

Созревание регуляторных структур мозга и организация внимания у детей младшего школьного возраста

Мачинская Р.И., Крупская Е.В.
Институт возрастной физиологии РАО, Москва
E-mail develop.physiol@inbox.ru

Аннотация

В работе представлены результаты исследования организации неспецифического и избирательного зрительного внимания у детей 7-8 и 9-10 лет без отклонений в состоянии регуляторных систем мозга, с функциональной незрелостью фронто-таламической системы (НФТС) и дефицитом неспецифической активации (ДНА). Для исследования неспецифического зрительного внимания использовалась экспериментальная парадигма «Простое обнаружение зрительного сигнала», для исследования избирательного внимания – парадигма «Иерархическая буква». Показано, что у детей с незрелостью системы неспецифической активации РФ ствола головного мозга в наибольшей степени страдает активационный компонент внимания, что отражается в увеличении времени реакции при простом обнаружении зрительного сигнала. Эта особенность организации зрительного внимания у детей с ДНА сохраняется в течение всего анализируемого возрастного периода. Вместе с тем, дефицит неспецифической активации не оказывает отрицательного влияния на формирование избирательного внимания (информационный компонент) и способности удерживать внимание длительное время (мотивационный компонент). У детей с НФТС в возрасте 7-8 лет, напротив, в наибольшей степени страдают поддержание произвольного внимания и его избирательность. Это проявляется в снижении скорости простого обнаружения зрительного сигнала при увеличении временного интервала между стимулами и в трудностях опознания локального аспекта иерархической буквы в ситуации избирательного зрительного внимания. К 9-10 годам у детей с НФТС наблюдаются существенные прогрессивные изменения временных параметров зрительного восприятия, связанные с повышением эффективности как мотивационного, так и, еще в большей степени, информационного компонента внимания.

Введение

В своем развитии человек проходит различные этапы, каждый из которых характеризуется определенными изменениями организации психической деятельности, подготовленными морфофизиологическим субстратом. Период детства является наиболее значимым для формирования познавательной деятельности. Согласно концепции Л.С. Выготского о зоне ближайшего развития, соответствующее возрасту созревание функциональных мозговых систем является необходимым условием для прогрессивного формирования высших психических функций в процессе обучения (Выготский, цит. по изд. 1984 г.).

Согласно современным представлениям когнитивной нейронауки мозговые системы внимания обеспечивают контроль и организацию процессов обработки информации (Posner, 1994; Gazzaley A. et al., 2004; D'Esposito 2007;). Роль внимания в организации познавательной деятельности особенно высока у детей в 7-8 лет. Социально младший школьный возраст характеризуется началом систематического школьного обучения и изменением ведущей деятельности ребенка, предъявляющей новые требования к уровню произвольной организации психических процессов. Трудности обучения, часто возникающие в этом возрасте, во многих случаях связаны с дефицитом внимания (Ахутина, 2001; Семенова, 2005). Нейрофизиологические исследования показали, что в младшем школьном возрасте происходят качественными преобразованиями в мозговой организации когнитивных процессов, формируются системы мозга, обеспечивающие произвольную избирательную регуляцию деятельности и произвольное внимание (Фарбер и соавт., 2000; Мачинская, Семенова, 2004).

Таким образом, младший школьный возраст и с социальной, и с нейрофизиологической точки зрения является сенситивным периодом для развития произвольного внимания и произвольной регуляции деятельности.

В нейронауке внимание рассматривается как многокомпонентный процесс. Данные нейрофизиологических исследований свидетельствуют о том, что различные аспекты внимания обеспечиваются специализированными мозговыми модулирующими системами – источниками (Coull, 1998) или сетями (Posner, 1994) внимания. Исследования мозговой организации внимания (Батуев, 1981; Brunia, 1999; Kahana, 2001; Мачинская, Дубровинская, 2003) показывают, что в этом процессе можно выделить три взаимосвязанные составляющие: обеспечение оптимального уровня бодрствования (активационный компонент), поддержание необходимого уровня активности субъекта (мотивационный компонент) и избирательную модуляцию нейронной активности корковых областей, участвующих в обработке релевантного сигнала (информационный компонент).

Реализация первого компонента связана с функционированием систем активации (arousal), прежде всего ретикулярной формации продолговатого и среднего мозга (Джаспер, 1962). Как компонент внимания общий уровень бодрствования или активации организма обычно исследуется с помощью тестов включающих измерение простого времени реакции и времени реакции со звуковым предупреждением в заданиях со зрительными стимулами (Zimmermann, 1993). Важным элементом этой парадигмы является возможность изменения интервала между ответом и следующим за ним стимулом в задачах на обнаружение сигнала. Увеличение интервала между сигналами до трех секунд рассматривается в качестве ситуации, требующей произвольного напряжения внимания (мотивационный компонент), которое обеспечивается функциональными системами, включающими лобные и лимбические отделы головного мозга (Posner, 1994).

Реализация информационного компонента внимания (селективности), осуществляется нейронными сетями ассоциативных зон коры (теменных и префронтальных) и таламуса (Coull, 1998; Gazzaley A. et al., 2004; D'Esposito, 2007).

Особая роль в обеспечении избирательных нисходящих влияний от лобных отделов мозга к другим структурам коры принадлежит фронтоталамической регуляторной системе (Батуев, 1981; Brunia, 1999; Мачинская, 2003; Gazzaley A. et al., 2004).

