

СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ РАЗВИВАЮЩЕГОСЯ МОЗГА И ФОРМИРОВАНИЕ

ПОЗНАВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ОНТОГЕНЕЗЕ РЕБЕНКА

2009 г. М. М. Безруких, Р. И. Мачинская, Д. А. Фарбер

Институт возрастной физиологии РАО, Москва

Поступила в редакцию 01.06.2009 г.

Представлены результаты междисциплинарных: нейроморфологических, нейрофизиологических, нейропсихологических и психофизиологических исследований, позволившие выявить мозговые механизмы становления когнитивных процессов и их развитие с возрастом. Показана роль регуляторных (модулирующих) систем мозга в формировании познавательной деятельности ребенка. Представлены данные, свидетельствующие о значительных преобразованиях мозговых систем, обеспечивающих развитие когнитивных процессов у детей от 5-6 к 7-8 годам. В этом возрасте морфофункциональное созревание лобных областей и их нисходящих связей с другими структурами мозга обеспечивает повышение эффективности произвольного избирательного внимания, усвоение программы деятельности, торможение непосредственных реакций, регуляцию и организацию деятельности - функции, необходимые ребенку для успешной учебной деятельности.

Изучение структурно-функционального созревания мозга как основы формирования познавательной (когнитивной) деятельности и целенаправленного поведения ребенка является одним из важнейших направлений в физиологии развития ребенка, привлекающим широкое внимание исследователей разного профиля (физиологов, психологов, педагогов).

Согласно современным представлениям, когнитивные процессы обеспечиваются распределенными системами специализированных и взаимодействующих структур мозга. Развитие этих систем в онтогенезе определяется как эндогенными (генетическими), так и экзогенными (внешне-средовыми) факторами. На всех этапах развития начиная с младенческого возраста активными экзогенными факторами являются средства и методы воспитания и обучения.

В многолетних исследованиях Института возрастной физиологии РАО показана постепенность и гетерохронность структурно-функционального созревания проекционных и ассоциативных отделов коры больших полушарий и их роль в формировании когнитивных процессов: восприятия, внимания, рабочей памяти, произвольной организации деятельности [1-4]. Исследования, проведенные в широком возрастном диапазоне (с периода новорожденности и до достижения зрелости), позволили установить, что скорость и характер развития структур мозга изменяются в процессе онтогенеза: этапы количественных изменений (рост и увеличение числа нервных клеток, изменения количественных параметров функционирования) чередуются с периодом качественных перестроек (дифференцировка клеток, преобразование нейронных группировок, изменения в организации функциональных систем).

Показано, что периоды качественных перестроек систем мозгового обеспечения познавательной деятельности наиболее чувствительны (сенситивны) к воздействию внешних факторов. Полученные данные также, как и имеющиеся в литературе [5], подтверждают концепцию Л.С. Выготского [6] о "зонах ближайшего развития". Согласно этой концепции обучение является определяющим фактором развития познавательной деятельности ребенка, а созревание мозга - его необходимым условием. Тесное взаимодействие биологических и социальных факторов развития определило необходимость междисциплинарного подхода к изучению мозговой организации познавательной деятельности, позволяющего при использовании нейрофизиологических и нейроморфологических методов оценить степень зрелости структур мозга, а в нейропсихологических и психофизиологических исследованиях выявить специфику реализации познавательной деятельности ребенка.

СТРУКТУРЫ О-ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ВОСПРИЯТИЕ

Важной составляющей познавательной деятельности является восприятие информации, включающее как обработку сенсорных признаков, так и когнитивные процессы: опознание объекта, категоризацию, оценку значимости. Общепринятым является представление о восприятии как системном акте, реализуемом при участии различных областей коры больших полушарий.

В настоящее время широкое распространение получила точка зрения о наличии двух восходящих путей обработки зрительной информации: дорзального и вентрального.

Дорзальный путь, или, как это принято в литературе, дорзальная система, осуществляет обнаружение объекта и анализ его пространственных характеристик. Она отвечает на вопрос: "где?". С вентральной системой связано опознание объекта, она отвечает на вопрос: "что?". Центральным звеном этой системы является височно-теменно-затылочная область, которая обеспечивает зрительную идентификацию объектов [7].

При исследовании системной организации зрительного восприятия установлено четкое соответствие степени структурной зрелости нейронного аппарата коры и показателей функционирования зрительной системы. В период новорожденное™, как показали исследования Л.К. Семенович и соавт. [8], наиболее зрелыми являются пирамидные нейроны глубоких (IV и V) слоев проекционной коры (17 поле). В этой корковой зоне с момента рождения ребенка отчетливо регистрируется начальный позитивно-негативный вызванный потенциал (ВП), что свидетельствует о поступлении сигнала по восходящему пути и его первичном анализе в зрительной коре [9]. Функция зрительной системы на этом этапе онтогенеза весьма ограничена: отсутствуют стабильные установочные движения глаз, не сформировано бинокулярное зрение и оценка глубины [10, 11]. К 2-3 месяцам жизни по мере созревания аппарата корковых нейронов (дифференцировки пирамидных и вставочных нейронов, увеличения дендритных ветвлений) усложняется компонентный состав ВП и наблюдается стабильное их появление в теменной и височно-теменно-затылочной областях, что связывалось нами с формированием межнейронных связей в зрительной системе [12]. При изучении прямых и обратных связей внутри проекционной коры и между различными зрительными зонами [13] показано, что на 7 неделе постнатального онтогенеза начинается формирование связей между колонками внутри проекционной коры и связей нейронов этой зоны с экстрастриарными нейронами.

Вовлечение теменных и височно-теменно-затылочных областей в анализ зрительной информации обеспечивает кортикализацию зрительного внимания к трехмесячному возрасту [14]. Начинают стабильно регистрироваться билатеральные установочные движения глаз, становится возможной оценка направления движений и выделение объекта в пространстве.

Участие различных областей коры, включая передне-центральные отделы, в функциональной организации зрительного восприятия обеспечивает кроссмодальную конвергенцию, отчетливо выявляющуюся во втором полугодии жизни. Восьмимесячный ребенок, ознакомившись с предметом путем

ощупывания без зрительного контроля, узнает его при зрительном предъявлении [15]. Эти возможности связываются с созреванием ассоциативных областей коры, интегрирующих информацию разной модальности. К концу второго полугодия формируется константность восприятия предмета на основе его формы при различных модификациях признаков, менее значимых для его идентификации: игнорирование цвета, размера, ориентации [16]. Появляется возможность начальных форм обобщения и абстрагирования - функций, осуществляемых с участием ассоциативных отделов коры. Существенные качественные преобразования зрительного восприятия, учитывая его значимость в освоении информационного пространства, дают основание рассматривать младенческий возраст как важный этап в формировании познавательной деятельности ребенка.

В течение первых лет жизни созревание зрительных областей коры и формирование интракортикального взаимодействия по системе длинных горизонтальных связей [13] обеспечивает дальнейшее развитие полимодальной конвергенции. Ребенок встречается с более разнообразной предметной средой, сам находит предметы, активно манипулирует с ними, требует их названия. Информация, поступающая по разным сенсорным каналам, позволяет сформировать целостный образ и осуществить его коррекцию на основе сигналов разной модальности [17]. Однако система зрительного восприятия характеризуется определенной незрелостью. Это проявляется в отсутствии свойственного более старшему возрасту специализированного вовлечения различных корковых зон в анализ зрительной информации. До 5 лет основные компоненты вызванных потенциалов, регистрируемых в различных корковых зонах в ответ на зрительные стимулы, не требующие ответной реакции, характеризуются сходством конфигурации, временных параметров и реактивности при смене стимулов [18,19].

После 5 лет происходят значительные структурные изменения в системе зрительного восприятия. В зрительных корковых зонах формируются группировки нейронов, включающие различные типы клеток и объединяющие вертикально ориентированные колонки [8]. Показано [13], что в 5 лет, в сравнении с более ранним возрастом, в коре больших полушарий значительно больше представлены прямые и обратные горизонтальные связи.

В последние годы во многих исследованиях подчеркивается роль обратных (*feed-back*) связей в когнитивных процессах. Значительное число исследований посвящено изучению обратных связей в системе зрительного восприятия [20-23]. Показано, что обратные связи обеспечивают контакты нейронов экстрастриарной коры с большим количеством нейронов 17 поля, имеющих прямые входы из специфических ядер таламуса. Поступающие по этим связям сигналы, дифференцированно активируя аффе-

рентные нейроны, увеличивают их ответ на прямой вход. Предполагается, что обратные связи обеспечивают пространственно-временную динамику активации большой популяции нейронов, описывающих зрительную сцену [21]. Авторы полагают, что эти связи играют также важную роль в интеграции информации, обрабатываемой в разных корковых областях на завершающем этапе восприятия [21].

Как уже отмечалось, интенсивное формирование прямых и обратных корковых связей в зрительной системе наблюдается в 5 лет. Это существенно сказывается на структуре и реактивности зрительных систем [2,18,19].

