoj rabotosposobnosti plovcov: dissertacija ... kandidata pedagogicheskikh nauk: 13.00.04. – Moskva, 2003. – 213 p.

2. Bulgakova N.Zh., Popov O.I., Partyka L.I. Plavanie v XXI veke: prognozy i perspektivy // Teorija i praktika fiz. kul'tury. – 2002. – № 4. – P. 29-34.

3. Bykovskaja T.Ju., Shatov D.V., Ivanov A.O.i dr.Vlijanie iskustvennoj adaptacii cheloveka k usloviyam periodicheskoj normobaricheskoj gipoksii na pokazateli jericitocitarnogo zvena cirkulirujushhej krovi // Medicinskij vestnik Juga Rossii. – 2014. – № 4. – P. 31- 34.

4. Volkov N.I., Popov O.I. Istoriograficheskij analiz rekordov v plavanii // Teor. i prakt. fiz. kul't. – 1997. – № 7. – P. 31-37.

5. Volkov N.I. Preryvistaja gipoksija - novyj metod trenirovki, rehabilitacii i terapii//Teorija i praktika Fiz. kul'tury. – 2000. – № 7. – P. 20-23.

6. Volkov N.I., Olejnikov V.I. Biologicheski aktivnyye pishhevye dobavki v specializirovannom pitanii sportmenov. – M.: Sportakadempress, 2001. – 80 p

7. Kolchinskaja A.Z. Interval'naja gipoksicheskaja trenirovka, jeffektivnost', mehanizmy dejstvija / Pod red. A.Z. Kolchinskij. – Kiev: Elta, 2011. – 159 p.

8. Kornienko I.A., Son'kin V.D., Tambovceva R.V. Vozrastnoe razvitie jenergetiki myshechnoj dejatel'nosti: itogi 30 - letnego issledovaniya. Jendogennye i jekzogenne faktory, vlijajushhie na razvitie jenergetiki skeletnyh myshc// Физиология человека. – 2007. – Т. 33, № 5. – P. 118-123

9. Levushkin S.P., Akimov E.B., Andreev R.S., Jakushkin A.V., Son'kin V.D. Физиологические основания для применения гипотермических воздействий после спор-

tivnoj raboty submaksimal'noj moshhnosti // Medicina jekstremal'nyh situacij. 2015. № 4 (54). P. 81-89.

10. Popov O.I., Partyka L.I. Jevoljucija tehnologij podgotovki, morfologicheskogo profilja sil'nejshih plovcov i mirovyh rekordov v sportivnom plavanii na protjazhenii HH veka//Nauka v olimpijskom sporte. – 2001. – № 1. – P. 43-53.

11. Son'kin V.D. Fizicheskaja rabotosposobnost' i jenergoobespechenie myshechnoj funkcii v postnatal'nom ontogeneze cheloveka//Fiziologija cheloveka. - 2007. – T. 33, № 3. – P. 81 - 99.

12. Son'kin V.D. Fiziologicheskij smysl razobshhennogo tkanevogo dyhanija pri myshechnoj rabote // V sbornike: Aktual'nye problemy biohimii i biojenergetiki sporta XXI veka/ Materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy internet-konferencii s mezhdunarodnym uchastiem. – 2017. – P. 150-154.

13. Gorchakova N.A. Farmakologija sporta / Gorchakova N.A. Gudivok Ja.S., Gunina L.M. [i dr.], pod obshh. red. S.A. Olejnika, L.M. Guninoj, R.D. Sejfully. – K.: Olimp. 1-ra, 2010.

## ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ ШКОЛЬНИКОВ 14-15 ЛЕТ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ДВИГАТЕЛЬНОЙ ПОДГОТОВЛЕННОСТИ

И.А. Криволапчук<sup>1\*</sup>, М.Б. Чернова<sup>\*</sup>, Е.В. Савушкина<sup>\*\*</sup>

<sup>\*</sup>ФГБНУ «Институт возрастной физиологии  
Российской академии образования», Москва

<sup>\*\*</sup>Гродненский государственный университет  
имени Янки Купалы, Гродно

