

Статья опубликована в журнале «Физиология человека», 2007, том 33, №3, с. 115-127.

ФОРМИРОВАНИЕ ПРОИЗВОЛЬНОЙ РЕГУЛЯЦИИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ И ЕЕ МОЗГОВЫХ МЕХАНИЗМОВ В ОНТОГЕНЕЗЕ.

Семенова О.А.

Институт возрастной физиологии РАО, Москва

Работа поддержана РГНФ (проект №06-06-00099а)

В статье представлен обзор литературы по вопросу формирования произвольной регуляции деятельности в онтогенезе. Рассматривается связь развития различных компонентов произвольной регуляции деятельности и созревания головного мозга и, в первую очередь, его лобных долей, которые традиционно считаются основным мозговым субстратом программирования, регуляции и контроля деятельности человека, на разных этапах развития.

Ключевые слова: произвольная регуляция деятельности, управляющие функции, функции программирования, регуляции и контроля, онтогенез, лобные доли мозга.

Проблема развития мозговых механизмов произвольной регуляции деятельности или управляющих функций в онтогенезе является интересной и мало разработанной. Традиционным является представление о связи произвольной регуляции с деятельностью лобных долей головного мозга [1]. А.Р. Лурия ввел понятие «III блок мозга» или «блок программирования, регуляции и контроля деятельности», объединив под ним структуры, ответственные за реализацию процессов управления поведением [2]. Эти структуры включали, в первую очередь, префронтальные области коры больших полушарий. Несмотря на то, что сам А.Р. Лурия в одной из поздних работ [3] рассматривал идеи о существовании сложной функциональной системы взаимоотношений префронтальной коры с другими областями мозга, подкорковыми и стволовыми образованиями, обеспечивающей программирование, регуляцию и контроль психической деятельности, систематические исследования связи других структур мозга и управляющих функций не проводились. Не ясно, существует ли какая-либо специфика нарушения этих функций при повреждении этих структур по сравнению с эффектами повреждения префронтальной коры. Существует ряд исследований, показывающих, что дефицит произвольной регуляции обнаруживается при поражениях мозга не лобной и не корковой локализации у взрослых [4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13]. Онтогенетические же исследования в большинстве своем основываются на предположении о том, что кора лобных областей является единственным мозговым субстратом управляющих функций [14, 15]. Во многом такая ситуация связана с дефицитом методов

исследования, позволяющих изучать взаимосвязь мозговых структур и психических функций в процессе развития.

Также существенной проблемой исследования произвольной регуляции деятельности является отсутствие единства в представлениях исследователей о ее компонентном составе и, вслед за этим, четкой методологии.

Задача данного обзора состоит в сопоставлении сведений о формировании произвольной регуляции деятельности и созревании мозга и, в первую очередь, его лобных долей от рождения до подросткового возраста для того, чтобы показать сложность и неоднозначность такого взаимодействия.

Процессы регуляции поведения проходят долгий путь развития в онтогенезе. Уже со второго месяца жизни ребенок не является реактивным существом, регулируя свое поведение, проявляя собственную активность в общении со взрослыми и исследовании окружающего мира, постепенно развертывая познавательную, коммуникативную, а несколько позже, во втором полугодии жизни, и предметно-манипулятивную деятельность [16]. Ребенок первого года жизни регулирует свое поведение и поведение взрослых, удовлетворяя потребность в эмоциональном контакте в первом полугодии и желание действовать совместно со взрослым во втором полугодии, используя для реализации этих побуждений экспрессивно-мимические средства, крик, позы, жесты. Формирование высших, произвольных форм регуляции поведения, дающих возможность реализовывать сложные, целенаправленные виды деятельности, начинается в более позднем возрасте и тесно связано с развитием регулирующей функции речи [1, 2, 17].

Ранние исследования мозгового обеспечения управляющих функций находились под влиянием взглядов на фронтальные зоны коры как "функционально молчащие" в младенческом возрасте и раннем детстве, в связи с чем процессы произвольной регуляции деятельности считались не поддающимися оценке вплоть до второго десятилетия жизни [18]. Многочисленные последующие исследования показали неоправданность этой точки зрения.

Первый год жизни считается критическим для развития коры головного мозга вообще и для формирования ее фронтальных областей в частности. Причем развитие лобной коры характеризуется рядом особенностей, отличающих его от развития других мозговых структур. Исследователи отмечают, что уже к моменту рождения фронтальные отделы коры по ряду параметров оказываются более зрелыми по сравнению с другими областями. Так, в лобной области новорожденного раньше, по сравнению с другими полями коры, отмечаются признаки вертикальной колончатой организации нейронов [19, 20, 21]. К 5-6 месяцам отмечается увеличение ширины пучков радиальных волокон, в то время как апикальные дендриты нейронов демонстрируют тенденцию к близкому расположению [19]. Раннее морфологическое созревание

этой области в младенческом возрасте может свидетельствовать о ее потенциальной готовности к вовлечению в построение функциональных систем в этот период развития.

Исследование электроэнцефалограммы покоя ребенка первого года жизни свидетельствует об отсутствии устойчивого баланса синхронизирующих и десинхронизирующих влияний со стороны подкорковых структур [22].

Данные исследования скорости метаболизма во фронтальных отделах коры, полученные методом позитронно-эмиссионной томографии (ПЭТ), позволяют судить о функциональной активности этих областей в онтогенезе [23]. Авторы отмечают существование связи между возрастанием метаболизма нейроанатомических структур и появлением соответствующих им функций. Фронтальная кора, согласно их данным, оказывается менее активной по сравнению с другими мозговыми областями в первом полугодии жизни, а к 6 месяцам ее активность несколько возрастает. Существенное увеличение скорости метаболизма отмечается около 8 месяцев жизни. По мнению исследователей, такой рост связан с появлением высших корковых и когнитивных функций, существенными изменениями в поведении младенца. Эта стадия также совпадает с ростом дендритных полей [24] возрастанием плотности капиллярной сети [25] и увеличении количества синапсов [26] во фронтальной коре человека.

Возраст 6-8 месяцев является критическим для развития психики, так как связан с появлением большого числа новообразований в поведении ребенка. Это – расширение арсенала экспрессивных средств: развитие мимики, появление выразительных коммуникативных жестов, активизация лепета и возникновение разнообразных интонированных голосовых реакций. Отмечается появление новых возможностей, основывающихся на интеграции различных психических функций. К таким возможностям, в частности, относятся зрительно-моторные координации [27]. С этим возрастом связывают начальный этап развития понимания обращенной речи [27, 28]. Этот период характеризуется изменениями в мотивационной сфере: появлением новой "деловой" потребности и сменой ведущей деятельности с эмоционального общения со взрослым на предметно-манипулятивную деятельность [16], возникновением эндогенных, связанных с внутренними побуждениями, форм внимания и появлением первых отсроченных реакций [29].

В возрасте 6-8 месяцев также удается выявить первые признаки возникновения речевого управления действиями ребенка. На этом этапе развития действие разделено между ребенком и взрослым [30], который берет на себя функцию произвольной регуляции поведения младенца. По данным С.В. Яковлевой [31], ребенок 6-8 месяцев способен выполнять простейшие действия по инструкции взрослого (находить взором требуемый предмет). В то же время на этом возрастном этапе малыш легко отвлекается на различные раздражители окружающей обстановки, из-за чего часто не выполняет инструкцию.

Считается, что важнейшим звеном системы интегральной саморегуляции на ранних этапах онтогенеза являются эмоции. Признается отсутствие у младенца сложных форм когнитивного управления, а избирательность, направленность и интенсивность поведенческих реакций объясняются как функции эмоций, аффекта. Исследователи отмечают важную роль эмоциональных процессов в оптимизации состояний мозга для максимально эффективной обработки информации [32]. Показано, что положительные эмоции, возникающие в результате успеха антиципаторных усилий ребенка, могут служить эффективным механизмом системы внутреннего подкрепления обучения [33]. Считается, что именно положительные эмоции, возникающие у младенца второго полугодия жизни в связи с общением и совместной предметно-манипулятивной деятельностью со взрослым, стимулируют потребность ребенка в понимании речи и активном овладении ею [16].