С 5-6-летнего возраста в ВП проекционной и заднеассоциативных областей коры при предъявлении различных по сенсорным характеристикам стимулов помимо начальных компонентов четко выражены более поздние фазы ответа; отмечается различная выраженность отдельных компонентов ответов в проекционной и ассоциативных зрительных областях на разные по характеристикам зрительные стимулы. В затылочной области коры амплитуда позитивного компонента, отражающего анализ сенсорных признаков объекта, наиболее существенно возрастает при необходимости выделения контурно-контрастных границ, в височно-теменно-затылочной области его максимальная амплитуда наблюдается при предъявлении сложных изображений. В этой корковой зоне отмечаются также различия ВП, определяемые характером перцептивной задачи: если в ситуации спокойного наблюдения преимущественно возрастает сенсорный позитивный компонент, то при необходимости идентификации объекта увеличиваются более поздние фазы ответа. Возрастающая после 5 лет специализация заднеассоциативных структур в обработке зрительной информации облегчает восприятие формы и создает условия для выработки эталонов на новые достаточно сложные изображения. Изучение времени реакции выбора при различном числе альтернатив показало, что у детей 6-7 лет могут быть выработаны внутренние эталоны, используемые для опознания стимулов большой сложности, таких как вероятностные паттерны, на которые у детей эталоны не вырабатываются [18].

К концу дошкольного возраста существенно изменяются степень и характер участия лобных областей в зрительном восприятии. В ВП этих областей коры реактивными становятся более поздние компоненты ответа, в которых отражается реализация как сенсорных, так и когнитивных операций: опознание, оценка значимости стимула. Следует подчеркнуть, что выраженность поздних компонентов и их поляризованность как в лобной, так и в других областях коры определяются характером и сложностью когнитивной задачи [19].

Представленные материалы свидетельствуют о том, что в мозговой организации процесса восприятия в детском возрасте происходят существенные качественные преобразования: от локальной рецепции и первичного анализа в проекционной коре в период новорожденное™ до формирования динамических избирательных функциональных систем, адекватных решаемой задаче, к 6-7 годам.

Вовлечение лобных областей коры в когнитивные операции, формирование избирательных функциональных систем, их возрастающая динамичность свидетельствуют о том, что перестройка зрительной системы на этом этапе онтогенеза связана не только с процессами, происходящими в зрительных корковых зонах, а, в значительной мере, определяется созреванием регуляторных систем (РС) мозга.

РЕГУЛЯТОРНЫЕ СИСТЕМЫ И ФОРМИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВНИМАНИЯ

Модулирующие или регуляторные системы мозга, включающие глубинные структуры, оказывают влияние на активность нейронов сенсорно-специфических и ассоциативных корковых зон, создавая условия для наиболее адекватной обработки информации и организации деятельности.

Регуляторным системам принадлежит важнейшая роль в когнитивной деятельности. Они обеспечивают: 1) диффузную активацию коры и поддержание ее тонуса (стволовые структуры); 2) эмоционально-мотивационную регуляцию (лимбические структуры) и 3) локальные, избирательные, модулирующие влияния на активность различных корковых областей связанных с функционированием высших регуляторных центров (лобные и теменные области) и их нисходящих связей к другим структурам мозга.

С созреванием регуляторных систем разного уровня связано формирование процесса внимания, являющегося ведущим компонентом любой произвольной деятельности. Функционирование системы диффузной неспецифической активации обнаруживается с момента рождения ребенка и проявляется в ориентировочной реакции (ОР) на неожиданные и биологически значимые стимулы. При действии стимулов регистрируются вегетативные, двигательные компоненты ОР и одновременно отмечаются генерализованные изменения ЭЭГ в виде ее уплощения (реакция *arousal*), возникающие в результате активирующих влияний ретикулярной формации среднего мозга на кору больших полушарий [9]. Вместе с тем, уже в период новорожденное™ начинает функционировать система внимания, обеспечивающая начальные формы познавательной деятельности - восприятие внешней информации. Условия для избирательного зрительного восприятия создаются благодаря наведению взора на движущийся объект

и слежению за ним с помощью глазных движений. Это так называемое открытое экзогенное непроизвольное внимание в реализации которого участвуют переднее двухолмие и зрительная кора. С функционированием этой формы внимания связано преимущественное восприятие новорожденными движущихся объектов. В течение первых трех месяцев жизни, по мере включения в восприятие теменных отделов коры больших полушарий, существенно изменяются механизмы внимания [14]. При этом не только перемещение знакомого объекта, но и новые неподвижные объекты в равной мере начинают привлекать внимание младенца. Появляется способность к выделению параметра новизны, что возможно только при сравнении нового со знакомым. Формируется скрытое внимание (covert attention), опосредованное вовлечением в процесс восприятия заднеассоциативных структур мозга. Созревание этих структур обеспечивает также возможность запечатлевания предъявляемых объектов в индивидуальном опыте.

Важнейшей составляющей привлечения внимания к внешним стимулам на данном этапе онтогенеза является эмоциональная реакция на новизну, проявляющаяся в комплексе оживления в виде улыбки, вокализации, поворота глаз, головы, движения рук в сторону нового объекта. Эмоциональная реакция на новизну - мотивационный компонент внимания - продлевает контакт ребенка с объектом, облегчая его анализ в специфических зонах коры при еще несовершенных в данном возрасте механизмах избирательной обработки информации. Важную роль в эмоциональной оценке новизны приобретает лимбико-кортикальная регуляторная система. О ее вовлечении свидетельствует появляющийся в ответ на новые стимулы, θ -ритм. Эта форма ЭЭГ-реакции на новизну, отражающая эмоциональную активацию, связанную с предпочтением нового объекта [24], является в первые месяцы жизни, сохраняется в течение всего периода раннего детства и имеет важное биологическое значение, облегчая восприятие и анализ внешней информации.

Качественные изменения в развитии эмоционально-мотивационных компонентов внимания, определяющие формирование когнитивной деятельности ребенка, происходят во втором полугодии жизни. Они связаны с появлением первых форм произвольной регуляции деятельности. Восемимесячный младенец уже способен удерживать внимание в ожидании появления исчезнувшего эмоционально привлекательного объекта (убранной игрушки или экспериментатора, спрятавшегося за дверью после игры). Этот вид поведения (ожидание, антиципация) существенно отличается от наблюдающегося в первом полугодии жизни, когда исчезающий из поля зрения предмет пропадает и из поля внимания младенца. По данным Т. А. Строгановой и соавт. [25], описанное выше состояние произвольно привлеченного внимания сопровождается увеличе-

нием мощности θ -ритма ЭЭГ в передних (лобных и центральных) отделах коры. Такой характер изменений электрической активности мозга свидетельствует, во-первых, о вовлечении лимбической РС в процесс удержания внимания, а, во-вторых, об участии лобных отделов в мозговом обеспечении внимания и произвольной регуляции поведения уже к концу первого года жизни. В морфологических исследованиях показано, что к 7-8 месяцам происходят существенные изменения cito- и фиброархитектоники лобной коры: увеличиваются площадь синапсов [26], ширина пучков радиальных волокон, площадь дендритных полей [8], возрастает метаболизм нейронов [27]. Этот период характеризуется изменениями в мотивационной сфере: появлением новой "деловой" потребности и сменой ведущей деятельности с эмоционального общения со взрослым на предметно-манипулятивную. В возрасте 6-8 месяцев также выявляются первые признаки возникновения речевого управления действиями ребенка. На этом этапе развития действие разделено между ребенком и взрослым [6], который берет на себя функцию произвольной регуляции поведения младенца. Ребенок 6-8 месяцев способен выполнять простейшие действия по инструкции взрослого (например, находить взором требуемый предмет) [28]. В то же время на этом возрастном этапе малыш легко отвлекается на различные раздражители окружающей обстановки, из-за чего часто не выполняет инструкцию. Способность сопротивляться отвлечению, являющаяся одним из важнейших компонентов произвольной деятельности, формируется к концу первого года жизни [29].

Возможность ребенка к концу первого года произвольно удерживать внимание коррелирует со степенью сформированности электрической активности во фронтальных областях коры и с формированием функциональных связей, оцениваемых по показателям когерентности ЭЭГ, между передними и задними областями коры [30]. При исследовании метаболизма различных областей коры [31] показано, что к концу первого года жизни в ситуации удержания внимания наблюдается увеличение содержания оксигемоглобина в лобных отделах. В течение первых лет жизни по мере продолжающегося созревания коры и формирования ее управляющих функций существенно изменяются поведенческие проявления внимания, что во многом определяется развитием речи и ее регулирующей функции. Психологические данные демонстрируют прогресс в развитии способности руководствоваться правилами, заданными в инструкции (усваивать программы деятельности), и в способности сопротивляться отвлечению, даже в конфликтной ситуации, когда условия задачи провоцируют к действию, противоположному тому, которое требуется инструкцией. При этом свою ведущую роль сохраняет эмоционально-мотивационная составляющая внимания, связанная с активностью лимбической РС мозга, а в ЭЭГ со-

храняется незрелый тип реакции активации - реакция в виде усиления β -колебаний.