Анализ полученных результатов показал, что функциональное состояние (ФС) подростков 14-15 лет зависит от уровня развития общей выносливости, силовых и скоростно-силовых способностей. Установлено, что выносливые школьники по некоторым параметрам сердечного ритма характеризуются низкой активированностью в состоянии спокойного бодрствования. Информационные нагрузки, реализуемые в режиме оптимального и максимального темпа работы, вызывают у них менее значительные изменения ряда вегетативных показателей ФС по сравнению со школьниками, имеющими низкий уровень развития общей выносливости. При сопоставлении групп подростков, различающихся по силовой и скоростно-силовой подготовленности, установлено, что мальчики с высоким уровнем развития соответствующих двигательных способностей характеризуются повышенными значениями основных параметров артериального давления крови во всех рассматриваемых экспериментальных ситуациях.

**Ключевые слова:** информационные нагрузки, функциональное состояние, общая выносливость, силовые и скоростно-силовые способности.

**Functional state of 14-15-year-old schoolchildren depending on their motor readiness.** Data analysis showed that the functional state (FS) of adolescents at the age of 14-15 year old depends on the level of general endurance, power and speed-strength abilities. It is established that according to some heart rhythm parameters schoolchildren with higher endurance are characterized by low activation in calm wakefulness. The optimal and the maximum rates of information load cause less significant changes in a number of vegetative parameters of FS in comparison with schoolchildren with the lower level of general endurance. The comparison of groups of teenagers who differ in strength and speed-strength preparedness showed that boys with a high level of development of motor abilities are characterized by increased main parameters of blood pressure in all the experimental situations.

**Key words:** information load, functional state, general endurance, power and speed-strength abilities.

Изучение вопроса о взаимосвязи функционального состояния (ФС) при напряженной познавательной деятельности и уровня двигательной подготовленности, имеет большое значение для поиска эффективных путей профилактики неинфекционных заболеваний и укрепления здоровья детей школьного возраста в современных социокультурных условиях. В настоящее время имеются многочис-

---

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

ленные научные данные, уточняющие современные представления о ключевых механизмах влияния физической тренированности на функциональное состояние организма в процессе индивидуального развития [1; 2; 3; 8; 9; 10; 12; 13; 17; 19]. Однако, к сожалению, и сегодня существует еще серьезный дефицит убедительных научных доказательств наличия тесной взаимозависимости между изменениями различных сторон двигательной подготовленности человека в процессе возрастного развития и физиологическими, психологическими и поведенческими аспектами его ФС в условиях напряженной познавательной деятельности.

Целью настоящей работы явилось исследование особенностей ФС подростков 14-15 лет с высоким и низким уровнем развития кондиционных двигательных способностей.

## **ОРГАНИЗАЦИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

В исследовании, проводимом в соответствии с требованиями Хельсинской декларации, принимали участие здоровые мальчики в возрасте 14-15 лет (n=125).

Оценку двигательной подготовленности проводили на основе использования добротных моторных тестов. 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; шестиминутный бег; поднимание туловища из положения «лёжа на спине» за 1 минуту; стантовую динамометрию.

В качестве модели информационной нагрузки использовали работу с буквенными корректурными таблицами. Обследование осуществлялось в состоянии покоя и в двух режимах работы: 1) автотемп; 2) максимальный темп при наличии «угрозы наказания». По результатам выполнения тестового задания рассчитывали объём работы (А) и коэффициент продуктивности. Перед выполнением каждого задания у испытуемых с помощью варианта 8-цветового теста Люшера определяли уровень ситуативной тревожности (СТ) [11]. В психофизиологическом тестировании приняли участие 85 мальчиков. Испытуемые не были предварительно ознакомлены с предлагаемыми им экспериментальными ситуациями.

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

Для оценки степени напряженности регуляторных систем использовали математический анализ сердечного ритма [14]. Определяли частоту сердечных сокращений (ЧСС), среднюю продолжительность R-R интервала (RRNN), моду (Mo), амплитуду моды (AMo), разброс кардиоинтервалов (MxDm), среднеквадратическое отклонение (SDNN), стресс-индекс (SI).

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

На основе результатов педагогического тестирования были выделены граничные значения показателей выносливости, гибкости, скоростных, силовых и скоростно-силовых способностей, позволяющие относить подростков 14-15 лет к группам сверстников с разным уровнем двигательной подготовленности (табл. 1).