Для исследования информационного компонента избирательного произвольного внимания большой интерес представляют различные варианты конфликтных тестов, т.н. тестов Струпа (Underwood, 1975). Один из вариантов – опознание «иерархической» буквы (большой буквы, составленной из одинаковых маленьких букв (Navon, 1977)). Считается, что глобальные признаки (большая буква) распознаются быстрее и процесс их обработки более автоматизирован, в отличие от локальных признаков (маленькая буква), для распознавания которых требуется участие систем произвольного избирательного внимания (Yovel et al., 2001).

Задача настоящей работы состояла в выявлении особенностей организации различных компонентов зрительного внимания у детей 7-8 и 9-10 лет, на ЭЭГ которых были обнаружены признаки функциональной незрелости фронтоталамической регуляторной системы и системы неспецифической активации. Для исследования активационного и мотивационного компонентов внимания был выбран тест простого обнаружения стимула. Для исследования информационного компонента внимания – тест составной фигуры.

Методика исследования.

В исследовании приняли участие 129 праворуких детей, обучавшихся в массовой школе, не имевших неврологических нарушений в анамнезе и выраженных (очаговых и/или эпилептиформных) изменений фоновой электрической активности (ЭА) мозга. Методика электроэнцефалографического анализа и оценки функциональной зрелости РС мозга представлена в нашем предыдущем исследовании (Мачинская и соавт., 1997). На основании результатов ЭЭГ обследования были сформированы 6 экспериментальных групп: дети 7-8 лет и 9-10 лет без отклонений в поведении и с функциональным состоянием регуляторных структур соответствующим возрастной норме (контроль); дети 7-8 лет и 9-10 лет, на ЭЭГ которых были выявлены признаки дефицита неспецифической активации со стороны ретикулярной формации (ДНА); дети 7-8 лет и 9-10 лет, на ЭЭГ которых были выявлены признаки функциональной незрелости фронтоталамической регуляторной системы (НФТС). Процентные соотношения мальчиков и девочек в группах значимо не различались. Количество детей в группах представлено в таблице 1. В большинстве случаев каждый ребенок принял участие в обоих экспериментах.

Таблица 1. Количество детей в экспериментальных группах

Тип эксперимента	Простое обнаружение			Опознание иерархической буквы		
	контроль	ДНА	НФТС	контроль	ДНА	НФТС
7-8 лет	31	30	34	23	21	26
9-10 лет	16	10	8	18	10	7

Показателем функциональной незрелости системы неспецифической активации (ДНА) служило наличие гиперсинхронного альфа-ритма или билатерально-синхронных групп острых волн тета-диапазона в теменно-затылочных отделах, а показателем незрелости фронтоталамической системы (НФТС) - наличие медленноволновых билатерально-синхронных колебаний тета-диапазона в передних и центральных отделах мозга (Мачинская и соавт., 1997).

Для исследования поведенческих характеристик внимания использовались тест «Простое обнаружение редкого стимула» (Zimmermann, 1993), и тест «Иерархическая буква» (Navon, 1977). Предъявление тестов осуществлялось с помощью компьютерной программы в оболочке «Butterfly» (Pulkin, 1996) Методика эксперимента была разработана и апробирована в дипломном исследовании А. Белопольского, выполненном на факультете психологии МГУ.

При выполнении теста «Простое обнаружение редкого стимула» испытуемые сидели примерно в 60 см от экрана. Необходимо было смотреть в центр тонкой черной рамки (9 угл. град.), постоянно предъявляемой на экране и как можно быстрее нажимать на клавишу каждый раз при появлении в центре нее черного квадрата (0,7 угл. град.). Интервал между ответом испытуемого и появлением следующего целевого стимула варьировал и составлял 2750, 3000 и 3250 мс, время экспозиции целевого стимула составляло 2 сек. Использовалось по 20 проб с каждым временным интервалом. Пробы с разными временными интервалами были распределены равномерно.

В тесте «Иерархическая буква» задача испытуемого состояла в идентификации одной из двух букв – «Е» или «Н» и нажатии на одну из соответствующих кнопок ответного устройства указательным пальцем правой или левой руки. Эксперимент состоял из двух серий. В первой серии при появлении иерархического стимула было необходимо идентифицировать большую букву (глобальный аспект фигуры). Использовалось 6 целевых стимулов: 2 совпадающих, 2 конфликтных и 2 нейтральных. Совпадающими стимулами были большая буква «Е» (6.4 x 2.4 угл. град.), составленная из маленьких букв «е» (0.8 x 0.3 угл. град.), а так же большая буква «Н», составленная из маленьких букв «н». Конфликтными стимулами были большая «Е», составленная из маленьких «н» и большая «Н» из маленьких «е», нейтральными - большие «Е» и «Н», написанные маленькими «о».

Во второй серии испытуемый должен был идентифицировать маленькую букву (локальный аспект фигуры). Здесь также использовалось 6 целевых стимулов. Конфликтные и совпадающие стимулы были такими же, как и в первой серии. Нейтральными стимулами были большая буква «О», написанная маленькими буквами «е» или «н». Испытуемые сидели примерно в 45 см от экрана монитора, в центре которого на сером фоне появлялись стимулы черного цвета. Их просили фиксировать крестик в центре экрана. Время экспозиции крестика было 1500 миллисекунд. За 500 миллисекунд до появления целевого стимула крестик исчезал и включался звук, частотой 587 Гц, который служил предупредительным сигналом. Звук продолжал звучать до появления целевого стимула и звучал до тех пор, пока не был дан ответ. Экспозиция целевого стимула длилась 100мс. После ответа испытуемого на целевой стимул вновь появлялся крестик. Для овладения навыками ответа проводились тренировочные серии, идентичные экспериментальным. Серии на идентификацию глобального и локального аспекта фигуры предъявлялись в последовательности АВВА и содержали 60 проб каждая. Совпадающие, конфликтные и нейтральные стимулы были распределены в каждой серии равномерно. После каждой серии делался перерыв 5-7 минут.