В дошкольном возрасте познавательная потребность проявляется как стремление к новым впечатлениям, и новизна окружающих ребенка объектов является ведущим фактором привлечения *внимания* к предпочтению новизны прибавляется и стремление к разнообразию, что связывается с активным вовлечением в процесс внимания ключевой структуры лимбического мозга - гиппокампа [24]. Повышение функциональных возможностей системы восприятия создает условия для более дифференцированного выделения признака новизны компараторным аппаратом гиппокампа. Таким образом, все больше признаков попадает в сферу внимания ребенка. С 4 до 7 лет быстро нарастает объем внимания. ЭЭГ-корреляты привлечения внимания в этом возрасте - увеличение мощности ритмов θ -диапазона, что отражает характерные особенности активационных процессов ребенка-дошкольника, их эмоциональную окрашенность и связь внимания с категорией предпочтения [24].

Развитие корковых механизмов переработки информации определяет постепенное вытеснение "эмоциональных" составляющих непроизвольного внимания "когнитивными" и формирование механизмов избирательной активации. В 5-6-летнем возрасте реакция, представленная характерной для взрослого блокадой ос-ритма, наблюдается в 40% случаев, хотя и в более старшем возрасте у части детей сохраняется "эмоциональный" тип реакции активации [32].

Появлению "зрелого" типа реакции активации в виде десинхронизации ос-ритма к концу периода дошкольного детства способствует развитие нейронно-аппарата коры. Еще одним фактором, определяющим формирование активационных компонентов внимания в возрасте 5-7 лет, является функциональное созревание восходящей неспецифической ретикулярной формации среднего мозга и усиление степени активированности коры, что проявляется в изменениях фоновой ЭЭГ ребенка в виде значимого снижения к 6-7 годам представленности билатерально-синхронных медленных ритмических колебаний в каудальных отведениях [33].

Уже в самом начале дошкольного периода в когнитивной деятельности ребенка происходят существенные изменения, связанные с совершенствованием процессов произвольной регуляции, которая на этом этапе индивидуального развития осуществляется еще по внешней инструкции, исходящей от взрослого. По данным А.В. Запорожца и соавт. [17], формирование произвольного действия в дошкольном возрасте проходит ряд этапов и зависит от сложности задачи и ведущей афферентации, на которую опирается произвольное действие. Роль слова, по сравнению с непосредственными сенсорными воздействиями, возрастает не только абсолютно, но и

относительно. При этом, если в качестве ведущей выступает зрительная афферентация, то возможность речевой регуляции возникает сравнительно раньше, чем при ведущей кинестетической афферентации.

К концу дошкольного периода ребенок становится способным использовать знак в качестве средства внешнего опосредования своих действий [6]. Это принципиальный этап в развитии произвольной регуляции высших психических функций - возникают новые сложные психологические системы, с новыми внутрисистемными функциональными отношениями и с изменениями самих функций [6]. В старшем дошкольном возрасте начинается бурное развитие опосредованных форм запоминания [34], изменяется система зрительного восприятия, когда процесс опознания начинает основываться не только на перцептивных, но и на категориальных характеристиках объекта [35]. В то же время на этом этапе онтогенеза функции программирования, регуляции и контроля деятельности не являются еще достаточно зрелыми для того, чтобы обеспечивать высокую подвижность мышления и различные аспекты мыслительной деятельности, связанные с формированием абстрактных понятий. Так, Г. Челуне и Р. Баер [36] отмечают, что 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.

Существенные изменения эффективности управляющего внимания и произвольной организации деятельности наблюдаются к концу периода дошкольного детства и связаны с формированием нейрофизиологических механизмов нисходящих избирательных модулирующих влияний на кору головного мозга со стороны высших центров регуляции - лобных отделов. Об этом свидетельствуют данные электрофизиологических исследований. Анализ вызванных зрительных потенциалов [37] в ситуации мобилизационной готовности показал, что к 5 годам ребенок может удерживать внимание по внешней инструкции, что отражается в увеличении позитивного компонента P300. Однако генерализованный характер изменений ВП свидетельствует о том, что в этом возрасте влияние нейрофизиологических механизмов произвольного внимания на процессы обработки информации в коре носит еще недифференцированный характер. Вовлечение лобных отделов коры в виде избирательного роста амплитуды позитивных компонентов и изменения структуры ВП в этих зонах мозга отмечается только с 6-7 лет, а селективное влияние произвольного внимания на электрическую активность сенсорно-специфических зон формируется еще позже

Учитывая, что младший школьный возраст рассматривается как один из критических периодов раз-

вития [38], когда ребенок сталкивается с новыми условиями среды и социального взаимодействия, выяснение степени зрелости регуляторных систем на этом этапе онтогенеза является особенно значимым.

Большинство исследований взаимоотношений между созреванием мозга и развитием познавательных процессов у детей базируется на сопоставлении возрастной специфики психической деятельности и бщепопуляционных данных о характере морфофункциональной организации мозга на соответствующем этапе онтогенеза. Более информативным следует признать индивидуальный подход, используемый в наших исследованиях [39,40]. Для выявления базовых мозговых механизмов, обеспечивающих формирование познавательной деятельности, индивидуальные особенности степени функциональной зрелости и функциональной организации мозга, оцениваемые по электроэнцефалограмме, сопоставлялись со степенью сформированности у этих детей показателей произвольной организации познавательных функций, выявляемой в нейропсихологических и психофизиологических исследованиях.

Широко распространенные методы количественного описания частотных и амплитудных параметров ЭЭГ не позволяют оценить функциональное состояние глубинных РС, так как активность этих систем отражается на ЭЭГ в виде билатерально синхронных часто кратковременных вспышек, различающихся не только частотой, но и формой колебаний. Визуальный качественный анализ является в этом случае более оптимальным методом. Для индивидуальной оценки функционального состояния и уровня функциональной зрелости РС мозга используется специально разработанный метод унифицированного качественного описания фоновой суммарной ритмической биоэлектрической активности - структурный анализ ЭЭГ [41]. Исходными данными при проведении структурного анализа являются паттерны электрической активности, выделяемые при визуальной оценке нативной ЭЭГ, регистрируемой в состоянии спокойного бодрствования. Описание и анализ электрической активности строится на основе объединения однородных по функциональному значению ЭЭГ-паттернов в структурные единицы - блоки, характеризующие функциональное состояние коры как в целом, так и ее отдельных областей и состояние глубинных регуляторных структур. Унифицированное описание и анализ ЭЭГ с помощью такой структурной схемы позволяет характеризовать индивидуальные, возрастные и специфические (у детей с трудностями обучения различного генеза) особенности функционального состояния мозга в целом и его отдельных систем. Для сбора данных и формирования заключения о функциональной зрелости мозга используется созданная с учетом принципов структурного анализа компьютерная программа "ЭЭГ-эксперт" (авторское свидетельство № 2006611586).

Исследование по описанной методике на большой выборке (более 500 человек) детей дошкольно-

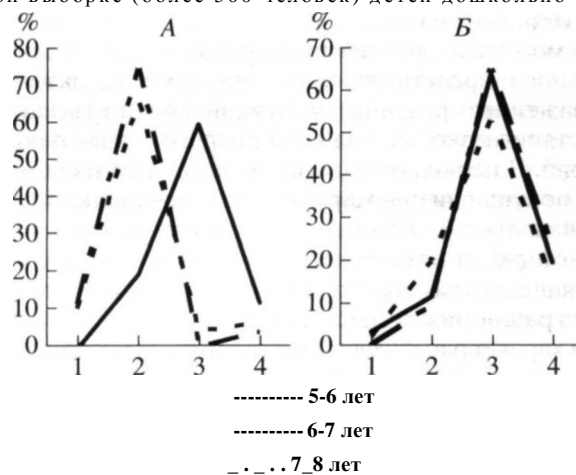


Рис. 1. Возрастные изменения функционального состояния глубинных регуляторных систем (РС) головного мозга по данным качественного структурного анализа нативной ЭЭГ.

По оси ординат - частота встречаемости (в %) различных вариантов ЭЭГ-паттернов, характеризующих функциональное созревание регуляторных систем мозга у детей 5-6, 6-7 и 7-8 лет. А - дети без трудностей обучения; Б - дети с трудностями обучения. По оси абсцисс - ЭЭГ-признаки функционального состояния РС: 1 - отсутствие паттернов электрической активности (ЭА) глубинного генеза; 2 - генерализованные изменения ЭА стволового генеза; 3 - функциональная незрелость фронто-таламической системы, дефицит неспецифической активации.

го и младшего школьного возраста позволило выделить параметры ЭЭГ, характеризующие степень морфофункциональной зрелости коры и регуляторных структур разного уровня у детей 5-6, 6-7, 7-8 и 9-10 лет [42].