В ходе статистической обработки полученных данных с помощью перцентильной шкалы была осуществлена градация всей выборки испытуемых по трем уровням развития рассматриваемых двигательных способностей. Результаты, лежащие в пределах  $M \pm 0,67\sigma$ , соответствовали среднему уровню, превышающие  $M + 0,67\sigma$  – высокому, меньше  $M - 0,67\sigma$  – низкому уровню.

Таблица 1

Оценка двигательной подготовленности мальчиков 14–15 лет ( $n=124$ )

Показатель	Уровень		
	низкий	средний	высокий
Прыжок в длину с места, см	< 190	190–216	216 >
Бег 20 м с хода, с	< 3,0	3,0–2,6	2,6 >
Становая динамометрия, кг/кг	< 1,7	1,7–2,1	2,1 >
Шестиминутный бег, м	< 1170	1170–1380	1380 >
Поднимание туловища, раз	< 37	37–48	48 >

Изучение ФС подростков 14-15 лет при реализации когнитивной нагрузки в режиме оптимального и максимального темпа работы показало, что тестовые задания вызывают у них повышение уровня общей активации ЦНС и возрастание напряжения системы регуляции физиологических функций. При выполнении тестового задания в режиме «автотемп» происходило статистически значимое ( $p < 0,05-0,001$ ) увеличение ЧСС, АМо, SI, СД, ДД, САД, ДП и уменьшение ( $p < 0,05-0,001$ ) RRNN, Мо, МхDMn, SDNN (табл. 2). Работа с максимальной скоростью вызывала еще более существенные изменения рассматриваемых показателей ФС (см. табл. 2), при этом переход от первого режима работы ко второму сопровождался нарастанием активности симпатического отдела ВНС и снижением эффективности деятельности.

Соотнесение показателей ФС с уровнем развития кондиционных двигательных способностей позволило выявить отсутствие статистически значимых различий в отношении быстроты и силовой выносливости. Вместе с тем в ходе исследования обнаружены отличия между испытуемыми с высоким и низким уровнями развития общей выносливости, силовой и скоростно-силовой подготовленности (табл. 3).

Установлено, что у подростков 14-15 лет уровень активированности в условиях спокойного бодрствования, а также изменения ФС при информационной нагрузке в определенной мере зависят от уровня развития общей выносливости (см. табл. 3).

Таблица 2

*Изменение физиологических показателей ФС под влиянием информационной нагрузки у детей 14-15 лет*

Показатель	Фон	Информационная нагрузка			
		Автотемп		Максимальный темп	
		M±m	d±m	M±m	d±m
СД, мм рт. ст.	117,1±1,0	120,1±0,9	3,0±0,7***	125,4±0,8	8,3±0,8***
ДД, мм рт. ст.	72,5±0,9	74,4±1,0	1,9±0,9*	80,3±0,9	7,8±0,9***
САД, мм рт. ст.	96,5±0,8	99,2±0,8	2,7±0,7***	106,3±0,9	9,8±0,8***
ЧСС, уд/мин	79,7±1,3	82,5±1,2	2,8±1,0**	89,8±1,3	10,1±0,9***
ДП, отн.ед.	94,8±1,7	99,7±1,9	4,9±1,7**	111,2±1,8	16,4±1,8***
RRNN, мс	742,6±16,7	715,4±14,2	-27,1±11,9*	668,3±15,1	-74,3±13,3***
Мо, мс	725,1±13,9	694,4±13,8	-30,7±11,1**	654,1±15,8	-71,0±12,4***
АМо50, %/50 мс	32,3±1,2	39,1±1,4	6,9±1,3***	42,0±1,5	9,7±1,4***
МхDMп, мс	285,4±12,4	210,2±10,5	-75,2±10,2***	207,4±11,5	-78,0±10,2***
SDNN, мс	64,6±2,5	53,5±2,2	-11,1±1,8***	51,0±2,1	-13,6±2,1***
SI, отн.ед.	112,1±12,5	178,2±15,9	66,1±10,5***	216,3±19,8	104,2±19,8***
Тревога, балл	1,42±0,24	1,61±0,25	0,19±0,26	1,64±0,23	0,22±0,23
А, кол-во зн.		220,9±7,8		241,5±10,8	20,6±6,9**
Q, отн.ед.		13,6±1,4		8,2±1,2	-5,4±1,4***

**Примечание:** \*, \*\*, \*\*\* – статистически значимые сдвиги при  $p < 0,05$ ,  $p < 0,01$  и  $p < 0,001$  соответственно.