Статистическая обработка результатов осуществлялась с помощью дисперсионного анализа (Repeated Measures ANOVA) и t-критерия с использованием стандартного пакета статистических программ SPSS 10,0.

Результаты и обсуждение.

Организация неспецифического зрительного внимания (активационный и мотивационный компоненты)

Для выявления особенностей организации неспецифического внимания в зависимости от возраста и состояния РС мозга был проведен дисперсионный анализ времени реакции (ВР) в ситуации простого обнаружения зрительного сигнала. Использовалась модель RM ANOVA, в которой межстимульный интервал рассматривался в качестве внутри-индивидуального фактора (within-subjects) (3 уровня – 2750мс/3000мс/3250мс); в качестве меж-индивидуальных (групповых) факторов (between-subjects) рассматривались функциональное состояние РС мозга (3 уровня – контроль / ДНА / НФТС) и возраст (2 уровня – 7-8 лет и 9-10 лет). В таблице 2. представлены средние значения (mean) и стандартные отклонения (SD) ВР для всех

экспериментальных групп при обнаружении зрительных сигналов, следующих с разными временными интервалами.

Таблица 2. Средние значения и стандартные отклонения времени реакции в ситуации простого обнаружения зрительных стимулов у детей 7-8 и 9-10 лет с разным функциональным состоянием РС мозга

Возраст	Межстимульный интервал	Контроль		ДНА		НФТС	
		Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
7-8 лет	2750 мс	388,13	83,17	400,74	80,75	383,47	69,79
	3000 мс	379,18	71,78	388,44	81,18	389,56	65,29
	3250 мс	372,67	85,15	379,16	70,37	395,23	71,04
9-10 лет	2750 мс	332,81	38,38	372,40	95,95	316,25	39,30
	3000 мс	326,19	29,22	355,70	88,37	304,25	35,43
	3250 мс	316,19	41,24	352,70	86,98	321,37	31,37

Анализ межгрупповых эффектов выявил достоверное влияние фактора «возраст» ($F_1 = 13,746$, $p = 0,000$): при всех вариантах межстимульного интервала во всех исследованных группах детей время реакции при простом обнаружении зрительного сигнала значимо уменьшается с возрастом при переходе от 7-8 к 9-10 годам. Возрастное сокращение времени реакции может быть связано как с совершенствованием активационного компонента внимания, так и с увеличением скорости обработки информации. И то и другое может быть обусловлено возрастанием уровня возбудимости коры головного мозга в покое и при деятельности. В пользу такого предположения говорят результаты нашего исследования фоновой электрической активности мозга детей 7-8 и 9-10 лет с различным уровнем зрелости РС (Соколова, Мачинская, 2006). В этом исследовании с помощью спектрально-корреляционного анализа ЭЭГ было продемонстрировано достоверное уменьшение с возрастом абсолютных значений спектральной мощности альфа- и тета-колебаний, что в электрофизиологической литературе рассматривается как показатель увеличения уровня возбудимости коры.

Для фактора «состояние регуляторных структур мозга» основного эффекта не было обнаружено ($F_2 = 1,163$, $p = 0,316$) несмотря на то, что приведенные в таблице 2. данные говорят о более замедленной реакции детей с ДНА как в 7-8, так и 9-10 лет. Вместе с тем применение дисперсионного анализа отдельно для двух возрастных групп позволило выявить зависимость ВР при простом обнаружении зрительного объекта от состояния РС мозга в возрасте 9-10 лет на уровне тенденции ($F_2 = 2,188$, $p = 0,121$). При этом максимальное время реакции при всех значениях межстимульного интервала наблюдалось в группе детей с ДНА. Значимые различия выявились при попарном сравнении между детьми 9-10 лет с ДНА и детьми этого же возраста с НФТС ($p = 0,05$). Этот факт говорит о том, что активационный компонент внимания наименее эффективен в группе детей с ДНА, а также подтверждает правомерность используемых ЭЭГ-критериев для выявления детей с незрелостью системы неспецифической активации.

При анализе всей выборки детей в целом выявлен основной эффект, связанный с действием фактора «межстимульный интервал» ($F_{2,246} = 5,305$, $p = 0,006$). Как свидетельствуют данные, представленные в таблице 1 во всех группах детей обоих возрастов отмечаются различия во времени реакции, определяемые величиной предстимульной задержки. Вместе с тем, видно, что увеличение предстимульной задержки по-разному сказывается на продолжительности реакции на зрительный сигнал у детей с различным уровнем зрелости РС мозга: у детей контрольной группы и детей с дефицитом неспецифической активации (ДНА) время реакции уменьшается при

увеличении межстимульного интервала, а у детей с функциональной незрелостью ФТС – увеличивается. Такой разнонаправленный характер зависимости времени реакции при разных значениях межстимульного интервала от состояния РС мозга отразился в достоверном взаимодействии факторов «межстимульный интервал» и «состояние регуляторных структур мозга» ($F_{4,246} = 2,882, p = 0,023$).