I Анализ характера основного ритма ЭЭГ и паттернов ЭЭГ, отражающих состояние глубинных структур мозга, показал, что период от 5 до 10 лет, характеризуется существенными изменениями коркового ритмогенеза и функционального состояния модулирующих регуляторных систем (рис. 1, Л). Качественный сдвиг в созревании фронтальных отделов мозга и их связей с глубинными структурами (фронто-таламической регуляторной системы) происходит при переходе от 5-6 к 6-7 годам. Прогрессивная динамика развития регуляторных систем является необходимым условием развития нейрофизиологических механизмов селективной настройки мозга на обработку значимой информации и тем самым создает основу для формирования к 7 годам избирательного произвольного внимания и избирательной произвольной регуляции деятельности. Важно отметить, что у детей, испытывающих трудности на начальном этапе школьного обучения, сохраняются присущие 5-6-летним признаки незрелости коры и регуляторных систем мозга (рис. 1, Б).

Результаты спектрального анализа ЭЭГ и оценки функции когерентности ритмических компонентов ос-диапазона [42] показали, что для дефинитивной мозговой организации произвольного избирательного предстимульного внимания характерны выраженные различия в функциональном взаимодействии корковых областей правого и левого полушарий. В период ожидания значимого сигнала в левом полушарии формируются избирательные функциональные объединения модульного типа, зависящие от перцептивной задачи и стороны стимуляции, тогда как в правом полушарии процессы интеграции носят неспецифический распределенный характер и объединяют преимущественно ассоциативные области. Обнаруженные нами различия в характере функционального взаимодействия корковых зон в левом и правом полушариях подтверждают представления многих авторов о межполушарных различиях нейронной организации коры головного мозга. Они могут служить объяснением многочисленных данных о специфике вовлечения полушарий в процесс реализации когнитивных функций, в том числе произвольного внимания.

Исследование детей 7-8 лет [42] показало, что в этом возрасте при условии соответствия функционального состояния регуляторных структур возрастной норме уже в известной степени сформированы нейрофизиологические механизмы избирательной модуляции корковой активности, обеспечивающие селективную настройку мозговых структур в соответствии с когнитивной задачей. При этом установлены существенные возрастные особенности функциональной организации избирательного внимания. Специфика функциональной организации коры при произвольном избирательном внимании у детей 7-8 лет состоит в отсутствии межполушарных различий и доминировании специфического модульного (левополушарного) типа функционального взаимодействия корковых зон в обоих полушариях. Эти факты заставляют пересмотреть широко распространенное мнение об опережающем развитии правого полушария по сравнению с левым. У детей 9-10 лет при сохранении биполушарной организации избирательных модально-специфических функциональных связей в правом полушарии уже преобладает распределенный тип взаимодействия между ассоциативными зонами. Сопоставление данных, полученных при исследовании детей обеих возрастных групп и взрослых, позволило сделать вывод о длительном формировании нейрофизиологических механизмов произвольного внимания в онтогенезе и относительной незрелости этих механизмов на начальных этапах обучения.

Незрелость механизмов произвольного внимания в 7-8-летнем возрасте проявляется и в специфике функциональной организации мозга при реализации различных видов когнитивной деятельности. Так, в исследованиях Ю.В. Кулаковского и Н.В. Дуб-

ровинской [43] было показано, что в ситуации ожидания вербального задания и при реализации этого вида деятельности у детей 7-8 лет наблюдается генерализованное усиление внутрикортикального взаимодействия как в левом, так и в правом полушарии. В 10 лет в этих ситуациях выявляется свойственная взрослым избирательная интеграция речевых зон левого полушария, при этом характер объединения областей коры еще отличается от дефинитивного некоторой избыточностью внутрикортикального взаимодействия.

Длительность формирования регуляторных систем в младшем школьном возрасте и их роль в организации когнитивной деятельности подтверждена в нейропсихологических и психометрических исследованиях. Нейропсихологический анализ [44] включал оценку различных компонентов управляющих функций, которые были отнесены к трем группам в соответствии с представлениями А.Р. Лурия [45] о функциях лобных долей головного мозга: компоненты, связанные с избирательной регуляцией произвольных действий; компоненты, связанные с программированием произвольных действий; компоненты, связанные с контролем над осуществлением произвольных действий.

Сравнительный нейропсихологический анализ различных компонентов произвольной организации деятельности у детей 5-6,6-7,7-8 и 9-10 лет, в ЭЭГ которых не было выявлено признаков незрелости РС мозга, позволил обнаружить значимое снижение трудностей избирательной регуляции от 5-6 к 7-8 годам. В этот же период значительно улучшаются и затем остаются примерно на одном уровне возможности контроля собственных действий. При переходе к 9-10 годам происходит некоторое увеличение дефицита избирательной регуляции. В то же время к 9-10 годам выявляются наиболее выраженные прогрессивные сдвиги в формировании функции программирования действий (рис. 2). Таким образом, нейропсихологический анализ свидетельствует о гетерохронии формирования различных компонентов управляющих функций у детей в период от 5-6 до 9-10 лет. Вместе с тем, следует отметить, что периодом наиболее существенных изменений является возраст от 6 к 8 годам.

Выраженные прогрессивные сдвиги в 7-8 лет демонстрируют и психометрические показатели избирательного произвольного внимания. Параметры зрительного внимания исследовались на модели сложных иерархических стимулов, которые представляли собой большие буквы, составленные из маленьких букв. Эффективность селективного внимания оценивалась по разнице во времени реакции опознания большой и маленькой буквы. Было обнаружено, что этот показатель значительно уменьшается (эффективность внимания увеличивается) при переходе от 6-7 к 7-8 годам и остается без существенных изменений у детей 9-10 лет [46].

Междисциплинарный анализ возрастных и индивидуальных особенностей произвольной регуляции деятельности и внимания у детей показал, что критическим периодом в развитии мозговых механизмов этих функций является возраст от 6 до 8 лет. При переходе от 6-7 к 7-8 годам отмечается значимое повышение эффективности избирательного произвольного внимания, улучшение возможностей торможения непосредственных реакций, удержания усвоенной программы деятельности, опосредования собственных действий и принятия помощи взрослого. Именно на этом этапе онтогенеза происходят качественные изменения в созревании фронто-таламической системы, определяющей избирательную модуляцию активности коры в соответствии с задачами деятельности.

В критические периоды онтогенеза в функционировании мозга ребенка наиболее ярко проявляются индивидуальные различия в темпах созревания мозговых систем, обеспечивающих реализацию познавательных процессов. У детей 7-8 лет качественный анализ паттернов ЭЭГ выявил значительный индивидуальный разброс в уровне функциональной зрелости регуляторных систем мозга. Было обнаружено два типа отклонений функционального состояния РС от возрастной нормы: незрелость фронто-таламической системы (ФТС) и незрелость (дефицит) неспецифической активации со стороны регуляторной формации ствола мозга, наблюдаемые у значительного числа детей, испытывающих трудности на начальном этапе обучения в школе (рис. 1, Б).

Согласно данным проведенного нейропсихологического обследования, незрелость фронто-таламической регуляторной системы негативно влияет на состояние произвольной регуляции деятельности. У детей 7-8 лет это проявляется в повышении импульсивности, невозможности подавления ненужных действий, в инертности элемента программы независимо от модальности стимулов и характера деятельности, в трудностях переключения с программы на программу, в снижении устойчивости усвоенной программы, в трудностях создания стратегии деятельности, в снижении самоконтроля и слабом принятии помощи со стороны исследователя, в отсутствии положительного эффекта от использования различных приемов саморегуляции при усвоении программ деятельности. Наиболее выраженные отклонения отмечались для тех компонентов произвольной организации деятельности, которые связаны с избирательной регуляцией. Так, у детей с функциональной незрелостью ФТС обнаружены специфические трудности опознания локальных признаков значимого зрительного стимула.

Имеющиеся в специальной литературе многочисленные сведения о строении и функциях префронтальной коры и ее связей с глубинными, в том числе таламическими, образованиями позволяют считать, что ФТС оказывает избирательное модули-

рующее влияние на активность проекционных и ассоциативных областей коры, участвующих в реализации когнитивных процессов. Дефицит избирательной модуляции корковой активности у детей с функциональной незрелостью ФТС является тем нейрофизиологическим фактором, который приводит к обнаруженной нами несформированности произвольной регуляции деятельности, трудностям избирательного внимания и в конечном итоге к трудностям обучения. Это предположение полностью подтвердилось при электроэнцефалографическом исследовании функциональной организации коры больших полушарий у детей с разной степенью зрелости глубинных регуляторных структур в предстимульный период произвольного внимания.

Спектрально-корреляционный анализ электрической активности (ЭА) мозга детей младшего школьного возраста с функциональной незрелостью ФТС показал, что у этих детей отсутствует избирательная специфическая интеграция корковых зон в период преднастройки. Вместе с тем, у детей с дефицитом системы неспецифической активации, так же как в норме, выявлена избирательность и модальная специфичность пространственно-временной организации ЭА мозга в ситуации произвольного предстимульного внимания. Факты, полученные при исследовании детей с различной степенью функциональной зрелости регуляторных структур, являются экспериментальным подтверждением ключевой роли ФТС в избирательной модуляции активности коры и формировании механизмов произвольного внимания в младшем школьном возрасте.