Одним из нейрофизиологических коррелятов эмоциональных состояний человека является увеличение представленности на ЭЭГ тета-ритма с частотой 4-6 Гц [32], который генерируется в структурах лимбической регуляторной системы [34]. Некоторые исследователи отмечают тесные функциональные связи фронтальной коры человека и лимбической системы, объединяя эти области в общую кортиколимбическую схему и отводя лимбическим структурам роль в обеспечении внимания и аффектов, а префронтальной коре – в формировании и регуляции мотивации [35].

Возраст 6-8 месяцев является значимым как с точки зрения перестроек поведенческих реакций ребенка, так и с точки зрения изменения ЭЭГ паттернов тета-активности. В исследовании Т.А. Строгановой, Н.Н. Посикера [32] показано резкое возрастание спектра мощности реактивного частотного сегмента ЭЭГ в диапазоне тета-ритма в передних, преимущественно лобных областях коры и частоты и длительности эмоциональных реакций младенцев на речевые (в 6 месяцев) и игровые ситуационные (в 8 месяцев) стимулы.

Сопоставление вышеприведенных данных позволяет предположить, что возраст 6-8 месяцев является критическим в отношении как развития функций лобных отделов коры головного мозга, так и возрастания их роли в системе эмоционально-мотивационной регуляции поведения младенца. По всей видимости, основным механизмом организации поведенческих реакций на этом возрастном этапе является тесная функциональная взаимосвязь лимбической системы и префронтальных областей коры.

От 9 месяцев до года возможности ребенка растут, расширяется арсенал действий, которые он может выполнить по просьбе взрослого [31], но при этом его реакции носят нестойкий характер и часто не избирательны (если ребенка, у которого в руке находится кольцо от пирамидки, попросить снять кольцо, то вместо этого он кольцо оденет). Яркие предметы окружающей обстановки оказываются для него более привлекательными, а его действия часто определяются

раз возникшим стереотипом. Только к началу второго года жизни становится возможным отсроченное выполнение инструкции. С.В. Яковлева отмечает, что стойкая возможность подчинять свои непосредственные реакции словам взрослого появляется к концу преддошкольного периода, а к концу дошкольного возраста ребенок научается управлять своим поведением через собственную внутреннюю речь.

Согласно А. Diamond [36, 37], возраст 9-12 месяцев является значимым в развитии таких способностей ребенка как подавление непосредственных реакций, преодоление зависимости от ярких характеристик внешней среды. Эти данные получены автором при исследовании ситуации достижения ребенком привлекательного объекта в обход направления взора. В 9 месяцев направление взора оказывает доминирующее влияние на действия ребенка. Даже если малышу помогают дотронуться до игрушки, помещенной в прозрачный ящик, через отверстие в боковой стенке, показывая эффективную стратегию действия, в следующий раз он все равно пытается достать предмет через закрытую, но находящуюся на линии взора сторону. В 12-месячном возрасте эта задача уже легко решается ребенком.

Способность сопротивляться отвлечению является одним из важнейших компонентов управляющих функций. Можно предположить, что появление этой способности связано с «встраиванием» лобных долей в функциональные системы за счет созревания их связей с другими областями мозга. Так М.А. Bell и N.A. Fox [38] провели лонгитюдное исследование младенцев с 7-го по 12-й месяц жизни. Игрушка на глазах у ребенка помещалась в одну из двух коробок и, после некоторой задержки, ребенку предлагалось угадать, где находится привлекательный объект (парадигма “A-not-B”). Перед тестированием все дети проходили электроэнцефалографическое исследование. Было показано, что возможность ребенка длительно произвольно удерживать внимание к целевому объекту, напрямую связана со степенью развития электрической активности во фронтальных областях коры и с возрастанием когерентности между передними и задними областями коры во втором полугодии жизни.

Возраст от 1 года до 3 лет. С.В. Яковлева [31] подробно исследовала условия, при которых возможно формирование простейших видов произвольного действия у детей 1,5-3,5-летнего возраста. Она пришла к выводу о том, что система прямых словесных приказов до 3 лет оказывает только побуждающее действие, не приводя к возникновению тормозных реакций остановки начавшегося движения. Попытки выработки в лабораторных условиях условной двигательной реакции на сигнал по предварительной речевой инструкции позволили автору описать ряд особенностей, характерных для речевой регуляции детей младшей (1,5-2 года) и старшей (2-3 года) групп. Выяснилось, что у детей младшей группы инструкция «когда загорится огонек, нажми на шарик» не приводила к появлению требуемой двигательной реакции и, в результате, не возникала приуроченность движения к сигналу, а если и удавалось добиться от ребенка

двигательной реакции (нажатие на баллон), то она в дальнейшем не тормозилась. Торможение действия удавалось добиться лишь в ситуациях, когда это действие приводило к определенному зрительному эффекту (лампочка гасла) или же когда вводилась дополнительная тормозная часть инструкции («когда будет огонек, сожми мячик и положи ручку на колено»). В последнем случае переход ко второму действию тормозил первое. Даже в тех случаях, когда удавалось выработать четкие организованные реакции, возвращение к первоначальному варианту введения инструкции часто приводило к распаду действия, а исчезновение неадекватных межсигнальных реакций имело неустойчивый характер. В этих же экспериментах было показано, что собственная речь ребенка не могла служить регулятором его поведения, а объединение речевых и двигательных реакций приводило к тому, что те и другие взаимно тормозили друг друга.

В старшей группе картина была несколько иной. Двигательные реакции, приуроченные к сигналу, у этих детей удавалось выработать в тех же экспериментальных условиях, что и в младшей группе, но при этом возвращение к первоначальным условиям опыта не приводило к распаду движений и реакции, приуроченные к сигналу, были четкими, координированными. Фактически ребенок 2-3 лет уже мог воспринять систему правил, задаваемых речевой инструкцией, но только после того, как проходил наглядно-действенную тренировку.

А.Р. Лурия в исследованиях, проведенных совместно с А.Г. Поляковой [39], показал, что обозначающая, номинативная функция речи в возрасте 1,5-2 лет оказывается прочней, чем ее регулирующая функция. Ребенок, знающий названия предметов, будет легко их находить и давать взрослому до тех пор, пока инструкция не вступит в конфликт с условиями окружающей среды. В этой ситуации действием младенца будет руководить не слово, а яркие, привлекательные характеристики объекта. Подобная импульсивность исчезает примерно к 1,5 годам. Подобным же образом регулирующая роль слова может быть легко нарушена инертностью раз возникшей связи. Данные А.Р. Лурия и А.Г. Поляковой также продемонстрировали, что в раннем детском возрасте формирование регулирующей роли слова отстает от формирования регулирующего действия наглядного сигнала.

М.И. Posner и М.К. Rothbart [40] показали, что в течение третьего года жизни способность решать конфликтные задания претерпевает существенные изменения. Детям предлагалось реагировать на появление на одной из сторон экрана предмета нажатием на один из двух ключей, который в одной серии находился с той же стороны от ребенка, что и объект, а в другой серии – с противоположной стороны. Двухлетние дети были склонны повторять предыдущий ответ, но, даже, несмотря на это, исследователи выявили значительную разницу в выполнении двух серий: в конфликтном задании дети совершали больше ошибок. В конце третьего года и в начале четвертого дети уже демонстрировали принципиально иной паттерн ответов, эффективно решая обе задачи и демонстрируя ожидаемое замедление времени реакции в конфликтной ситуации.