Изменение времени реакции при увеличении предстимульной задержки характеризует эффективность произвольного удержания внимания – сокращение ВР в контрольных группах и в группах с ДНА у детей обоих возрастов говорит о том, что «подключение» мобилизационного компонента внимания у этих детей способствует более быстрой обработке информации. В 7-8 лет сокращение времени реакции при увеличении межстимульного интервала от минимального к максимальному значимо по t-критерию Стьюдента как для детей контрольной группы ($t_{30} = 3,069, p = 0,005$), так и для детей с ДНА ($t_{29} = 3,015, p = 0,005$). В возрасте 9-10 лет те же закономерности изменения ВР в зависимости от межстимульного интервала отмечаются в контрольной группе на уровне тенденции, а в группе с ДНА значимы ($t_9 = 2,905, p = 0,017$). У детей 7-8 лет с НФТС, напротив, увеличение временного интервала между предъявлением простых зрительных сигналов приводит к замедлению реакции, значимые различия с противоположным знаком отмечаются между ВР при минимальном и максимальном межстимульном интервале ($t_{33} = -2,271, p = 0,051$), что свидетельствует о трудностях произвольного удержания внимания в этой группе детей. В 9-10 лет в этой группе детей различия между ВР при минимальной и максимальной задержке не значимы ($t_7 = -0,305, p = 0,769$).

У детей контрольной группы и детей с ДНА разности во ВР при предъявлении стимулов с минимальной и средней (S1-S2), минимальной и максимальной (S1-S3), средней и максимальной (S2-S3) задержками положительны. У детей с НФТС в возрасте 7-8 лет они отрицательны для всех выше приведенных вариантов, а в возрасте 9-10 лет ВР при средней величине задержки меньше, чем при минимальной, тогда как при максимальной задержке оно вновь возрастает и разности во времени реакции меняют знак. Для детей 7-8 лет дисперсионный анализ разностей во ВР при предъявлении стимулов с разными временными задержками выявил достоверное влияние межгруппового фактора «состояние РС мозга» для разности во времени реакции на сигналы, предъявляемые с минимальной и максимальной задержками ($F_{2,92} = 6,667, p = 0,002$). Парное сравнение этого показателя в группах выявило наличие достоверных различий между детьми с НФТС и двумя другими группами – контрольной и группой с ДНА ($p = 0,008$ и $p = 0,001$ соответственно), тогда как различия между контрольной группой и группой с ДНА отсутствовали. У детей с НФТС обнаружены также возрастные различия (влияние фактора «возраст») на уровне тенденции для разности во времени реакции при предъявлении стимулов с минимальной и средней задержкой ($F_{1,40} = 2,972, p = 0,092$). Эти различия связаны с тем, что как отмечалось выше, в 7-8 лет у детей с НФТС время реакции на сигналы, следующие с интервалом 3000 мс больше, чем на следующие с интервалом 2750 мс, а в 9-10 лет, наоборот – меньше.

Таким образом, исследование показателей времени реакции в ситуации простого обнаружения сигнала у детей младшего школьного возраста показало, что функциональное созревание РС мозга разного уровня оказывает специфическое влияние на формирование активационного и мотивационного компонентов зрительного внимания. Дети, на ЭЭГ которых были выявлены признаки дефицита неспецифической активации, демонстрировали увеличение времени обнаружения зрительного сигнала при всех вариантах межстимульного интервала по сравнению с контрольной группой и детьми с НФТС, более отчетливо выраженное в 9-10 лет. Кроме того, в этой группе детей меньше, чем в двух других группах было выражено возрастное (от 7-8 лет к 9-10 годам) сокращение времени реакции. Эти результаты свидетельствуют о зависимости

формирования активационного компонента внимания в младшем школьном возрасте от функционального созревания системы неспецифической активации РФ ствола головного мозга.

У детей с НФТС, в отличие от детей с ДНА не было выявлено относительной несформированности активационного компонента внимания. Напротив, время реакции обнаружено в этой группе в целом было либо сходно с наблюдаемым в контрольной (в 7-8 лет), либо даже более коротким (в 9-10 лет). Специфика организации зрительного внимания у детей с НФТС проявилась в особенностях влияния увеличения межстимульного интервала на скорость реагирования при появлении зрительного сигнала. Вместо возрастания скорости реакции, наблюдаемого в контрольной группе и группе с ДНА, обусловленного «подключением» мотивационного компонента внимания, эти дети демонстрировали замедление реакции, наиболее выраженное при максимальной предстимульной задержке (3 250 мс) в обеих возрастных группах, что указывает на неэффективность механизмов произвольного удержания внимания при функциональной незрелости фронто-таламической РС. Вместе с тем, тот факт, что у детей с НФТС в 7-8 лет замедление реакции отмечалось уже при средних значениях межстимульного интервала (3000 мс), а в 9-10 лет при средних значениях предстимульной задержки время реакции сокращалось и увеличивалось только при максимальных значениях, позволяет сделать вывод о положительной возрастной динамике в формировании мотивационного компонента внимания в этой группе детей.

Организация избирательного зрительного внимания (информационный компонент)

Статистическая обработка данных исследования избирательного зрительного внимания в ситуации опознания иерархической буквы осуществлялась с помощью модели RM ANOVA, в которой переменными служили значение времени реакции (ВР) при правильном опознании. В качестве внутри-индивидуальных факторов (within-subjects) рассматривались: ситуация (2 уровня – глобальный аспект / локальный аспект), стимул (3 уровня – совпадающий / конфликтный / нейтральный); в качестве меж-индивидуальных факторов (between-subjects) – функциональное состояние РС мозга (РС) (3 уровня – Норма / ДНА / НФТС) и возраст (2 уровня – 7-8 лет и 9-10 лет). Дискриптивная статистика для ВР во всех группах представлена в таблице 3.