Функциональная незрелость фронто-таламической регуляторной системы оказывает влияние не только на развитие произвольной организации деятельности и произвольного внимания, но также на формирование речевой функции, памяти и зрительного восприятия. Нейропсихологический анализ операциональной стороны высших психических функций позволил обнаружить у детей 7-8 лет с незрелостью ФТС отставание в развитии смыслообразующей функции речи, трудности запоминания объединенных по смыслу объектов и трудности названия предметов при зрительном опознании. Эти данные, свидетельствующие об относительной "слабости" левополушарных функций, подтвердились при анализе функциональной организации коры головного мозга с помощью спектрально-корреляционного анализа ЭЭГ покоя: у детей с незрелостью ФТС было обнаружено снижение степени локального функционального взаимодействия между зонами левого полушария по сравнению с детьми, у которых состояние регуляторных структур соответствовало возрастной норме, и детьми с дефицитом неспецифической активации [47].

Таким образом, сочетание структурного и спектрально-корреляционного анализа ЭЭГ с психофизиологическим и нейропсихологическим тестирова-

нием познавательной сферы у детей младшего школьного возраста позволило выявить, возможно, одну из основных причин трудностей на начальных этапах систематического обучения. Эта причина - функциональная незрелость ФТС, приводящая к несформированности нейрофизиологических механизмов, обеспечивающих произвольную избирательную "настройку" мозговых структур при реализации когнитивной деятельности, программирование, контроль и организацию деятельности.

РОЛЬ РЕГУЛЯТОРНЫХ СИСТЕМ В ОБЕСПЕЧЕНИИ УСПЕШНОСТИ УЧЕБНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Выше было показано, что у значительной части детей, испытывающих трудности на начальном этапе систематического обучения в школе, недостаточно зрелой является ФТС и соответственно мозговая организация избирательного внимания, что сказывалось на показателях произвольной регуляции деятельности. Незрелость системы неспецифической активации приводила к значительно меньшим изменениям познавательной деятельности ребенка. В комплексных нейрофизиологических и психофизиологических исследованиях было установлено дифференцированное влияние функциональной незрелости коры больших полушарий и регуляторных систем на формирование школьно-значимых функций [39]. Было показано, что при наличии в ЭЭГ признаков незрелости коры больших полушарий снижены показатели, связанные со зрительным восприятием. Наличие признаков незрелости ФТС соответствовали трудности в организации деятельности: меньше, чем в норме, были показатели развития мелкой моторики и графических умений. Наиболее четко влияние функциональной незрелости мозга проявляется при формировании навыка письма - одного из сложнейших видов произвольной когнитивной деятельности. Овладение письмом играет особую роль в развитии познавательной деятельности ребенка.

Становление навыка письма, его совершенствование в процессе обучения определяются как развитием механизмов регуляции и контроля деятельности, так и структурно-функциональным созреванием иерархически организованной двигательной системы. Возрастная специфика механизмов организации процесса письма изучалась при одновременной регистрации электрической активности зрительных, моторных и ассоциативных корковых зон, электромиограммы работающих мышц [48,49]. Известно, что начальным этапом любой целенаправленной деятельности, во многом определяющим ее результативность, является стадия подготовки к ее реализации, включающая ожидание инструкции к деятельности - неспецифическая активация (1 фаза подготовки), и готовность к конкретной деятельности - выбор и организация программы деятельности (2 фаза). При подготовке к письму вторая фаза включает направленное внимание, сохранение

определенной позы, фиксацию взора, подготавливая руки с ручкой к письму. Исследование фаз подготовки к деятельности выявило специфику их функциональной организации у праворуких детей 6-7 и 9-10 лет. При анализе функции когерентности (Ког) ритмических компонентов ЭЭГ показано, что при реализации первой фазы независимо от возраста превалирует снижение степени синхронизации ритмов ЭЭГ, отражающее распад сложившегося в фоне объединения корковых зон. У детей 6-7 лет снижение степени синхронизации ритмов ЭЭГ наблюдается и на второй фазе подготовки к письму. Такой тип изменения функциональной организации мозга в процессе подготовки к деятельности можно рассматривать как адаптивную реакцию, приводящую к увеличению степеней свободы за счет снижения взаимодействия различных корковых структур, что является необходимым условием подготовки к реформированной деятельности при трудностях выбора адекватной моторной задачи.

Картина пространственно-временной организации биопотенциалов и межполушарного взаимодействия в ситуации готовности до и после предупредительного сигнала становится совершенно иной у детей 9-10 лет на этапе, когда навык письма уже сформирован. В 9-10 лет уже в первой фазе подготовки к движениям отмечено усиление межполушарного взаимодействия лобных областей по 9- и (3- ритму, центральных - по Э- ритму, затылочных - по ос- ритму, что отражает создание новой констелляции совместно работающих центров. Характер динамики топографии этих процессов вполне соответствует данным об увеличении пространственной синхронизации лобных и центральных зон при освоении движений [50,51]. Наряду с усилением лобно-центрального взаимодействия по а- и (3- частотам, принимающим активное участие в формировании рабочих констелляций, модально-специфических предстоящей деятельности, выделяется усиление синхронизации по Э- ритму, которое отражает эмоционально мотивационную активацию [24,52].

Рис. 2. Возрастная динамика формирования функций программирования, регуляции и контроля деятельности по данным нейропсихологического обследования. По оси ординат - частота встречаемости (в %) трудностей различных компонентов программирования (Л), избирательной регуляции (Б) и самоконтроля (В) у детей 6-7 лет (заштрихованные столбики), 7-8 лет (белые столбики) и 9-10 лет (черные столбики). По оси абсцисс:

На Л: П1 - трудности усвоения инструкции в конфликтной пробе; П2 - трудности следования намеченной программе при копировании фигуры Тэйлора; П3 - трудности усвоения серий при выполнении пробы на исследование динамического праксиса; П4 - трудности создания стратегии копирования (непоследовательная или хаотичная стратегия) фигуры Тэйлора; П5 - трудности создания стратегии пересказа текста.

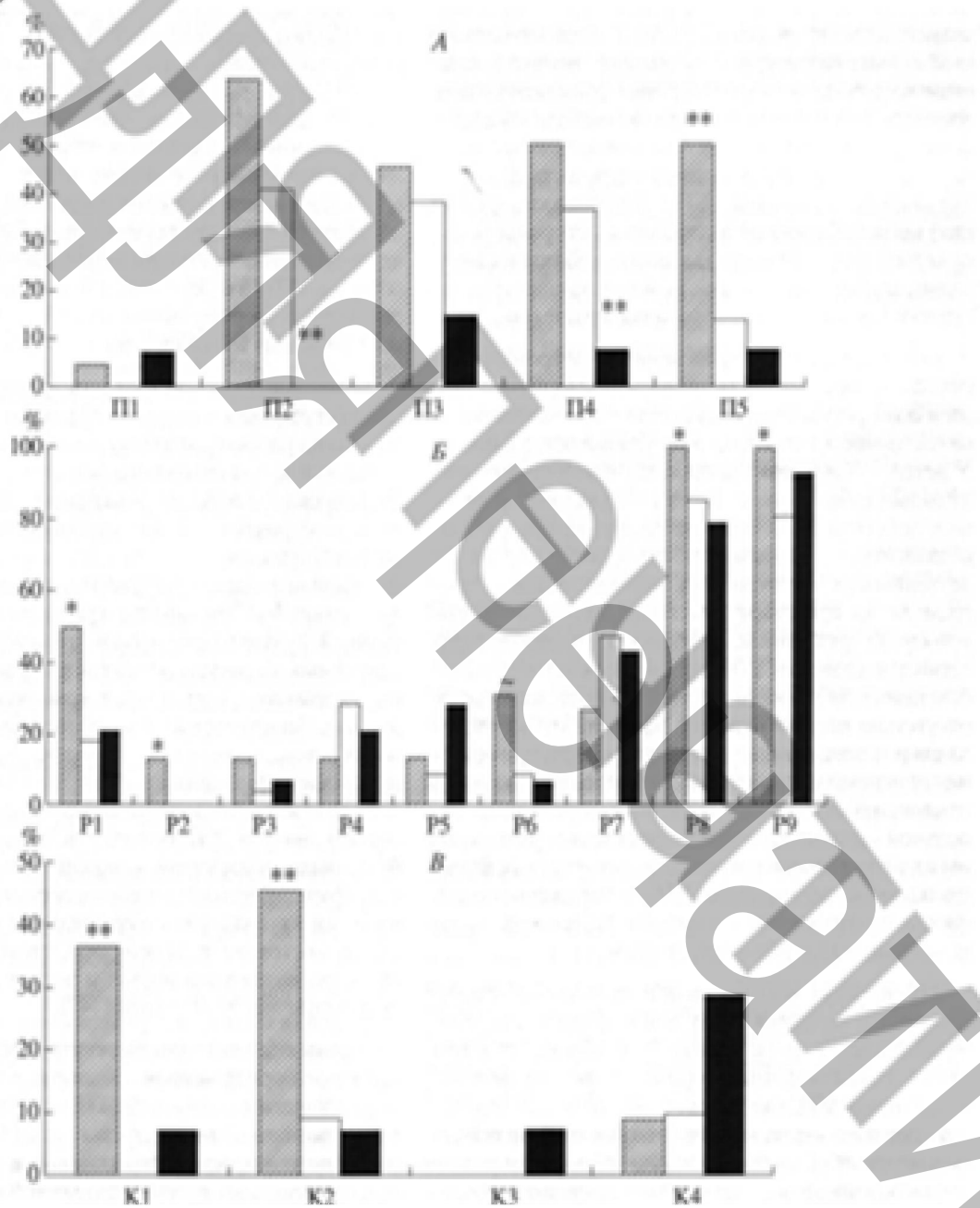
На Б: Р1 - наличие эхо-реакций при выполнении конфликтной пробы; Р2 - наличие опережающих