Таким образом, только к 2,5-3 годам развития ребенок становится способным подчинять свои действия инструкции взрослого, а ее регулирующая роль приобретает стойкий характер.

В психологии возраст 3 лет считается кризисным для развития психики ребенка [41]. К этому возрасту центральное место в психическом развитии ребенка начинает занимать речь [27].

Этот же возрастной этап морфологи признают существенным в отношении развития коры лобных долей головного мозга ребенка [19]. От 2 до 3 лет отмечаются существенные изменения в ассоциативных слоях коры, происходит структурное оформление нейронных комплексов и бурное формирование пучков волокон. Это обуславливает увеличение возможностей лобной коры в приеме и интеграции импульсов, поступающих как от подкорковых отделов головного мозга, так и от других областей коры, а также в осуществлении их влияний на различные мозговые структуры. По данным Н.Т. Chugani et al. [23], в обсуждаемом возрасте происходят существенные изменения скорости локального метаболизма во всех мозговых регионах. Если к 2 годам эти показатели примерно соответствуют показателям скорости метаболизма у взрослых, то к 3-4 годам их значения существенно превышают таковые у взрослого человека. В лобной коре скорость локального метаболизма после 2 лет возрастает практически в 2 раза и далее сохраняет свои значения вплоть до 9-летнего возраста. Также в возрасте от 2 до 3 лет число синапсов в префронтальной коре достигает максимума [26, 42].

Согласно данным нейрофизиологических исследований, развитие нейронной организации коры ассоциативных областей создает морфологический субстрат для усложнения ритмической структуры ЭЭГ. Особенно значимые изменения отмечаются к 3 годам, что связано не только с морфо-функциональным созреванием коры, но и с усилением влияния глубинных синхронизирующих структур [22, 43]. В спектральных оценках ЭЭГ детей этого возраста растет составляющая в диапазоне тета-ритма, что связано с формированием синаптического и волоконного аппарата, обеспечивающего распространение подкорковых влияний на кору. Исследования особенностей зрительного восприятия методом вызванных потенциалов показывают, что лобные области коры в 3-4-летнем возрасте вовлекаются в процесс восприятия, но их участие в сенсорном анализе зрительных стимулов не имеет специализированного характера [44, 45].

Н.А. Бернштейн [46], исследуя развитие координации движений в онтогенезе, отмечает, что возраст 3 лет является важным периодом анатомического созревания высших моторных систем ребенка. В этом периоде появляются и начинают возрастать как в количественном, так и в качественном отношении движения уровня предметных действий. Н.А. Бернштейн обозначает этот уровень как чисто корковый, теменно-премоторный, требующий для своего функционирования наличия развитых связей с пирамидной и экстрапирамидной системами.

Психологические данные демонстрируют между 2 и 3 годами прогресс в развитии способности руководствоваться правилами, заданными в инструкции (усваивать программы деятельности), и способности сопротивляться отвлечению, которая теперь оказывается устойчивой даже в конфликтной ситуации, когда условия задачи провоцируют к действию, противоположному тому, которое требуется инструкцией (нажать на левый ключ, когда сигнал появляется справа и наоборот).

Морфологические и физиологические данные свидетельствуют о том, что к 3 годам происходят изменения, связанные как с формированием нейронных взаимодействий внутри лобной коры, так и с развитием ее связей с другими областями и структурами. В то же время лобные доли еще не играют специализированной роли в осуществлении деятельности.

Дошкольный возраст (от 3 до 7 лет). Как уже было показано, возраст 3 лет является переломным для психического развития ребенка. В этом возрасте происходят существенные изменения в формировании регулирующей функции речи. В исследованиях, проведенных А.Р. Лурия [17] и Е.В. Субботским [1975, цит. по 17] было показано, что только после 3 лет ребенок становится окончательно способным осуществлять свои действия даже в тех случаях, когда инструкция вступает в конфликт с непосредственным впечатлением. В то же время, когда инструкция предполагает выполнение программы последовательно развертывающихся «асимметричных» действий [В.В. Лебединский; Е.В. Субботский, цит. по 17], выполнение ее ребенком 3-3,5 лет оказывается подверженным влиянию инертного стереотипа. Только к 4-4,5 годам выполнение «асимметричной» программы становится доступным ребенку.

В работах А.В. Запорожца и сотрудников [47] было показано, что возможность формирования произвольного действия в дошкольном возрасте проходит ряд этапов и зависит от сложности задачи и ведущей афферентации, на которую опирается произвольное действие.

Как было уже отмечено, на ранних этапах развития ребенка регулирующая роль речи уступает регулирующему влиянию непосредственных, наглядных сигналов. В исследованиях А.В. Запорожца и сотрудников было показано, что в дошкольном возрасте роль слова, по сравнению с непосредственными воздействиями, возрастает, не только абсолютно, но и относительно. При этом если в качестве ведущей при организации движения выступает зрительная афферентация, то возможность речевой регуляции возникает сравнительно раньше, чем при кинестетической ведущей афферентации. В исследованиях Т.В. Ендовицкой [1955, цит. по 47] ребенку предлагался ряд геометрических фигур. Испытуемый мог, с помощью нажатия на пневматический ключ, указать на ту или иную фигуру. Результат своих действий ребенок воспринимал зрительно. Простая инструкция, требующая указать на определенную фигуру, выполнялась одинаково успешно детьми всех возрастов (от 3 до 7 лет). Когда же ребенку предлагалась более сложная программа (указать на 4 фигуры в определенной последовательности), отмечались четкие

возрастные различия. Дети 3-4 лет в подавляющем большинстве не справились с инструкцией и только после 5 лет большинство детей были способны выполнить это задание. В другой серии исследований Т.В. Ендовицкая предлагала испытуемым показывать в определенной последовательности те же фигуры, изображенные на карточках. При этом в одних случаях, действие производилось по речевой инструкции, а в других – по наглядному показу. Было продемонстрировано, что дети всех групп выполняли задание лучше по речевой инструкции.

Сходные результаты были получены Я.З. Неверович [1952, цит. по 47]. В этих опытах ребенка обучали нажимать в определенной последовательности на ключи, обозначенные картинками, в зависимости от зажигающихся на экране разноцветных лампочек. Обучение происходило быстрее во всех возрастных группах, если сопровождалось речевой инструкцией, а не наглядным показом.

В тех случаях, когда ведущей была кинестетическая афферентация [И.Г. Диманштейн, 1950; Г.А. Кислюк, 1956, цит. по 47] результаты были противоположными. Если ребенка обучали выполнению гимнастических движений или манипулированию сложными реактивными ключами, которые надо было перемещать в определенном направлении, в зависимости от качества сигнала, то действия по наглядному показу выполнялись эффективнее, чем по речевой инструкции. При этом к 6-7 годам эффективность выполнения по наглядному показу и по речевой инструкции практически уравнивается.

Анализируя полученные результаты, А.В. Запорожец отмечает, что работа зрительного анализатора более тесно связана с речью, чем работа системы анализа кинестетической информации, что и способствует более легкой вербализации движений, образованных на основе зрительной аффертации.

О.К. Тихомиров [48] подробно изучал вопрос о роли внешней речи детей дошкольного возраста в регуляции их двигательных реакций. В этих исследованиях слово рассматривалось как комплексный раздражитель, обладающий двойственным влиянием. Во-первых, предполагалось, что слово может оказывать непосредственное воздействие на выполнение движения самим фактом своего произнесения, выступая как источник дополнительного возбуждения в нервной системе. С этой точки зрения слово могло иметь импульсный характер. Во-вторых, слово могло воздействовать и опосредованно, с помощью системы избирательных связей, которая актуализировалась под его влиянием. Эксперименты, проведенные О.К.Тихомировым, позволили ему выделить этапы развития речевой саморегуляции в дошкольном возрасте. В 3-4 года у ребенка формируется четкая регуляция двигательных реакций с помощью дополнительного речевого импульса. Это проявляется в резком уменьшении числа межстимульных двигательных реакций под влиянием собственного речевого сопровождения. При этом слово, формулирующее сигнальное значение раздражителя, воздействует не избирательно, а импульсно. У детей в

возрасте 3-4 лет не удается выработать тормозную реакцию на раздражитель, и число ошибочных ответов не только не уменьшается при введении речевого сопровождения, но в ряде случаев даже возрастает. В возрасте 5 лет происходит кардинальный сдвиг в развитии речевой саморегуляции. В этот период складывается регуляция движений системой избирательных связей, актуализируемых словом. Также на этом этапе основное регулирующее влияние начинает переходить к внутренней речи ребенка, и его внешняя речь становится излишней.