Таблица 3. Средние значения и стандартные отклонения времени реакции в ситуации правильного опознания иерархической буквы у детей 7-8 и 9-10 лет с разным функциональным состоянием РС мозга

			Контроль		ДНА		НФТС	
ВОЗРАСТ	СИТУАЦИЯ	СТИМУЛ	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
7-8 лет	Опознание глобального аспекта	совпадающий	608.06	154.41	634.48	137.07	535.78	164.12
		конфликтный	625.99	157.61	656.66	152.18	558.03	162.47
		нейтральный	609.86	132.64	620.80	133.10	520.78	161.29
	Опознание локального аспекта	совпадающий	813.01	223.70	798.92	173.24	842.48	158.06
		конфликтный	937.02	244.91	935.24	240.75	991.30	172.17
		нейтральный	831.64	215.98	880.85	202.29	894.50	154.43
9-10 лет	Опознание глобального аспекта	совпадающий	550.28	103.63	508.20	148.61	476.00	45.48
		конфликтный	548.06	86.20	528.80	179.12	499.00	92.99
		нейтральный	542.83	103.15	531.40	167.11	514.00	141.83
	Опознание локального аспекта	совпадающий	718.33	144.99	687.80	253.12	625.00	129.68
		конфликтный	800.04	159.11	724.00	277.15	677.86	174.39
		нейтральный	721.33	174.94	692.90	257.16	599.71	150.90

На основании дисперсионного анализа для испытуемых всех групп были выявлены общие закономерности организации зрительного избирательного внимания в ситуации опознания иерархической буквы. Обнаружено высоко значимое влияние факторов “ситуация”, “стимул” и их взаимодействия по всей выборке (таблица 4). Данные представленные в таблице 3 показывают, что время реакции при опознании локального аспекта буквы выше, чем при опознании глобального, что особенно отчетливо проявляется при восприятии конфликтных стимулов. В свою очередь время опознания конфликтных стимулов во всех случаях выше, чем совпадающих и нейтральных. Причем различия в реакции на разные виды стимулов больше выражены в ситуации опознания локального аспекта буквы. Сходные закономерности, согласно нашим предыдущим исследованиям, наблюдаются и у взрослых (Крупская, Мачинская, 2005). Эти результаты соответствуют имеющимся в литературе данным (Yovel et al., 2001).

Таблица 4. Результаты RM ANOVA по всей выборке испытуемых

Фактор	df	F	sig
Ситуация	1	172,510	,000
Ситуация * PC	2	,565	,570
Ситуация * Возраст	1	10,373	,002
Ситуация * PC* Возраст	2	2,762	,068
Еггг (Ситуация)	99		
Стимул	2	34,429	,000
Стимул * PC	4	,608	,658
Стимул * Возраст	2	4,685	,010
Стимул * PC * Возраст	4	,128	,972
Еггг(Стимул)	198		
Ситуация * Стимул	2	17,466	,000
Ситуация * Стимул * PC	4	,877	,479
Ситуация * Стимул * Возраст	2	5,190	,006
Ситуация * Стимул * PC * Возраст	4	1,151	,334
Еггг (Ситуация*Стимул)	198		

Межиндивидуальный фактор «возраст» также оказывает высоко значимое влияние на время правильного опознания различных аспектов иерархической буквы во всех ситуациях у детей с различным состоянием PC мозга. Общим для всех детей является сокращение времени правильного опознания к 9-10 годам. Учитывая аналогичные данные, полученные при исследовании неспецифического внимания у тех же детей (см. предыдущий раздел результатов), можно предположить, что такая возрастная динамика отражает повышение возбудимости коры в целом и увеличение скорости обработки сенсорной информации. Согласно данным, представленным в таблицах 3 и 4, в период младшего школьного возраста изменяются не только наиболее общие свойства процессов переработки информации, но также происходят перестройки в организации избирательного внимания. Об этом свидетельствует наличие значимое взаимодействий факторов «ситуация» x «возраст», «стимул» x

«возраст». Кроме того наличие близкого к значимому взаимодействия «ситуация»х«возраст»х«состояние РС мозга» дает основание предполагать различия в организации избирательного зрительного внимания и особенности его возрастной динамики у детей с функциональной незрелостью РС мозга разного уровня. Для анализа этого предположения были проведены дополнительные статистические процедуры – RM ANOVA отдельно для детей 7-8 и 9-10 лет (таблица 5), а также анализ возрастной динамики времени опознания иерархической буквы в группах детей с различным уровнем функциональной зрелости РС мозга.

Таблица 5. Результаты RM ANOVA для детей 7-8 т 9-10 лет

Возраст	7-8 лет			9-10 лет		
Факторы	df	F	sig	df	F	sig
Ситуация	1	194,152	,000	1	49,520	,000
Ситуация * РС	2	4,878	,011	2	,534	,591
Еггор(Ситуация)	67			32		
Стимул	2	44,157	,000	2	8,669	,000
Стимул * РС	4	,473	,755	4	,507	,731
Еггор(Стимул)	134			64		
Ситуация * Стимул	2	22,478	,000	2	8,323	,001
Ситуация * Стимул * РС	4	1,058	,380	4	1,593	,187
Еггор(Ситуация*Стимул)	134			64		

При исследовании детей 7-8 лет с различным уровнем функциональной зрелости регуляторных систем мозга помимо описанных выше характерных для всей выборки значимых влияний факторов «ситуация» и «стимул» и их взаимодействия, выявилось значимое влияние взаимодействия факторов “ситуация” и “функциональное состояние РС» (таблица 5).