ответов при выполнении конфликтной пробы; P3 - наличие персевераций при выполнении конфликтной пробы; P4 - наличие персевераций при выполнении графической пробы; P5 - наличие трудностей переключения с программы на программу при выполнении конфликтной пробы; P6 - наличие трудностей удержания усвоенной программы при выполнении конфликтной пробы; P7 - наличие трудностей удержания усвоенной программы при выполнении пробы на исследование динамического праксиса; P8 - отсутствие

на K1 - игнорирование ошибок при выполнении конфликтной пробы; K2 - игнорирование ошибок (пропусков) при копировании фигуры Тэйлора даже при указании исследователя на их возможное наличие; K3 - игнорирование ошибок при выполнении пробы на исследование динамического праксиса; K4 - игнорирование ошибок при выполнении графической пробы.

Наличие значимых различий: * - при $p < 0.05$; ** - при $p < 0.01$; ~ - наличие тенденции к значимым различиям между группами. Данные из работы [43].

опосредования действий при выполнении пробы на исследование динамического праксиса; P9 - отсутствие опосредования действий при выполнении графической пробы.



При переходе ко второй фазе подготовки к деятельности как у 6-7-летних, так и 9-10-летних детей усиление взаимодействия областей коры наблюдается преимущественно в правом полушарии. Однако в 9-10 лет формирующиеся связи более локальны, что может свидетельствовать о переходе от функциональной избыточности, неадекватности функциональных перестроек к значимому росту когерентности тех зон коры, которые будут "включены" в обеспечение многокомпонентной деятельности в ситуации готовности. Усиление межполушарных переднецентральных связей отражает участие этих структур в ситуации двигательного внимания. Наблюдаемое усиление взаимодействия лобной области правого полушария с затылочной зоной, по-видимому, отражает направленность внимания на зрительную афферентацию, играющую важнейшую роль в реализации письма, об этом же свидетельствует и усиление межполушарного взаимодействия затылочных областей.

Важно подчеркнуть, что у детей при выборе моторной программы во второй фазе подготовки к движениям большее число перестроек внутриполушарного взаимодействия отмечено в ипсилатеральном полушарии. Данные о том, что перед движением сенсорная информация последовательно обрабатывается в ипсилатеральной гемисфере, прежде чем она будет передана через мозолистое тело в контралатеральное полушарие [53], могут объяснить эффект большей активации ипсилатерального полушария в ситуации подготовки к движениям.

Анализируя динамику внутриполушарного и межполушарного взаимодействия у детей 9—10 лет, на этой фазе подготовки к движениям следует отметить увеличение когерентности в зонах, ответственных за выбор моторной программы и принятие решения [45,54—58], т.е. в зонах, адекватных предстоящей деятельности. В данном случае это выбор моторной программы, в основе которого лежат сканирование информации из памяти, а также пространственное восприятие и анализ (листа, ручки, соотношений частей тела, мысленное проигрывание пространственной схемы движений).

Представление об иерархической организации системы управления движениями предполагает как взаимодействие структур внутри одного уровня (например, уровень неокортекса), так и на разных уровнях. Основой для изучения возможного взаимодействия электрической активности мышц и структур мозга являлись исследования спектра волновых процессов электромиограммы, позволившие выявить ритмические компоненты, близкие к диапазону электроэнцефалограммы [59, 60]. Это позволило осуществить спектрально-корреляционный анализ биопотенциалов ряда корковых зон и мышц у детей на разных этапах организации навыка письма. В работе, проведенной при участии взрослых людей, также при использовании спектрального анализа с

оценкой функции когерентности, было показано, что в процессе письма (написание слова) увеличивается взаимодействие мышц работающей правой руки с различными корковыми зонами: сенсомоторной корой обоих полушарий, контралатеральными премоторной и заднетеменной областями. Исследования формирования навыка письма показали, что не только при движении, но и в покое, и при подготовке к деятельности существует определенное взаимодействие разных уровней двигательной системы [48,49].

При анализе взаимодействия электрической активности фронтальных, центральных, затылочных зон коры и электрической активности работающих мышц (поверхностного сгибателя и общего разгибателя пальцев) в фоне и при подготовке к деятельности выявлена когерентность между потенциалами мозга и мышц в диапазоне Э-, а- и р-частот с выраженными пиками Ког в а-диапазоне. Вполне вероятно, что обнаруженный феномен синхронизации биопотенциалов мозга и мышц является отражением функционального взаимодействия различных уровней управления движениями. Несмотря на то, что механизмы синхронизации корковой активности и электрической активности мышц недостаточно ясны, функциональная значимость этого феномена, по-видимому, связана с организацией позных компонентов, предваряющих движение, с адаптивной регуляцией положения руки, кисти, пальцев, т.е. того основного фона, без которого невозможно выполнение движения.

Следует отметить, что характер взаимодействия биопотенциалов мозга и мышц и его перестройка в разных фазах подготовки к движениям существенно отличаются у детей разного возраста и на разных этапах формирования навыка, однако в обеих возрастных группах наблюдается усиление показателей взаимодействия биопотенциалов коры (вне зависимости от зоны и полушария) с биопотенциалами мышцы-агониста. С возрастом увеличивается количество детей, у которых отмечен рост Ког биопотенциалов фронтальных зон коры и биопотенциалов мышц. В 6-7-летнем возрасте более чем в 70% случаев биопотенциалы мышц "связаны" с биопотенциалами затылочных и центральных зон коры, и лишь у 23% детей отмечался рост Ког биопотенциалов фронтальных зон коры и мышц. У детей 9-10 лет в процесс совместной функциональной "настройки" при подготовке к движениям "включаются" фронтальные зоны коры: выраженные пики когерентности биопотенциалов мышц и лобной коры (преимущественно в ос-диапазоне) отмечены у 81% детей этого возраста.

Изменение взаимодействия биопотенциалов мозга и мышц в первой фазе подготовки к движениям можно рассматривать как отражение процессов "двигательного внимания", ожидания в ситуации неопределенности. Снижение степени неопределенно-

сти после инструкции переносит активность перестроек между потенциалами мозга и мышц в затылочные отделы коры. При этом достоверно снижаются значения функции когерентности биопотенциалов мозга (преимущественно затылочных зон коры) и мышц - как агониста, так и антагониста. Вполне вероятно, что функциональное значение "ослабления" связей, характеризующих взаимодействие мышц и затылочных отделов коры, связано с активным включением зрительной афферентации в подготовку к движению, с необходимостью фиксации взгляда, анализом пространственных отношений, выбором траектории движения или мысленном его проигрывании [58, 61]. Зрительная информация помогает "калибровать" мышечную активность и наиболее релевантна для процессов, основная цель которых - принятие определенной позы, что и происходит при подготовке к движению.

Динамика взаимодействия биопотенциалов мозга и мышц по мере возрастного развития свидетельствует об изменении кортикального контроля мышечной активности - четко проявляется эффект минимизации перестроек межуровневого взаимодействия и усиливается взаимосвязь фронтальных и центральных зон коры с мышцами. Эти данные показывают, что в ситуации готовности к деятельности происходит выбор определенной структуры взаимодействия разных уровней, необходимой при последующей деятельности. Известно, что преднастроенные процессы перед движением характеризуются сложными и длительными спинальными перестройками, на уровне которых происходит активная интегрирующая работа по передаче возбуждения от коры к мышцам. В этот период отмечаются изменения в состоянии различных интернейронных систем, связанных с мотонейронами мышц-антагонистов и агонистов, причем преднастроенное повышение рефлекторной возбудимости мотонейронного ядра будущего агониста существенно больше, чем повышение рефлекторной возбудимости других мотонейронных ядер, возникающее еще до сигнала к движению [62]. В то же время повышение возбудимости будущего агониста расценивается как специфический локальный процесс, связанный с подготовкой к движению [58].

Таким образом, процесс подготовки к движению, связанный с функциональными перестройками на всех уровнях системы регуляции, можно рассматривать как этап формирования адекватной моторной задачи, отработки модели и программы предстоящего движения. На начальной стадии обучения, включающей значительную долю неопределенности, естественна избыточная готовность, несовершенство регуляторных процессов, проявляющееся на всех уровнях. В ходе развития и под влиянием опыта обучения совершенствуются механизмы подготовки к письму, обеспечивая возможность более точного определения моторной задачи, выбора тактики и стратегии движения.