К концу дошкольного периода ребенок становится способным использовать знак в качестве средства внешнего опосредования своих действий [49]. Это - принципиальный этап в развитии высших психических функций, которые являются опосредованными по своему строению [1]. Изменения состоят в возникновении новых сложных психологических систем, с новыми внутрисистемными функциональными отношениями и с изменениями самих функций [49]. Так, в старшем дошкольном возрасте, начинается бурное развитие опосредованных форм запоминания [50], изменяется система зрительного восприятия, когда процесс опознания начинает основываться не только на перцептивных, но и на концептуальных характеристиках объекта [45].

Существенные изменения в развитии управляющих функций в старшем дошкольном возрасте отмечены и другими авторами. Показано [51], что в возрасте около 6 лет появляется первый зрелый навык, связанный с управляющими функциями, - способность сопротивляться отвлечению. Продемонстрировано [52], что конфликтная вербальная реакция осваивается детьми этого возраста раньше, чем конфликтная реакция произвольного действия. При исследовании различных форм внимания, было установлено, что произвольное зрительное внимание в конфликтной стимульной ситуации окончательно формируется к 7 годам [53]. В то же время, на этом возрастном этапе, функции программирования, регуляции и контроля деятельности и речь не являются еще достаточно зрелыми для того, чтобы обеспечивать высокую подвижность мышления и различные аспекты мыслительной деятельности, связанные с формированием абстрактных понятий. При выполнении Висконсинского теста на классификацию (Wisconsin Card Sorting Test) дети в возрасте 6 лет демонстрируют трудности, сходные с теми, которые характерны для взрослых с локальными поражениями лобных долей головного мозга [54].

Согласно данным нейроморфологических исследований [19], возраст 5-6 лет является важным этапом в развитии лобной коры головного мозга. В этом возрасте отмечается высокий темп роста ассоциативных слоев, увеличение объема нейронов, компактности нейронных группировок, активное формирование базальных дендритных комплексов в различных полях коры лобной доли. Расширяется система связей нейронов лобных полей с другими структурами мозга. Морфо-функциональное созревание лобных отделов коры и их связей к 6 годам является важным условием формирования фронто-таламической регуляторной системы. Эта система включает префронтальную кору, медиодорзальное ядро таламуса и связи между ними [55, 56, 57].

Анализ фоновой электрической активности мозга [43] детей 5-6 лет позволил выявить определенные паттерны ЭЭГ, свидетельствующие о морфо-функциональной незрелости фронто-таламической регуляторной системы. На ЭЭГ это проявлялось в виде наличия в большинстве случаев билатерально синхронной ЭА в виде групп регулярных колебаний тета- (реже дельта-) диапазона в лобных и центральных областях. Подобные изменения электрической активности мозга у детей 6-7 лет без неврологических нарушений и трудностей обучения практически отсутствуют, что расценивается как результат созревания фронто-таламической системы мозга к этому возрасту. Это согласуется с имеющимися в литературе данными о длительном формировании в онтогенезе цитоархитектоники медиодорзального ядра таламуса [58, 59], префронтальной коры [19] и связей между таламусом и лобной корой [60]. В этом же возрастном диапазоне, отмечены электроэнцефалографические признаки незрелости системы неспецифической активации ретикулярной формации ствола головного мозга [43]. Исходя из представлений о роли I блока мозга, блока поддержания тонуса и бодрствования в реализации любой формы психической деятельности [2], можно предположить, что сохранение функциональной незрелости этой системы также может оказывать специфическое влияние на формирование функций программирования и контроля деятельности.

Таким образом, к концу дошкольного возраста исследователи отмечают признаки становления процессов, позволяющих справляться с импульсивностью в поведении. Это совпадает по времени с очередным этапом в развитии лобной коры и ее связей с нижележащими глубинными структурами. Также к старшему дошкольному возрасту происходят существенные изменения в усвоении сложных программ деятельности, что может быть связано с увеличением объема оперативной памяти, которую ряд исследователей рассматривает в качестве одной из основных функций лобных долей головного мозга [61, 62]. Признаки преодоления инертности отмечаются в возрасте 4-4,5 лет, но возможности переключения до начала младшего школьного возраста остаются недостаточно сформированными.

Младший школьный возраст (от 7 до 12 лет).

Начало младшего школьного возраста знаменуется событием, которое в психологии принято обозначать как кризис 7 лет. Ситуация школьного обучения требует от ребенка высокого уровня произвольной организации деятельности: умения подчинять свое поведение требованиям учителя, усваивать и удерживать программу деятельности, контролировать ее выполнение. Кризис семи лет характеризуется появлением у нормально развивающегося ребенка внутренних условий, позволяющих ему соответствовать этим требованиям. Л.С.Выготский называл возраст 7 лет возрастом утраты непосредственности [63] и считал основным его новообразованием привнесение в поведение интеллектуального момента, который вклинивается между переживанием и

непосредственным поступком. На этом этапе происходит бурное развитие внешне опосредованных форм психической деятельности, которое продолжается до 10-11 лет [49, 50].

Морфологические изменения, происходящие во фронтальной коре в 7-8 лет, свидетельствуют о постепенном формировании более специализированных систем связей фронтальной коры с другими структурами мозга. Об этом, в частности, свидетельствуют данные, согласно которым в этот период начинается снижение числа синапсов в префронтальной коре [26]. Данные о развитии системной организации мозга в онтогенезе свидетельствуют о том, что в этот возрастной период происходят перестройки, отражающие возрастание специализации лобных областей и усиление их роли в реализации психических функций [45].

Одновременно с этим происходит смена приоритетов форм активации при целенаправленной деятельности [64]. Так, в ситуации привлеченного внимания, на ЭЭГ детей в возрасте до 6 лет отмечаются признаки увеличения амплитуды и представленности тета- и альфа-колебаний, отражающие вклад эмоциональной активации в процесс внимания. От 6 до 8 лет постепенно доминирующим становится зрелый тип активации в виде блокады альфа-ритма, свидетельствующий об усилении информационного компонента регуляции. Эти изменения указывают на смену мозговых активационных механизмов деятельности. Если на ранних этапах онтогенеза ведущую роль играет лимбическая активационная система, то в 6-8-летнем возрасте происходит перелом в сторону усиления влияния блока анализа и обработки информации в процессе внимания (кортикализация внимания), повышение роли лобных областей коры в управлении активационными процессами.

Также возраст 7-8 лет характеризуется спецификой функциональной организации коры больших полушарий, в которой, на этом возрастном этапе, основная роль принадлежит коротким избирательным связям «левополушарного» типа [65, 66]. У детей этого возраста в ситуации предстимульного внимания организация формирующихся локальных, зависящих от параметров ожидаемого сигнала функциональных объединений сенсорно-специфических и ассоциативных областей коры существенно не различается в левом и правом полушарии [65]. К 7 годам развитие интракортикальных связей в правом полушарии достигает пика [66].

Приведенные выше данные заставляют предположить наличие в 7-8-летнем возрасте особой, благоприятной ситуации для развития произвольных форм регуляции деятельности.