При опознании локального аспекта буквы максимальное время реакции отмечалось в группе детей с НФТС, в этой же группе при опознании глобального аспекта буквы время реакции было меньше, чем в двух других группах (таблица 3).

Для сопоставления эффективности избирательного внимания у детей с разным уровнем функциональной зрелости РС мозга были проанализированы разности во времени реакции опознания локального и глобального аспектов буквы (рис. 1). Увеличение разницы в скорости опознания локального и глобального аспектов стимула отражает снижение эффективности избирательного внимания. У детей 7-8 лет при попарном сравнении в группах с различным состоянием РС с помощью t-критерия были выявлены значимо более высокие значения этого показателя у детей с НФТС по сравнению с контрольной группой для всех типов стимула (совпадающего, конфликтного и нейтрального): $p = 0,037$; $p = 0,036$; $p = 0,002$ соответственно, а также по сравнению с группой ДНА: $p = 0,011$; $p = 0,024$; $p = 0,023$. Значимых различий между контрольной группой и группой ДНА не выявлено.

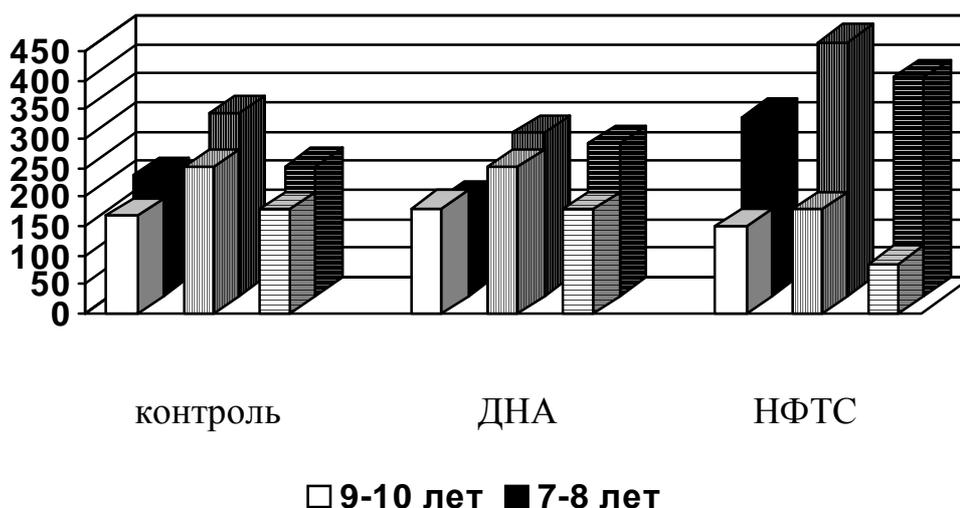


Рис.1. Распределение разностей во времени реакции при правильном опознании локального и глобального аспектов буквы у детей 7-8 и 9-10 лет в зависимости от вида стимула (незаштрихованный – совпадающий, вертикальная штриховка – конфликтный, горизонтальная штриховка – нейтральный) и состояния РС мозга

Полученные результаты свидетельствуют о меньшей эффективности процессов произвольного избирательного внимания у детей 7-8 лет с функциональной незрелостью фронто-таламической регуляторной системы, что согласуется с результатами, полученными нами ранее, в ходе нейропсихологических исследований и электрофизиологических экспериментов (Мачинская, Семенова 2004; Мачинская, 2006). Трудности при распознавании локальных аспектов фигуры в этой группе детей могут быть связаны с несформированностью нейрофизиологических механизмов нисходящей (top-down) избирательной модуляции корковых зон в соответствии с перцептивной задачей.

Дисперсионный анализ RM ANOVA времени правильного опознания иерархической буквы у детей 9-10 лет не выявил достоверного влияния уровня функциональной зрелости РС мозга на скорость реакции ни в качестве основного эффекта, ни в качестве взаимодействующего фактора (таблица 5).

Попарные сравнения в группах также не выявили никаких достоверных различий анализируемых параметров. В этом возрасте дети с незрелостью ФТС не демонстрируют замедленные скорости опознания локального аспекта буквы по сравнению с детьми других групп. Разница между временем опознания маленькой и большой буквы (рис.1) у детей 9-10 лет с НФТС также не превышает соответствующие параметры реагирования в контрольной группе и в группе с ДНА. Отсутствие достоверных различий в организации избирательного зрительного внимания у детей 9-10 лет с различным уровнем функциональной зрелости РС мозга полностью согласуется с результатами нейропсихологического обследования функций программирования и контроля деятельности (Семенова, 2005). В диссертационной работе О.А. Семеновой показано, что выраженные трудности произвольной организации деятельности, в особенности тех ее аспектов, которые связаны с ее избирательностью, выявляются у детей с незрелостью ФТС в 7-8 лет и отсутствуют в 9-10 лет.

Анализ возрастных изменений времени опознания иерархической буквы в группах детей различным уровнем функциональной зрелости РС мозга (результаты RM

ANOVA представлены в таблице 6) указывает на то, что «нивелирование» различий в организации зрительного внимания у этих детей связано с особенностями возрастных перестроек.