Большую роль при этом играют прогрессивные перестройки механизмов произвольной регуляции деятельности в возрастном диапазоне от 6-7 к 9-10 годам. В настоящее время признанной является взаимосвязь планирования и генерации письма и их обусловленность процессами, осуществляющимися на разных уровнях нейромоторной системы [63]. Однако проблема эта имеет довольно длительную историю. До 80-х годов XX в. существовало два изолированных подхода к организации графических движений при письме. В одном из них (центральная нейрокогнитивная модель) акцент делался на роли высших когнитивных процессов - произвольной организации письма и иерархическом управлении (*top-down*) графическими движениями [64, 65]; другой - биофизический - базировался на значимости периферического звена моторной системы и роли восходящих посылок от перемещающихся пальцев в формировании нейронной модели [66]. С 90-х годов оба подхода существенно сблизились. В центральной нейрокогнитивной модели стала учитываться роль периферического потока от перемещающихся пальцев [67], а биофизическая модель дополнилась контролирующими центральными механизмами, включающими разные уровни нейромоторной системы [68,69].

Исследование процесса письма в период формирования этого навыка [48, 49] подтвердило значимых механизмов регуляции в организации этой деятельности. У детей 6-7 лет при письме, как и в период подготовки к деятельности, не изменяется характер внутрислобного взаимодействия в левой гемисфере, а значимые перестройки наблюдаются в правом полушарии, где усиливается степень синхронизации центральной и лобной областей с затылочной областью и отмечается усиление межполушарных связей между симметричными центральными и затылочными областями. Эти перестройки межцентральной интеграции свидетельствуют о значительной роли зрительной и зрительно-пространственной афферентации при выполнении письма в 6-7-летнем возрасте.

Характер взаимосвязи корковых областей существенно изменяется к 9-10 годам. У детей этого возраста основной особенностью динамики межцентрального взаимодействия при выполнении движений является формирование межполушарных связей лобных отделов коры и отсутствие таковых в затылочных областях, что свидетельствует об изменении значимости различных корковых структур в процессах организации и регуляции движений. Ведущим звеном контроля на начальном этапе формирования двигательного навыка, по-видимому, является зрительная система, а при относительно сформированном навыке в 9-10 лет "центр тяжести" программирования и коррекции движений переносится на переднеассоциативные структуры.

Следует отметить, что в 9-10 лет, как и в 6-7 лет, интенсивность перестроек в процессе выполнения движения меньше, чем при подготовке к движению, что является важным подтверждением роли подготовительного периода в обеспечении организации и регуляции процесса письма. Анализ формирования навыка письма с учетом индивидуальных и возрастных психофизиологических характеристик ребенка [70] выявил сложную психофизиологическую структуру этой деятельности. Наряду со специфическими зрительными, пространственными и моторными функциями в ее реализации важнейшая роль принадлежит регуляторным системам, от которых в значительной мере зависит избирательная мозговая организация и программирование этой важнейшей составляющей познавательной деятельности. На овладении навыком письма также существенно сказывается выявленная в исследованиях [71,72] незрелость центрального регуляторного механизма рабочей памяти. Незрелость механизмов рабочей памяти, функцией которой является удержание информации и манипулирование ею в течение всего времени выполнения когнитивного задания, ограничивает объем рабочей памяти в 6-8-летнем возрасте [73] и создает определенные трудности в сохранении зрительных образов букв, необходимом при освоении навыка письма.

Результаты исследования письма - необходимой школьной деятельности, так же как приведенные выше данные о механизмах, определяющих формирование когнитивных процессов, убедительно свидетельствуют о тесной двусторонней связи формирования произвольной организации деятельности и процесса обучения в дошкольном и младшем школьном возрасте. Несформированность механизмов избирательного внимания и произвольной регуляции деятельности приводит к трудностям обучения, обучение, направленное на развитие произвольного внимания, способствует прогрессивному формированию познавательной деятельности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Междисциплинарные исследования когнитивных процессов у детей разного возраста позволили выявить мозговые механизмы, определяющие формирование познавательной деятельности в процессе индивидуального развития и специфику ее реализации на разных этапах онтогенеза.

Важным этапом, во многом определяющем дальнейшее развитие познавательной деятельности, является младенческий возраст, когда интенсивное развитие нейронного аппарата коры больших полушарий определяет формирование процесса анализа и обработки информации, становление восприятия как активного процесса. Одним из периодов значительных перестроек мозговых механизмов познавательной деятельности является возраст 6-8 лет, который рассматривает

ся как критический период развития. На этом этапе онтогенеза происходят значительные изменения морфофункционального созревания коры больших полушарий и регуляторных структур мозга. Важным фактором формирования познавательной деятельности является созревание фронто-таламической регуляторной системы, обеспечивающей избирательную модуляцию активности различных областей коры в соответствии с задачами деятельности. При переходе от 5-6 к 7-8 годам значительно повышается эффективность произвольного внимания, формируется возможность выделения значимой информации и торможения непосредственных реакций, улучшается усвоение программы деятельности. Развитие управляющих функций определяет существенные прогрессивные изменения произвольной регуляции и организации деятельности. Незрелость регуляторных систем, в особенности фронто-таламической системы, приводит к несформированности избирательного внимания и произвольной регуляции деятельности, что, в свою очередь, вызывает трудности обучения. Следует подчеркнуть, что в 7-8 лет формирование когнитивных процессов не достигает дефинитивного уровня. Продолжающееся в младшем школьном возрасте и на последующих этапах онтогенеза структурно-функциональное созревание коры и, прежде всего, лобных отделов и их связи с другими структурами мозга опосредует дальнейшее развитие мозговых механизмов познавательной деятельности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Структурно-функциональная организация развивающегося мозга / Под. ред. Д.А. Фарбер, Л.К. Семенов, В.В. Алферовой и др. Л.: Наука, 1990. 198 с.

Brain development and cognition / Eds. D. Farber, Ch. Njiokiktjien. Amsterdam: Sugi press, 1993. 228 p.

Физиология развития ребенка (Теоретические и прикладные аспекты) / Под ред. М.М. Безруких и Д.А. Фарбер. М: Образование от А до Я, 2000.

Развитие мозга и формирование когнитивной деятельности/Подред. Д.А. Фарбер, М.М. Безруких. М.:Изд-во Московского психолого-социального института; Воронеж: Изд-во НПО "МОДЭК", 2009.432 с.

RuedaM.R.,FanJ.,McCandtissB.D. etal Development of attentional networks in childhood // Neuropsychologia.2004. V. 42. № 8. P. 1029.

Выготский Л. С. Собрание сочинений. М.: Педагогика, 1984. Т. 4. 380 с.

Haxbyl., Grady C, Horwitz B. Two visual processing pathways in human extrastriate cortex mapped with positronemission tomography // Brain Work and Mental Activity.Quantitative Studies with