Начало школьного обучения создает повышенную нагрузку на нервную систему и психическую сферу ребенка, требуя мобилизации психической активности в связи с адаптацией к повышенным требованиям, с кризисом развития и сменой ведущей деятельности [67]. В этих условиях «слабые», недостаточно сформированные и закрепленные составляющие психических функций в первую очередь оказываются уязвимыми, подверженными декомпенсации, что приводит к нарушениям адаптации и проявляется в виде школьной неуспеваемости и отклонений в

поведении ребенка. В литературе представлен обширный массив данных, касающихся важной роли произвольной регуляции деятельности в обучении в младшем школьном возрасте [67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76]. Базовые психические функции, необходимые для успешной учебы, к 7 годам становятся произвольными по способу своего осуществления, а развитие основных школьных навыков идет «сверху вниз» от развернутой, избирательной, произвольной формы к свернутому, автоматизированному виду. Таким образом, начальные стадии их усвоения нуждаются в достаточно развитых функциях программирования, регуляции и контроля деятельности.

Существуют данные, свидетельствующие о связи функциональной организации коры головного мозга и уровня развития познавательной деятельности в 7-8-летнем возрасте. Так Н.В. Дубровинская и Е.И. Савченко [64], используя батарею тестов Н.Г. Салминой, показали, что учащиеся 1-го класса с высоким уровнем познавательной деятельности демонстрируют более зрелый тип реакции активации с вовлечением переднеассоциативных отделов коры по сравнению со сверстниками с более низким уровнем познавательной деятельности.

Показано, что существенным фактором, влияющим на успешность обучения детей 6-8 лет, является морфо-функциональное созревание фронто-таламической регуляторной системы: у неуспевающих детей ЭЭГ-признаки несформированности этой системы отмечаются в различных выборках от 60 до 80% случаев [43]. В исследованиях Семеновой О.А., Мачинской Р.И. и соавт. [77, 78] продемонстрировано, что незрелость фронто-таламической регуляторной системы негативно влияет на состояние практических всех компонентов программирования, регуляции и контроля деятельности. Наиболее выраженное влияние незрелости фронто-таламической регуляторной системы наблюдается в возрасте 7-8 лет и отражается: 1) в повышенной импульсивности, уподоблению движений стимулам; 2) в инертности элемента программы, независимо от модальности стимулов и характера деятельности; 3) в трудностях переключения с программы на программу; 4) в снижении устойчивости усвоенной программы; 5) в трудностях создания стратегии деятельности; 6) в снижении самоконтроля и слабом принятии помощи со стороны исследователя; 7) в отсутствии положительного эффекта от использования различных приемов саморегуляции при усвоении программ деятельности.

Влияние незрелости системы неспецифической активации в 7-8 лет проявляется: 1) в инертности элемента программы, которая наблюдается в основном в мнестической сфере; 2) в трудностях контроля, которые могут быть устранены при привлечении внимания ребенка к его ошибкам. Отрицательное влияние незрелости системы неспецифической активации на программирование, регуляцию и контроль деятельности может быть скорректировано с помощью различных приемов саморегуляции.

Изложенные выше факты свидетельствуют о важной роли уровня сформированности фронто-таламической регуляторной системы в реализации функций произвольной регуляции деятельности в этот возрастной период.

Возраст 9-10 лет является значимым как с точки зрения развития мозга в целом, так и его лобных отделов, в частности. По данным Л.К. Семеновской и др. [19] к 9-10 летнему возрасту увеличивается ширина клеточных группировок в коре головного мозга, значительно усложняется структура короткоаксонных нейронов, расширяется сеть аксонных коллатералей всех форм интернейронов коры. В этот же возрастной период начинается снижение скорости мозгового метаболизма глюкозы [79], которая затем, к 16-18 годам, постепенно достигает взрослого уровня. Во фронтальной коре при этом отмечается усложнение горизонтальных взаимосвязей в системе нейронных ансамблей, увеличивается ширина пучков радиальных волокон V¹ подполя в поле 10, происходит существенное увеличение объема нейронов III³ подполя, после чего наступает стабилизация. Также в 9 лет заканчиваются процессы миелинизации в лобной коре, и происходит резкое замедление роста коры в полях 45 и 10 [19].

В работах, посвященных исследованию формирования психических функций в онтогенезе, отмечается, что если с 5 до 8 лет происходят наиболее интенсивные изменения в когнитивной сфере, то к 9 годам в основном наступает стабилизация [80]. В сфере произвольной организации деятельности такие ее компоненты как организованный поиск, способность к проверке гипотез и контроль импульсов к 10 годам достигают взрослого уровня, в то время как навыки планирования и к 12 годам остаются до конца не сформированными [51]. В более ранних опытах, проведенных А.И. Мещеряковым [81] также показано, что ориентировочная деятельность и характер выдвижения гипотез у 9-10 летних детей не отличаются от таковых у взрослых. Что же касается контроля импульсов, то прочная дифференцировка на положительный и отрицательный условный сигнал у детей 9 лет, по данным Е.Н. Правдиной-Винарской [82], вырабатывается только у половины испытуемых. Отметим противоречивость данных о моменте окончательного созревания возможностей преодоления импульсивности. Как было отмечено выше, ряд авторов демонстрирует достижение этими возможностями взрослого уровня к концу дошкольного возраста. Это свидетельствует либо о недостоверности или неверной трактовке данных, либо о нелинейном характере развития компонентов управляющих функций в онтогенезе.

Н.В. Дубровинская и Е.И. Савченко [64] показали, что в 10-летнем возрасте зрелый тип реакции активации (блокада альфа-ритма) становится генерализованным с закономерным вовлечением в реакцию при внимании переднеассоциативных областей коры больших полушарий.

В период предстимульного внимания мозговая организация у детей 9-10 лет приобретает черты дефинитивного типа в виде вовлечения в процесс длинных связей в правом полушарии [43].

По данным психофизиологических исследований в 9-10 лет возрастает роль фронтальных зон коры в произвольной двигательной деятельности [83, 84]. Так М.М. Безруких [83, 84] показала, что при подготовке и формировании двигательного навыка в 9-10 лет фокус мозговой активности переносится со зрительной системы в переднеассоциативные структуры мозга, при выполнении движений происходит усиление межцентрального взаимодействия между лобными областями коры правого и левого полушарий. При этом повышается эффективность движений, но не за счет улучшения их качества, а за счет увеличения скорости. М.О. Гуревич [цит. по 46] также отмечал, что к началу второго десятилетия жизни изменяется состав доступных ребенку движений (уменьшается богатство, но налаживаются мелкие точные движения) за счет развития корковых компонентов регуляции. При этом, вследствие все еще недостаточной зрелости фронтальных механизмов, остается неспособность к длительной установке на продуктивную работу.

Междисциплинарное нейрофизиологическое и нейропсихологическое исследование показало [85], что к 9-10 годам состояние процессов произвольной регуляции деятельности и обеспечивающих их мозговых механизмов претерпевает существенные изменения. Перестает выявляться отчетливая связь между степенью зрелости регуляторных мозговых механизмов и состоянием программирования, регуляции и контроля деятельности. Это связано с разной направленностью возрастных изменений в группах детей с разной степенью зрелости регуляторных мозговых механизмов. У детей со зрелым типом мозговой организации и с незрелостью системы неспецифической активации в 9-10 лет отмечаются низкая устойчивость выполнения усвоенной программы и более выраженные трудности контроля, чем у детей 7-8 лет с теми же особенностями развития. Кроме того, в 9-10 лет дети со зрелым типом мозговой организации демонстрируют более выраженные трудности при переключении с программы на программу, а дети с незрелостью системы неспецифической активации - значительно большее число импульсивных ответов, чем в 7-8 лет. Напротив, дети 9-10 лет с незрелостью фронтоталамической регуляторной системы демонстрируют большую сформированность управляющих функций, чем в 7-8 лет, в особенности, за счет снижения трудностей переключения с программы на программу. В результате показатели состояния функций программирования, регуляции и контроля деятельности у детей с разной степенью зрелости регуляторных систем мозга к 9-10 годам сближаются. Наблюдаемое ухудшение в состоянии программирования, регуляции и контроля деятельности к 9-10 годам у детей в норме и с незрелостью системы неспецифической активации может быть следствием качественных преобразований системной мозговой организации управляющих функций. В настоящее время существуют представления о том, что в момент системных перестроек, связанных с изменением организации функции, может наступать временное ухудшение ее показателей [86]. По-видимому, это общая закономерность онтогенеза,

которая присуща развитию психических функций в определенные возрастные периоды, являющиеся критическими для их формирования [87; 88].