В состоянии покоя и при работе в режиме «автотемп» подростки с высоким уровнем выносливости характеризовались меньшими ( $p < 0,05-0,01$ ) величинами ЧСС и RRNN. Выполнение тестового задания с максимальной скоростью значимые различия ( $p < 0,05-0,01$ ), определяемые общей выносливостью, обнаружены в отношении ЧСС, RRNN МхDMп и ДП.

При сравнении групп школьников, различающихся по силовой и скоростно-силовой подготовленности, установлено, что мальчики с высоким уровнем силы разгибателей туловища характеризовались повышенными значениями СД, САД, ДД (см. табл. 2) как в покое, так и при выполнении тестовых нагрузок ( $p < 0,05-0,01$ ).

Таблица 3

*Значимые различия показателей ФС у подростков 14-15 лет с высоким и низким уровнями двигательной подготовленности*

Критерий	Показатели		
	Фон	Автотемп	Максимальный темп
Шестиминутный бег	ЧСС, RRNN	ЧСС, RRNN	ЧСС, RRNN, МхDMп, ДП
Становая динамометрия	СД, САД, ДД	СД, САД, ДД	СД, САД, ДД
Прыжок в длину	САД	СД, САД	СД, САД

**Примечание:** представлены межгрупповые различия при  $p < 0,05-0,001$ .

Аналогичные данные получены в отношении прыжка в длину. В состоянии покоя различия ( $p < 0,05-0,01$ ) касались уровня САД, а в условиях тестовых когнитивных нагрузок – СД и САД. Важно отметить, что величины рассматриваемых гемодинамических показателей у подростков с высокой силовой и скоростно-силовой подготовленностью находились в рамках соответствующей их возрасту физиологической нормы. Результаты исследования в целом согласуются с данными, полученными нами ранее при участии детей других возрастных групп [6, 5, 7].

Сведения о том, что дети разного возраста с высоким уровнем общей (аэробной) выносливости и физической работоспособности, характеризуются меньшей психофизиологической реактивностью при реализации напряженной познавательной деятельности по сравнению с испытуемыми, проявляющими низкую аэробную выносливость, находят убедительное подтверждение в научной литературе [15; 16; 18; 20; 21; 22; 23 и др.].

Вероятно, обнаруженные в настоящем исследовании разнонаправленные эффекты влияния наличного уровня развития общей выносливости, силовых и скоростно-силовых способностей на ФС мальчиков 14-15 лет при напряженной познавательной деятельности, в значительной степени определяются особенностями воздействия физических упражнений рассматриваемой направленности на интенсивность обменных процессов организма и функционирование важнейших его физиологических систем. Более детально эти эффекты обсуждались нами ранее [4; 7].

В нашем исследовании обнаружена также специфика гемодинамического обеспечения напряженной познавательной деятельности у подростков, отличающихся по силовой и скоростно-силовой подготовленности. Мы полагаем, что выявленные у них различия в уровне артериального давления крови при выполнении тестовых когнитивных заданий, обусловлены особенностями психофизиологической реактивности и спецификой физического развития.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В исследовании выделены граничные значения основных показателей развития кондиционных двигательных способностей подростков 14-15 лет, позволяющие относить их к группам сверстников с высоким, средним и низким уровнем двигательной подготовленности.

Анализ полученных результатов показал, что функциональное состояние подростков 14-15 лет в определенной мере зависит от уровня развития общей выносливости, силовых и скоростно-силовых способностей.

Установлено, что выносливые школьники 14-15 лет по некоторым параметрам сердечного ритма характеризуются низкой активированностью в состоянии спокойного бодрствования. Информационные нагрузки, реализуемые в режиме оптимального и максимального темпа работы, вызывают у них менее значительные изменения ряда вегетативных показателей функционального состояния по сравнению со школьниками, имеющими низкий уровень развития общей выносливости.