Таблица 6 Результаты RM ANOVA для детей с разным состоянием РС мозга

группы	Контроль			ДНА			НФТС		
	df	F	sig	df	F	sig	df	F	sig
Факторы									
Возраст	1	919,940	0,000	1	5,459	0,027		590,679	,000
Ситуация	1	94,900	0,000	1	34,142	0,000	1	63,051	0,000
Ситуация * Возраст	1	1,030	0,316	1	0,618	0,438	1	13,250	0,001
Еггog(Ситуация)	39			29			31		
Стимул	2	19,287	0,000	2	8,852	0,000	2	10,131	0,000
Стимул * Возраст	2	1,249	0,292	2	1,998	0,145	2	1,454	0,242
Еггog(Стимул)	78			58			62		
Ситуация * Стимул	2	17,814	0,000	2	3,313	0,052	2	4,221	0,019
Ситуация * Стимул * РС	2	0,219	0,804	2	2,284	0,70	2	2,425	0,099
Еггog(Ситуация*Стимул)	78			58			62		

Наряду с тем, что во всех трех группах фактор «возраст» оказался значимым в качестве главного эффекта, что, как отмечалось выше, связано с уменьшением времени реакции во всех экспериментальных ситуациях, только у детей с НФТС отмечено значимое взаимодействие факторов «ситуация» и «возраст». Это взаимодействие отразило более выраженное возрастное повышение скорости реагирования в ситуации опознания маленькой буквы, чем в ситуации опознания большой буквы (рис.1) в этой группе детей. Также только в группе детей с НФТС с помощью t- критерия выявлено значимое сокращение с возрастом разницы во времени опознания локального и глобального аспекта иерархической буквы (рис.1) для всех видов стимулов: совпадающего ($p=0,031$), конфликтного ($p = 0,003$) и нейтрального ($p = 4,167, p = 0,000$). Выраженные прогрессивные изменения временных параметров избирательного зрительного опознания у детей с НФТС при переходе от 7-8 к 9-10 года свидетельствуют о повышении эффективности информационного компонента внимания. Сходные изменения у детей контрольной группы и у детей с ДНА в этом возрастном диапазоне не выявляются. Возможно, это связано с тем, что прогрессивные изменения нейрофизиологических механизмов селективного произвольного внимания, обусловленные созреванием ФТС (Мачинская и соавт., 1997) и формированием избирательного взаимодействия корковых зон в левом полушарии (Thatcher, 1994) происходят в норме в более раннем возрасте (в 6-7 лет). О повышении эффективности произвольного избирательного внимания у детей в период между 6 и 7 годами и отсутствии выраженных различий между детьми 7 лет и детьми старших возрастных групп (8 и 9 лет) сообщается в работе (Rueda, 2004). Как свидетельствуют данные о возрастной динамике межцентрального взаимодействия корковых зон в покое (Thatcher, 1994) и в ситуации произвольного предстимульного внимания (Мфчинская, 2006) в возрасте 9-10 лет происходят новые преобразования системной функциональной организации мозга, связанные с опережающим формированием корковых связей в правом полушарии и «вовлечением» структур этого полушария в процессы избирательной подготовки к деятельности. Качественные изменения

нейрофизиологических механизмов произвольного внимания, вероятно, влекут за собой временное снижение его эффективности, и в этом проявляется общая закономерность развития психических функций в онтогенезе (Сергиенко, 2003).

Полученные результаты свидетельствуют о гетерохронии и неравномерности формирования произвольного внимания у детей младшего школьного возраста, что в значительной степени определяется возрастными и индивидуальными особенностями функционального созревания коры и регуляторных структур головного мозга.

Заключение

Функциональное созревание регуляторных систем головного мозга играет важную роль в формировании различных компонентов зрительного внимания у детей младшего школьного возраста. У детей с незрелостью системы неспецифической активации РФ ствола головного мозга в наибольшей степени страдает активационный компонент внимания, что отражается в увеличении времени реакции при простом обнаружении зрительного сигнала, причем эта особенность отмечается как в 7-8, так и в 9-10 лет. Вместе с тем, дефицит неспецифической активации не оказывает отрицательного влияния на формирование мотивационного и информационного компонентов внимания. У детей с функциональной незрелостью фронто-таламической системы в возрасте 7-8 лет, напротив, поддержание произвольного внимания и его избирательность страдают в наибольшей степени. Это проявляется в снижении скорости простого обнаружения зрительного сигнала при увеличении временного интервала между стимулами и в трудностях опознания локального аспекта иерархической буквы в ситуации избирательного зрительного внимания. К 9-10 годам у в этой группе детей наблюдаются существенные прогрессивные изменения временных параметров зрительного восприятия, связанные с повышением эффективности как мотивационного, так и, еще в большей степени, информационного компонентов внимания.

Проведенное исследование позволило выявить общие для всех обследованных детей возрастные изменения параметров зрительного внимания как в ситуации простого обнаружения, так и в ситуации опознания различных аспектов иерархической буквы: у всех детей от 7-8 к 9-10 годам сокращается время реакции, что обусловлено увеличением уровня возбудимости коры и ускорением процессов обработки информации.