Таким образом, по данным литературы, в 9-10-летнем возрасте происходят существенные перестройки в структурно-функциональной организации коры лобных областей. Одновременно с этим усиливается роль фронтальной коры в регуляции поведения, и происходят изменения в структуре программирования, регуляции и контроля деятельности.

Исследования, изучающие прямую зависимость состояния программирования, регуляции и контроля от функционирования различных мозговых систем в онтогенезе, немногочисленны. В то же время они позволяют судить о том, что мозговая организация управляющих функций у детей может отличаться от таковой у взрослых. С одной стороны, существуют работы, демонстрирующие связь определенных видов произвольной деятельности с характеристиками некоторых отделов лобной области коры в детском возрасте. Так В. J. Casey et al. [89], исследуя детей 5-16 лет, показали достоверную зависимость параметров произвольного внимания от размеров правой передней цингулярной коры. С другой стороны, получены данные, свидетельствующие об изменении с возрастом степени включенности лобных областей в различные виды произвольной деятельности. Э. Г. Симерницкая и др. [90] показали, что в детском возрасте осуществление вербально-мнестических функций не в такой степени опирается на структуры лобных долей мозга, как это имеет место у взрослых. W. D. Gaillard et al. [91], исследуя продуцирование слов (*verbal fluency*) у детей 8-13 лет и у взрослых, показали тенденцию к более широкому и интенсивному вовлечению коры лобных областей в эту деятельность в детском возрасте, рассматривая это как отражение пластичности развивающегося мозга. S. A. Bunge et al. [92] показали, что подавление ответа (*response inhibition*) у детей 8-12 связано с активацией задних, а не префронтальных областей коры, как это наблюдается у взрослых испытуемых. В. J. Casey et al. [93], приводят факты, полученные с помощью fMRI-исследований, согласно которым расстройства когнитивного контроля у детей связаны с дисфункцией не только лобных областей коры, но и базальных ганглиев и предлагают модель обеспечения произвольного поведения посредством круговых связей между базальными ганглиями, таламусом и лобной корой. Все эти данные свидетельствуют в пользу принципа динамической локализации функций в онтогенезе и демонстрируют неправомерность попыток прямого переноса представлений о механизмах нарушения ВПФ у взрослых на другие возрастные этапы [94].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, анализ литературных данных подтверждает представление о сложном компонентном строении произвольной регуляции деятельности. Уже в раннем детском возрасте можно наблюдать гетерохронность созревания таких компонентов управляющих функций как способность сопротивляться отвлечению, возможности переключения и усвоения сложных алгоритмов. Показано, что незрелость регуляторных систем мозга, таких как система неспецифической активации и, в особенности, фронто-таламическая система, оказывают влияние на формирование произвольности в младшем школьном возрасте.

При этом на разных возрастных этапах меняется вклад различных мозговых структур, а также характер их взаимодействия, лежащие в основе обеспечения этих процессов. Это связано с созреванием, как самих корковых элементов, так и связей между ними. Выделяются критические периоды в созревании морфо-функциональной системы произвольной регуляции деятельности, когда происходят как значимые перестройки в формировании мозгового аппарата, так и качественные преобразования со стороны управляющих функций. Это возраста 8-12 месяцев, 3 лет, 5-6 лет и 9-10 лет.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лурия А.Р. Высшие корковые функции человека. – М: Изд-во МГУ. - 1962. - 432 с.
2. Лурия А.Р. Основы нейропсихологии. - М.: Изд-во МГУ. - 1973. - 374 с.
3. Лурия А.Р. Функциональная организация мозга // Естественно-научные основы психологии / Под ред. А.А. Смирнова, А.Р. Лурия, В.Д. Небылицына. – М.: Педагогика. - 1978. – С. 120-189.
4. Корсакова Н.К., Московичюте Л.И. Подкорковые структуры мозга и психические процессы. – М.: Изд-во МГУ. – 1985. – 119 с.
5. Корсакова Н.К., Московичюте Л.И. Клиническая нейропсихология. – М.: АCADEMIA. – 2003. – 141 с.
6. Буклина С.Б., Сазонова О.Б., Филатов Ю.М., Элиава Ш.Ш. Клинико-нейропсихологический синдром артериовенозной мальформации хвостатого ядра // Ж-л Вопросы нейрохирургии им. Н.Н.Бурденко. -1994. - №4.
7. Вассерман Л.И., Дорофеева С.А., Меерсон Я.А. Методы нейропсихологической диагностики. - С-Пб.: Изд-во "Стройлеспечать". - 1997.
8. Ciemens V. Localized thalamic hemorrhage. A cause of aphasia / Neurology. – 1970. - Vol. 20.
9. Bowen F.P. Behavioral alterations in patients with basal ganglia lesions // The basal ganglia / N.D. Yahr (ed.). - New York: Raven Press. - 1976.
10. Albert M.L. Subcortical dementia // Alzheimer's disease: senile dementia and related disorders / R. Katzman, R.D. Terry, K.L. Bick (eds.). - New York: Raven Press. - 1978.

11. Lezak M.D. The problem of assessing executive functions // *International Journal of Psychology*. – 1982. - Vol. 17. - P. 281-297.
12. Haaland K.Y., Harrington D.L. Complex movement behavior: toward understanding cortical and subcortical interactions in regulating control processes // *Cerebral Control of Speech and Limb Movements* / G.E. Hammond (ed.). - Elsevier Science Publishers B.V. (North-Holland). – 1990. - P. 169-200.
13. Fincham J.M., Carter C.S., van Veen V., Stenger V.A., Anderson J.R. Neural mechanisms of planning: A computational analysis using event-related fMRI // *PNAS* . – 2002. -V. 99, N. 5. – P. 3346–3351.
14. Welsh M.C., Pennington B.F. Assessing frontal lobe functioning in children: views from developmental psychology // *Developmental Neuropsychology*. – 1988. - No. 4. - P. 199-230.
15. Anderson V. Assessing executive functions in children: biological, psychological, and developmental considerations // *Pediatric Rehabilitation*. – 2001. - Vol. 4, No. 3. - P. 119-136.
16. Мещерякова С.А., Авдеева Н.Н. Особенности психической активности ребенка первого года жизни // *Мозг и поведение младенца* / Под ред. О.С. Адрианова. – М. - 1993. – С. 167 – 219.
17. Лурия А.Р. Язык и сознание. – М.: Изд-во МГУ. - 1979. – 319 с.
18. Golden C.J. The Luria-Nebraska Children's Battery: theory and formulation // *Neuropsychological assessment of the school-aged child* / G.W.Hynd, J.E.Obrzut (eds.). – New York: Grune & Stratton. – 1981. - P. 277-302.
19. Семенова Л.К., Васильева В.В., Цехмитренко Т.А. Структурные преобразования коры большого мозга человека в постнатальном онтогенезе // *Структурно-функциональная организация развивающегося мозга*. – Л.: Наука. - 1990. – С. 8-45.
20. Goldman P.S., Nauta W.J.H. Columnar distribution of cortico-cortical fibres in the frontal associations, limbic, and motor cortex of the developing rhesus monkey // *Brain Research*. – 1977. - V.122. - P. 393-413.
21. Goldman-Rakic P.S. Modular organization of prefrontal cortex // *Trends in Neuro-Science*. – 1984. - V.7. - P. 419-424.
22. Фарбер Д.А., Алферова В.В. Электроэнцефалограмма детей и подростков. – М.: Просвещение. - 1972 – 215 с.
23. Chugani H.T., Phelps M.E., Mazziotta J.C. Positron Emission Tomography Study of Human Brain Functional Development // *Annals of Neurology*. – 1987. - V.22. - P. 487-497.
24. Schade J.P., van Groenigen W.B. Structural organization of the human cerebral cortex // *Acta Anat*. – 1961. - Vol. 47. - P. 74-111.
25. Diemer K. Capillarisation and oxygen supply of the brain // *Oxygen Transport in blood and tissue* / Lubbers D.W., Luft U.C., Thews G., Witzleb E. (eds). – Stuttgart, Thieme Inc. – 1968. - P. 118-123.