При сопоставлении групп подростков, различающихся по силовой и скоростно-силовой подготовленности, установлено, что мальчики с высоким уровнем

развития соответствующих двигательных способностей характеризуются повышенными значениями основных параметров артериального давления крови во всех рассматриваемых экспериментальных ситуациях.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бодров, В.А. Психологический стресс: развитие и преодоление / В.А. Бодров. – М.: ПЭР СЭ, 2006. – 528 с.
2. Волков Н.И., Олейников В.И. Биоэнергетика спорта: Монография. – М.: Советский спорт, 2011. – 160 с.
3. Данилова Н.Н. Психофизиологическая диагностика функциональных состояний. – М.: Изд-во МГУ, 1992. – 192 с.
4. Криволапчук И.А. Функциональное состояние детей 9-10 лет при напряженной информационной нагрузке и физическая работоспособность // Физиология человека. – 2009. – Т. 35, № 6. – С. 111-121.
5. 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.
6. 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.
7. Криволапчук И.А., Чернова М.Б., Савушкина Е.В. Функциональное состояние школьников 13-14 лет в условиях напряженной информационной нагрузки в зависимости от стадий полового созревания и двигательной подготовленности // Новые исследования. – 2016. – № 4. – С. 44-54.
8. Медведев В.И. Адаптация человека. – СПб.: Институт мозга РАН, 2003. – 584 с.
9. Меерсон Ф.З., Пшенникова М.Г. Адаптация к стрессорным ситуациям и физическим нагрузкам. – М.: Медицина, 1988. – 256 с.
10. Мохан Р., Глессон М., Гринхафф П.Л. Биохимия мышечной деятельности и физической тренировки. – Киев: Олимпийская литература, 2001. – 295 с.
11. Собчик Л.Н. Метод цветовых выборов – модификация цветового теста Люшера. – СПб.: Речь, 2006 – 128 с.
12. Сонькин В.Д., Тамбовцева Р.В. Развитие мышечной энергетики и работоспособности в онтогенезе. – М.: книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2011. – 368 с.
13. Швеллнус М. Олимпийское руководство по спортивной медицине. – М.: Практика, 2011. – 672 с.
14. Шлык Н.И. Сердечный ритм и тип регуляции у детей, подростков и спортсменов. – Ижевск: Изд-во «Удмуртский университет», 2009. – 259 с.
15. Crews D.J., Lochbaum M.R., Landers D.M. Aerobic physical activity effects on psychological well-being in low-income Hispanic children // Percept Mot Skills. 2004 V.98.№1. P.319-324.



16. 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.
17. Everly G., Latin J. *A Clinical Guide to the Treatment of the Human Stress Response.* – Springer, 2013. – 486 p.
18. Ferrara, L.A., Mainenti, G., Fasano, M.L. et al. Cardiovascular response to mental stress and to handgrip in children. The role of physical activity // *Jpn Heart J.*– 1991.– Vol. 32, № 5.– P. 645–654.
19. Kenney W.L., Wilmore J., Costill D. *Physiology of Sport and Exercise.* – Published by Champaign, IL; Human Kinetics, 2015. – 640 p.
20. Lambiase M.J., Dorn J., Roemmich J.N. Systolic blood pressure reactivity during submaximal exercise and acute psychological stress in youth. *Am J Hypertens.* 2013. 26(3): 409–415.
21. Ribeiro, M.M., Silva, A.G., Santos, N.S. et al. Diet and exercise training restore blood pressure and vasodilatory responses during physiological maneuvers in obese children // *Circulation.* – 2005.– Vol. 111, № 15.– P. 1915–1923.
22. Steptoe, A. Cardiovascular activity during mental stress following vigorous exercise in sportsmen and inactive men / A. Steptoe, N. Kearsley, N. Walters // *Psychophysiology.* – 1993. – Vol.30, № 3. – P. 245–252.
23. 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.