Работа выполнена при поддержке Российского гуманитарного научного фонда (грант № 06-06-00099а)

Литература:

1. Ахутина Т.В. Трудности письма и их нейропсихологическая диагностика / Письмо и чтение: трудности обучения и коррекция. Москва-Воронеж, 2001. С. 7-20
2. Батуев А.С. Высшие интегративные системы мозга. Л.: Наука, 1981. 253 с.
3. Выготский Л.С. Детская психология. Под ред. Д. Б. Эльконина. М.: // Собрание сочинений: в 6-ти т. Т. 4. М: Педагогика, 1984. 432 с.
4. Джаспер Г.Г. Современные представления о восходящем активирующем действии ретикулярной системы // Ретикулярная формация мозга / Под ред. Джаспера Г.Г., Поктора Л.Д., Найтона и др. М.: Медгиз, 1962. С.286-297.
5. Крупская Е.В., Мачинская Р.И. Организация избирательного зрительного внимания у детей 7-8 лет с различной степенью зрелости регуляторных систем мозга // Культурно-исторический подход и исследование процессов социализации. Материалы чтений памяти Л.С. Выготского. 5-ая международная

- конференция. Москва, 15 -17 ноября 2004. Сборник научных трудов.т.2. М: РГГУ, 2005. С. 269-279.
6. Мачинская Р.И. Нейрофизиологические механизмы произвольного внимания (Аналитический обзор) // Журн. высш. нервн. деят., 2003, Т. 53. № 2. С. 133-150.
 7. 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.
 8. Мачинская Р.И., Дубровинская Н.В. Мозговое обеспечение информационных и мотивационных компонентов произвольного внимания у детей младшего школьного возраста / Лурия и психология XXI века. Доклады второй международной конференции, посвященной 100-летию А.Р. Лурия . Москва: Факультет психологии МГУ, «Смысл», 2003. С. 309-318
 9. Мачинская Р.И., Лукашевич И.П., Фишман М.Н. Динамика электрической активности мозга у детей 5-8 летнего возраста в норме и при трудностях обучения // Физиология человека. 1997. Т.23. N 5. С. 5-11.
 10. Мачинская Р.И., Семенова О.А. Особенности формирования высших психических функций у младших школьников с различной степенью зрелости регуляторных систем мозга // Журнал эволюционной биохимии и физиологии, 2004. Т.40. № 5. С. 427-435.
 11. Полонская Н.Н. Нейропсихологические особенности детей с разной успешностью обучения // А.Р.Лурия и психология XXI века (доклады второй международной конференции, посвященной 100-летию со дня рождения А.Р.Лурия) / Под ред. Т.В. Ахутиной и Ж.М.Глоzman. М, 2003. С. 206-214.
 12. Семенова О.А. Формирование функций регуляции и контроля в младшем школьном возрасте. Автореферат канд. дис. М., 2005.
 13. Сергиенко Е.А. Динамика психического развития: онтогенетический и психогенетический аспекты // А.Р. Лурия и психология XXI века / Под ред. Т.В. Ахутиной и Ж..М. Глоzman. М: Факультет психологии МГУ, «Смысл», 2003. С. 336-340.
 14. Соколова Л. С., Мачинская Р. И Формирование Функциональной организации коры больших полушарий в покой у детей младшего школьного возраста с различной степенью зрелости регуляторных систем мозга. Сообщение 1. Анализ спектральных характеристик ЭЭГ в покое // Физиология человека, 2006, Т..32. №5. С. 5-14.
 15. Фарбер Д.А., Бетелева Т.Г., Горев А.С., Дубровинская Н.В., Мачинская Р.И. Функциональная организация развивающегося мозга и формирование когнитивной деятельности // Физиология развития ребенка / Под ред. Д.А. Фарбер и М.М. Безруких. М.: Образование от А до Я, 2000. С. 82-104
 16. Brunia С.Н. Neural aspects of anticipatory behavior // Acta Psychol. (Amst). 1999. V. 101. P.213-242.
 17. Coull J.T. Neural correlates of attention and arousal: insights from electrophysiology, functional neuroimaging and psychopharmacology. // Progress in Neurobiology, 1998. V. 55. P..343-361.
 18. D’Esposito M. From cognitive to neural models of working memory // Phil. Trans. R. Soc. B , 2007, V. 362. P. 761–772.
 19. Gazzaley A., Rissman J., and D’Esposito M. Functional connectivity during working memory maintenance // Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience, 2004. V. 4. N 4. P. 580-599.
 20. Kahana M.J., Seelig D., Madsen J.R. Theta return // Current Opinion in Neurobiology. 2001. V. 11. P. 739-744.

21. Navon D. Forest before trees: the precedence of global features in visual perception // *Cognitive Psychology*, 1977. V.9. P. 353-383
22. Posner M.I. Attention in cognitive neuroscience: an overview // *The cognitive neurosciences*. /Gazzaniga M.S. (Ed.). Cambridge, MA, USA: MIT Press, 1994. P. 615-624.
23. Pulkin B.V. Butterfly: programming without programming. System for professional psychology // *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 1996, V..28. N 4. P. 577-583
24. Rueda M.R., Fan J., McCandliss B.D., Halparin J.D., Gruber D.B., Lercari L.P., Posner M.I. Development of Attentional Networks in Childhood // *Neuropsychologia*, 2004. V. 42. P. 1029-1040
25. Thatcher, R.W. Cyclic Cortical Re-Organization: Origins of Human Cognitive Development. In: G. Dawson and K. Fischer (Eds.), *Human Behavior and the Developing Brain*. Guilford Press: New York, 1994. P. 232-266
26. Underwood G. The Stroop effect // *Attention and Memory*. Oxford: Pergamon, 1976, pp. 243-247.
27. Yovel G, Levy J, Yovel I. Hemispheric asymmetries for global and local visual perception: effects of stimulus and task factors // *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, 2001. V.27. N 6. pp. 1369-1385.
28. Zimmermann P., North P., Fimm B., *Diagnosis of Attentional Deficits: Theoretical considerations and presentation of a test battery*//*Developments in the Assessment and Rehabilitation of Brain-Damaged Patients. Perspectives from a European Concerted Action/ Franz J. Stachowiak (Ed.) Gunter Narr Verlag Tübingen. 1993. P.3-15.*