26. Huttenlocher P.R., Dabholcar A.S. Developmental Anatomy of Prefrontal Cortex // *Developmental of the Prefrontal Cortex: Evolution, Neurobiology, and Behavior* / N.A. Krasnegor, G.R. Lyon, P.S. Goldman-Rakic (eds.). – 1997. – P. 69-83.
27. Мастюкова Е.М. Лечебная педагогика (ранний и дошкольный возраст). – М.: Гуманитарный издательский центр ВЛАДОС. - 1977. – 304 с.
28. Смирнов В.М. Нейрофизиология и высшая нервная деятельность детей и подростков. – М.: АCADEMIA. - 2000. – 400 с.
29. Строганова Т.А., Орехова Е.В., Посикера Н.Н. Тета-ритм ЭЭГ младенцев и развитие механизмов произвольного контроля внимания на втором полугодии первого года жизни // *Журн. высш. нервн. деят.* – 1998. – Т.48, №6. – С. 945-952.
30. Выготский Л.С. Младенческий возраст // *Собрание сочинений в 6 томах.* - Т.4. - М.: Педагогика. - 1984. - С. 269-317.
31. Яковлева С.В. Условия формирования простейших видов произвольного действия у детей преддошкольного возраста // *Проблемы высшей нервной деятельности нормального и аномального ребенка* / Под ред. А.Р.Лурия –Т.2. - М.: Изд-во АПН РСФСР. - 1958. - С. 47-71.
32. Строганова Т.А., Посикера Н.Н. Функциональная организация поведенческих состояний бодрствования младенцев (электроэнцефалографическое исследование) // *Мозг и поведение младенца* / Под ред. О.С.Адрианова. – М. - 1993. – С. 78-101.
33. Papousek H., Papousek M. Sharing emotionality and sharing knowledge: a microanalytic approach to parent-infant communication // *Measuring emotions in infants and children* / C.Izard, P.Read (eds.). – Cambridge University Press. - 1987. – P. 2-36.
34. Kahana M.J., Seelig D., Madsen J.R. Theta return // *Current Opinion in Neurobiology.* – 2001. - Vol. 11. – P. 739-744.
35. Benes F.M. Development of the Corticolimbic System // *Human Behavior and the developing Brain* / Eds: G.Dawson, R.W.Fisher – N.Y.; L.: The Guilford Press – 1994. - P. 176-206.
36. Diamond A. Neuropsychological insights into the meaning of object concept development // *The epigenesis of mind: Essays on biology and cognition* / S. Carey, R. Gelman eds. – Hillsdale, NY: Erlbaum. – 1991. – P. 67-110.
37. Diamond A. Looking closely at infants' performance and experimental procedures in the A-not-B task // *Behavior and Brain Sciences.* – 2001. – V. 24, No. 1. – P. 38-41.
38. Bell M.A., Fox N.A. The Relations between Frontal Brain Electrical Activity and Cognitive Development during Infancy // *Child Development.* – 1992. – Vol. 63. – P. 1142-1163.
39. Лурия А.Р. Мозг человека и психические процессы. - М.: Педагогика. – Т.2. – 1970. – 496 с.
40. Posner M.I., Rothbart M.K. Developing mechanisms of self-regulation // *Developing and Psychopathology.* – 2000. – No. 12. – P. 427-441.

41. Выготский Л.С. Кризис трех лет // Собрание сочинений в 6 томах. - Т.4. - М.: Педагогика. - 1984. - С. 368-375.
42. Huttenlocher P.R. Dendritic and Synaptic Development in Human Cerebral Cortex: Time Course and Critical Periods // *Developmental Neuropsychology*. – 1999. - Vol. 16(3). - P. 347-349.
43. Мачинская Р.И. Формирование нейрофизиологических механизмов произвольного избирательного внимания у детей младшего школьного возраста // Дисс. на соискание уч. степ. доктора биологических наук. - М. - 2001. - 278 с.
44. Бетелева Т.Г. Нейрофизиологические механизмы формирования зрительного восприятия. - М.: Наука. - 1983. - 165 с.
45. Фарбер Д.А. Развитие зрительного восприятия в онтогенезе. Психофизиологический анализ // *Мир психологии*. - 2003. - №2 (34). - С. 114-123.
46. Бернштейн Н.А. Очерки по физиологии движений и физиологии активности. - М.: "Медицина". – 1966. - 350 с.
47. Запорожец А.В. Развитие произвольных движений / Избранные психологические труды – Т.2. - М.: Педагогика. - 1986. - 297 с.
48. Тихомиров О.К. О формировании произвольных движений у детей дошкольного возраста / Проблемы высшей нервной деятельности нормального и аномального ребенка // Под ред. А.Р.Лурия –Т.2. - М.: Изд-во АПН РСФСР. - 1958. - С. 72-130.
49. Выготский Л.С. Орудие и знак в развитии ребенка // Собрание сочинений в 6 томах. - Т.6. – М.: Педагогика. - 1984. - 397 с.
50. Леонтьев А.Н. Развитие высших форм запоминания // Избранные психологические труды в двух томах, том 1 / Под ред. В.В. Давыдова, В.П. Зинченко, А.А. Леонтьева, А.В. Петровского. – М.: Педагогика. - 1983. – С. 31-64.
51. Welsh M.C., Pennington B.F., Grossier P.B. A normative-developmental study of executive function // *Developmental Neuropsychology*. – 1991. –Vol. 7. - P. 131-149.
52. Passler P.A., Isaac W., Hynd G.W. Neuropsychological Development of Behavior attributed to Frontal Lobe Functioning in Children // *Developmental Neuropsychology*. – 1985. - V.4. - P. 349-370.
53. 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. – Vol. 42. – P. 1029-1040.
54. Chelune G.J., Baer R.A. Developmental norms for the Wisconsin Card Sorting Test / *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*. – 1986. - No. 8. - P. 219-228.
55. Батуев А.С. Высшие интегративные системы мозга. – Л.: Наука. - 1981. - 255 с.