## REFERENCE

1. Bodrov, V.A. *Psikhologicheskii stress: razvitie i preodolenie (Psychological stress: development and coping) / V.A. Bodrov.* – Moscow: PER SE, 2006. – 528 s. in Russian Volkov N.I., Oleynikov V.I. *Bioenergetika sporta: Monografiya (Bioenergetics of sports: Monograph).* – Moscow: Sovetskiy sport, 2011. – 160 s. in Russian
3. Danilova N.N. *Psikhofiziologicheskaya diagnostika funktsional'nykh sostoyaniy (Psychophysiological diagnostics of functional states).* – Moscow: Izd-vo MGU, 1992. – 192 s. in Russian
4. Krivolapchuk I.A. *Funktsional'noe sostoyanie detey 9-10 let pri napryazhennoy informatsionnoy nagruzke i fizicheskaya rabotosposobnost' (Functional state of children 9-10 years with intense information load and physical performance)*// *Fiziologiya che-loveka.* – 2009. – T. 35, N 6. – S. 111-121. in Russian
5. Krivolapchuk I.A., Zaytseva G.A., Chernova M.B., Barantsev S.A., Polyanskaya N.V. *Uroven' vynoslivosti kak faktor, determiniruyushchiy psikhofiziologicheskuyu reaktivnost' detey 11-12 let v usloviyakh informatsionnoy nagruzki (Endurance level as a factor determining the psychophysiological reactivity of children 11-12 years under the conditions of information load)*// *Novye issledovaniya,* 2014. №4. S. 59-66. in Russian
6. Krivolapchuk I.A., Chernova M.B., Barantsev S.A., Mel'nikov D.V., Polyanskaya N.V. *Funktsional'noe sostoyanie shkol'nikov 10-11 let s vysokim i nizkim urovnem razvitiya obshchey vynoslivosti (Functional state of schoolchildren 10-11 years old*

with high and low level of development of general endurance)// *Novye issledovaniya*. – 2013. – № 2. – S. 78-85. in Russian

7. Krivolapchuk I.A., Chernova M.B., Savushkina E.V. Funktsional'noe sostoyanie shkol'nikov 13-14 let v usloviyakh napryazhennoy informatsionnoy nagruzki v zavisimosti ot stadiy polovogo sozrevaniya i dvigatel'noy podgotovlennosti (Functional state of schoolchildren aged 13-14 years under conditions of intense information load, depending on the stages of puberty and motor preparedness)// *Novye issledovaniya*. – 2016. – № 4. – S. 44-54. in Russian

8. Medvedev V.I. Adaptatsiya cheloveka (Human adaptation). – St. Petersburg: Institut mozga RAN, 2003. – 584 s. in Russian

9. Meerson F.Z., Pshennikova M.G. Adaptatsiya k stressornym situatsiyam i fizicheskim nagruzkam (Adaptation to stressful situations and physical exertion). – Moscow: Meditsina, 1988. – 256 s. in Russian

10. Mokhan R., Glesson M., Grinkhaff P.L. Biokhimiya myshechnoy deyatel'nosti i fizicheskoy trenirovki (Biochemistry of muscular activity and physical training). – Kiev: Olimpiyskaya literatura, 2001. – 295 s. in Russian

11. Sobchik L.N. Metod tsvetovykh vyborov – modifikatsiya tsvetovogo testa Lyushera (The method of color choices is a modification of Luscher's color test). – St. Petersburg: Rech', 2006 – 128 s. in Russian

12. Son'kin V.D., Tambovtseva R.V. Razvitie myshechnoy energetiki i rabotosposobnosti v ontogeneze (Development of muscular energy and working capacity in ontogenesis). – Moscow: knizhnyy dom «LIBROKOM», 2011. – 368 s. in Russian

13. Shvellnus M. Olimpiyskoe rukovodstvo po sportivnoy meditsine (Olympic guide to sports medicine). – Moscow: Praktika, 2011. – 672 s. in Russian

14. Shlyk N.I. Serdechnyy ritm i tip regulyatsii u detey, podrostkov i sportsmenov (Heart rhythm and type of regulation in children, adolescents and athletes). – Izhevsk: Izd-vo «Udmurtskiy universitet», 2009. – 259 s. in Russian

## 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 25.12.2017.

Усл. п. л. 11,625. Тираж 500 экз.

Отпечатано ИП Скороходов В.А.

111401, г. Москва, ул. 3-я Владимирская, 11-18