56. Nauta W.J. The problem of frontal lobe: a reintegration // J. Psychiat. Res. – 1971. – V.8. – P. 167-187.
57. Pribram K. The Far Frontal Cortex as Executive Processor: Proprieties and Practical Interference // Downward Processes in the Perception Representation Mechanisms / C. Taddei-Ferretti, C. Musio (eds.). - Istituto Italiano per Gli Studi Filosofici Series on Biophysics and Biocybernetics. - V. 6: Biocybernetics. – 1998. - P. 546-578.
58. Развитие мозга ребенка / Под ред. С.А. Саркисова. – Л.: Медицина. - 1965. – 340 с.
59. Амуниц В.В. Цитоархитектоника дорзомедиального ядра таламуса в онтогенезе мозга человека // Тезисы докладов XXX Всероссийского совещания по проблемам высшей нервной деятельности, посвященного 150-летию со дня рождения И.П.Павлова. – С.-Пб. - 2000. – С. 95-96.
60. Дзугаева С.Б. Проводящие пути головного мозга человека (в онтогенезе). – М.: Медицина. - 1975. – 247 с.
61. Fuster J.M. Prefrontal cortex and the bridging of temporal gaps in the perception-action cycle // Annals New York Academy of Sciences. – 1990. - Vol. 608. - P. 318-336.
62. Roberts R.J., Pennington B.F. An interactive framework for examining prefrontal cognitive processes // Developmental Neuropsychology. – 1996. - No. 12. - P. 105-126.
63. Выготский Л.С. Кризис семи лет // Собрание сочинений в 6 томах. - Т.4. - М.: Педагогика. - 1984. - С. 376-385.
64. Дубровинская Н.В., Савченко Е.И. Формирование механизмов организации внимания в онтогенезе // Структурно-функциональная организация развивающегося мозга / Под ред. О.С. Адрианова, Д.Б. Фарбер. – Л.: Изд-во «Наука». - 1990. – С. 87-110.
65. Мачинская Р.И., Дубровинская Н.В. Функциональная организация полушарий мозга при направленном внимании у детей 7-8 лет // Журнал высшей нервной деятельности. – 1996. – Т. 46, №3. – С. 437-446.
66. Thatcher R.W. Cyclic cortical reorganization during early childhood // Brain Cogn. – 1992. – Vol. 20. – P.24-50.
67. Корсакова Н.К., Микадзе Ю.В., Балашова Е.Ю. Неуспевающие дети: нейропсихологическая диагностика трудностей в обучении младших школьников. – М. - 1997. - 124 с.
68. 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, № 5. - С. 5.
69. Копосова Т.С., Звягина Н.В., Морозова Л.В. Психофизиологические особенности развития детей младшего школьного возраста. – Архангельск. - 1997. - 159 с.

70. Полонская Н.Н., Яблокова Л.В. Функции программирования и контроля и успешность обучения у первоклассников / I Международная конференция памяти А.Р.Лурия. Сборник докладов. – М. - 1998. - С. 231-237.
71. Ахутина Т.В. Трудности письма и их нейропсихологическая диагностика / Письмо и чтение: трудности обучения и коррекция. – Москва-Воронеж. - 2001. - С. 7-20.
72. 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.Глозман. - М. - 2003. - С. 206-214.
73. Lazar J.W., Frank Y. Frontal Systems Dysfunction in Children With Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder and Learning Disabilities // Journal of Neuropsychiatry. – 1998. - Vol. 10, No. 2. - P. 160-167.
74. Snow J.H. Developmental Patterns and Use of the Wisconsin Card Sorting Test for Children and Adolescents with Learning Disabilities // Child Neuropsychology. – 1998. - Vol. 4., No. 2. - P. 89-97.
75. Helland T., Asbjornsen A. Executive Functions in Dislexia // Child Neuropsychology. – 2000. - Vol. 6, No. 1. - P. 37-48.
76. Kirkwood M.W., Weiler M.D., Holmes-Bernstein J. et al. Sources of Poor Performance on the Rey-Osterrieth Complex Figure Test among Children With Learning Difficulties: A Dynamic Assessment Approach // The Clinical Neuropsychologist. – 2001. - Vol. 15, No. 3. - P. 345-356.
77. Семенова О.А., Мачинская Р.И., Ахутина Т.В., Крупская Е.В. Мозговые механизмы произвольной регуляции деятельности и формирование навыка письма у детей 7-8 лет // Физиология человека. – 2001. – Т.27, №4. - С. 23-30.
78. 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.
79. Chugani H.T. A Critical Period of Brain Development Studies of Cerebral Glucose Utilization with PET // Preventive Medicine. - 1998. – Vol. 27. - P. 184-188.
80. Korkman M., Kemp S.L., Kirk U. Effects of Age on Neurocognitive Measures of Children Ages 5 to 12: A Cross-Sectional Study on 800 Children from the United States // Developmental Neuropsychology. – 2001. - V.20, No. 1. - P. 331-354.
81. Мещеряков А.И. Участие второй сигнальной системы в анализе и синтезе цепных раздражителей у нормальных и умственно отсталых детей // Проблемы высшей нервной деятельности нормального и аномального ребенка / Под ред. А.Р. Лурия. - Т.2. - М.: Изд-во АПН РСФСР. - 1956. - С. 197-243.

82. Правдина-Винарская Е.Н. Особенности соотношения реакций на наглядные и словесные сигналы при их выработке у нормальных и умственно отсталых детей // Проблемы высшей нервной деятельности нормального и аномального ребенка / Под ред. А.Р.Лурия. - Т.2. - М.: Изд-во АПН РСФСР. - 1956. -С. 260-283.
83. Безруких М.М. Центральные механизмы организации и регуляции произвольных движений у детей 6-10 лет. Сообщение I. Электрофизиологический анализ процесса подготовки к движениям // Физиология человека. - 1997. - Т. 23, № 6. - С. 31-39.
84. Безруких М.М. Центральные механизмы организации и регуляции произвольных движений у детей 6-10 лет. Сообщение II. Электрофизиологический анализ процесса выполнения движений у праворуких детей // Физиология человека. - 1998. - Т.24, №3. - С.34-41.
85. Семенова О.А. Формирование функций регуляции и контроля у младших школьников // автореф. дисс. на соиск. уч. степ. канд. психол. наук. – М. – 2005. – 23 с.
86. Сергиенко Е.А. Динамика психического развития: онтогенетический и психогенетический аспекты // 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.Глозман. - М. - 2003. – С. 336-340.
87. Цейтлин С.Н. Детские речевые инновации: опыт анализа // Исследования по языкознанию: К 70-летию члена-корреспондента РАН Александра Владимировича Бондаренко / Отв. ред. С.А. Шубик. – С.-Пб.: Изд-во С.-Пб. университета. - 2001. – С. 329-336.
88. Сонькин В.Д., Любомирский Л.Е., Васильева Р.М., Букреева Д.П. Определение функциональных возможностей организма школьников при различных способах дозирования физических нагрузок // Новые исследования альманах. – 2004. - №1-2. – С. 360-361.
89. Casey B.J., Trainor R., Giedd J., Vauss Y., Vaituzis C.K., Hamburger S., Kozuch P., Rapoport J.L. The Role of the Anterior Cingulate in Automatic and Controlled Processes: A Developmental Neuroanatomical Study // Dev. Psychobiol. – 1997. – V. 30. – P. 61-69.
90. Симерницкая Э.Г., Ростоцкая В.И., Алле А.Х. О роли лобных долей мозга в организации слухо-речевой памяти у детей и взрослых // Функции лобных долей мозга / Под ред. Е.Д. Хомской, А.Р. Лурия. – М.: Наука. - 1982. – С. 103-113.
91. Gaillard W.D., Hertz-Pannier L., Mott S.H., Barnett A.S., LeBihan D., Theodore W.H. Functional anatomy of cognitive development // Neurology. – 2000. – V. 54. – P. 180-185.
92. Bunge S.A., Dudukovic N.M., Thomason M.E., Vaidya C.J., Gabrieli D.E. Immature Frontal Lobe Contributions to Cognitive Control in Children Evidence from fMRI // Neuron. – 2002. – Vol. 33. – P. 301-311.
93. Casey B.J., Durston S., Fossella J.A. Evidence for a mechanistic model of cognitive control // Clinical Neuroscience Research. – 2001. – No. 1. – P. 267-282.

94. Цветкова Л.С. Научные основы нейропсихологии детского возраста // Актуальные проблемы нейропсихологии детского возраста (учебное пособие). - Москва-Воронеж. - 2001. - С. 16-83.