- Radioactive Traces / Eds. Lassen N. et al. Copenhagen: Munksgaard, 1991. P. 324.
- Семенова Л.К., Васильева В.А., Цехмистренко Т.А.** Структурные преобразования коры большого мозга человека в постнатальном онтогенезе // Структурнофункциональная организация развивающегося мозга. Л.: Наука, 1990. С. 8.
9. **Фарбер Д.А.** Функциональное созревание мозга в раннем онтогенезе. М., 1969. 267 с.
 10. **Бауэр Т.** Зрительный мир грудного ребенка // Восприятие: механизмы и модели. М., 1974. С. 351.
 11. **Atkinson J., Braddich O., French J.** Contrast sensitivity of the human neonate measured by the visual evoked potentials // Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. 1979. V. 18. P. 210.
 12. **Бетелева Т.Т., Дубровинская Н.В., Фарбер Д.А.** Сенсорные механизмы развивающегося мозга. М., 1977. 175 с.
 13. **Burkhalter A., Bernardo K T., Charles V.** Development of local circuits in human visual cortex // J. Neurosci. 1993. V. 13. №5. P. 191.
 14. **Johnson M.** Constraints on cortical plasticity // Brain Development and Cognition / Ed. M. Johnson. Oxford, UK; Cambridge, USA, 1993. P. 703.
 15. **Nelson C A., Monk C.S., Lin J. et al.** Functional neuroanatomy of spatial working memory in children // Dev. Psychol. 2000. V. 36. № 1. P. 109.
 16. **Ruff H.** Infant recognition of invariant form objects // Child Dev. 1978. V. 49. P. 293.
 17. **Запорожец А.В.** Избранные психологические труды. М., 1986
 18. **Бетелева Т.Т.** Нейрофизиологические механизмы зрительного восприятия. М., 1983. 174 с.
 19. **Фарбер Д.А., Бетелева Т. Т.** Региональная и полушарная специализации операций зрительного опознания. Возрастной аспект // Физиология человека. 2005. Т. 31. №5. С. 24.
 20. **Cantone <?, Xiao J., Mc Farlane N., Levitt J.B.** Feedback connections to Ferret Striate cortex: Direct Evidence for visiotopic convergence of Feedback Inputs // J. Comparative Neurology. 2005. V. 487. P. 312.
 21. **Roland P., Hahazawa A., Udemann C.** Cortical feedback depolarization waves: A mechanism of top-down influence on each visual areas // PNAS. 2006. V. 103. № 33. P. 12585.
 22. **Kveraga Kestuties, Ghuman Avniel, Bar Moshe.** Top-down prediction in the cognitive brain // Brain Cogn. 2007. V. 65. №2. P. 145.
 23. **Macknik S., Martinez-Conde S.** The role of feedback in visual masking and visual processing // Advances Cogn. Psychol. 2007. V. 3. № 1-2. P. 125.
 24. **Дубровинская Н.В.** Нейрофизиологические механизмы внимания. Онтогенетическое исследование. Л., 1985. 144 с.
 25. **Строганова Т.А., Орехова Е.В., Посикера Н.Н.** Тетаритм ЭЭГ младенцев и развитие механизмов произвольного контроля внимания на втором полугодии первого года жизни // Журн. высш. нервн. деятельности. 1998. Т. 48. №6. С. 945.
 26. **Huttenlocher P.R., Dabholcar A.S.** Developmental anatomy of prefrontal cortex // Developmental of the Prefrontal Cortex: Evolution, Neurobiology, and Behavior/ Eds N.A. Krasnegor, G.R. Lyon, P.S. Goldman-Rakic. Baltimore, 1997. P. 69.
 27. **Chugani Gf Phelps M., Mazziotta J.** Positron emission tomography study of human brain functional development // Brain Development and Cognition / Ed. M. Johnson. Oxford (UK): Blackwell, 1993. P. 125.
 28. **Яковлева С.В.** Условия формирования простейших видов произвольного действия у детей дошкольного возраста // Проблемы высшей нервной деятельности нормального и аномального ребенка / Под ред. А.П. Лурия. Т. 2. М., 1958. С. 47.
 29. **Diamond A.** Neuropsychological insights into the meaning of object concept development // The epigenesis of mind: Essays on biology and cognition/Eds. S. Carey, R. German. Hillsdale, NY: Erlbaum, 1991. P. 67.
 30. **Fox N., Bell M.** Electrophysiological indices of frontal lobe development. Relations to cognitive and affective behavior in human infants over the first year of life // Ann. N. Y. Acad. Sci. 1990. V. 608. P. 677.
 31. **Baird A., Kagan J., Gaudet Th. et al.** Frontal Lobe Activation during Object Permanence: Data from Near-Infrared Spectroscopy // Neuroimage. 2002. V. 16. P. 1120.
 32. **Фарбер Д.А., Алферова В.В.** Электроэнцефалограмма детей и подростков. М., 1972. 215 с.
 33. **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.
 34. **Леонтьев А.Н.** Развитие высших форм запоминания // Избранные психологические труды в двух томах. Т. 1 / Под ред. В.В. Давыдова, В.П. Зинченко, А.А. Леонтьева, А.В. Петровского. М., 1983. С. 31.
 35. **Фарбер Д.А.** Развитие зрительного восприятия в онтогенезе. Психофизиологический анализ // Мир психологии. 2003. №2 (34). С. 114
- Helune G.J., Baer R.A.** Developmental norms for the Wisconsin Card Sorting Test // J. Clin. Exp. Neuropsychol. 1986. №8. P. 219.
37. **Горев А.С.** Динамика вызванных потенциалов в ситуации мобилизационной готовности у детей различного возраста // Физиология человека. 1984. Т. 10. №4. С. 538.
 38. **Фарбер Д.А., Безруких М.М.** Методологические аспекты изучения физиологии развития ребенка // Физиология человека. 2001. Т. 27. № 5. С. 8.
 39. **Безруких М.М., Мачинская Р.И., Сугрובה Г.А.** Дифференцированное влияние функциональной зрелости коры и регуляторных структур мозга на показатели познавательной деятельности у детей 7-8 лет // Физиология человека. 1999. Т. 25. № 5. С. 14.
 40. **Мачинская Р.И., Семенова О.А.** Особенности формирования высших психических функций у младших школьников с различной степенью зрелости регуляторных систем мозга // Журн. эволюц. биохимии и физиологии. 2004. Т. 40. № 5. С. 427.

41. Лукашевич И.П., Мачинская Р.И., Фишман М.Н. Диагностика функционального состояния мозга детей младшего школьного возраста с трудностями обучения // Физиология человека. 1995. Т. 20. № 5. С. 34.
42. 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.
43. Кулаковский Ю.В., Дубровинская Н.В. Возрастные особенности мозговой организации вербальной деятельности: электрофизиологический анализ // Физиология человека. 1997. Т. 23. № 3. С. 122.
44. Семенова О.А., Мачинская Р.И., Кошельков Д.А. Возрастные изменения произвольной регуляции деятельности в старшем дошкольном и младшем школьном возрасте // Культурно-историческая психология. 2007. № 4. С. 39.
45. Лурия А.Р. Высшие корковые функции человека. М., 1969. 504 с.
46. Мачинская Р.И., Крупская Е.В. Созревание регуляторных структур мозга и организация внимания у детей младшего школьного возраста // Когнитивные исследования. Вып. 2 / Под ред. В.Д. Соловьева, Т.В. Черниговской. М., 2008.
47. Мачинская Р.И., Соколова Л.С., Крупская Е.В. Формирование функциональной организации коры больших полушарий в покое у детей младшего школьного возраста с различной степенью зрелости регуляторных систем мозга. Сообщение I. Анализ когерентности альфа-ритма ЭЭГ // Физиология человека. 2007. № 33.
48. 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.
49. Безруких М.М. Центральные механизмы организации и регуляции произвольных движений у детей 6-10 лет. Сообщение II. Электрофизиологический анализ выполнения движений у праворуких детей // Физиология человека. 1998. Т. 24. № 3. С. 34.
50. Лазарев В.В. Структурно-пространственная организация ЭЭГ при произвольной двигательной деятельности // Актуальные проблемы психофизиологии и нейропсихологии. М., 1991. С. 45.
51. Сологуб Е.Б. Кортикальная регуляция движений человека. Л., 1981. 181 с.
52. Kahana M.J., Seelig B.V., Madsen J.R. Theta return // Curr. Opin. Neurobiol. 2001. V. 11. P. 739.
53. Ньюкинтмен У., Рамэркс Г., Дюшен Р. Развитие координации у детей: роль межполушарных связей // Физиология человека. 1991. Т. 17. № 5. С. 61.
54. Бернштейн П.А. О построении движений. М., 1947.
55. Бернштейн П.А. Очерки по физиологии движений и физиологии активности. М., 1966. 349 с.
56. Хомская Е.Д. Мозг и активация. М., 1972. 382 с.
57. Батуев А.С. Эволюция лобных долей и интегративная деятельность мозга. Л., 1973. 123 с.
58. Батуев А.С., Тауров О. П. Мозг и организация движений: концептуальные модели. Л., 1973. 139 с.
59. Хуторская О.Е., Безруких М.М. Статистическая оценка спектральных параметров ЭМГ как метода исследования мышечной деятельности у детей // Подготовка учащихся общеобразовательной школы к труду и защите Родины в процессе физического воспитания: Тез. 3 Всесоюз. конф. по физ. воспитанию и школьной гигиене. М., 1987. С. 156.
60. Безруких М.М., Хуторская О.Е., Смирнова С.И. Использование метода спектрального анализа электрической активности мышц при исследовании двигательной деятельности у детей // Новые исследования по возрастной физиологии. М., 1988. № 1. С. 46.
61. Kornhuber H. Motor function of cerebellum and basal ganglia: the cerebellocortical saccadic chock, the cerebellonuclear hold regulator, and basal ganglia ramp(voluntary) speed smoth movements generator //Cybernetic. 1971. №6. P. 157.
62. Коц Я.М. Организация произвольных движений. М., 1975. 247 с.
63. Meulenbroek R.G.J., Van A.W.A. Gemmert advances in the study of drawing and handwriting // Human Movement Science. 2003. V. 22. P. 131.
64. Van Gallen G.P., Teulings L. The independent monitoring of form and scale factors in handwriting // Acta Psychological. 1983. V. 54. P. 9.
65. Ellis A.W. Normal writing processes and peripheral acquired dysgraphias // Language and cognitive process 1988. V. 3. P. 99.
66. Levy J., Reid M. Variation in cerebral organization as a function of handedness, hand posture perceptual processes // Quarterly J. Experim. Psychol. 1986. V. 36. P. 459.
67. Wada Y., Kawato M. A theory of cursive handwriting based on the minimization principle // Biol. Cybernetics 1995. V. 73. P. 3.
68. Maulenbroe R.G.L., Rozenbaum DA., Thomas Wsen AJ.W.M. et al. Adaptation of reaching model to handwriting: how different effectors can produce the same written output and other results // Psychol. Res. 1996. V. 59. P. 64.
69. Plamondon R., Prtiviera CM. A neural model for generating and learning a rapid movement sequence // Biol. Cybernetics. 1996. V. 74(1). P. 117.
70. Безруких М.М. Обучение письму. Екатеринбург, 2009. 507 с.
71. Бетелева Т.Т., Силицын С.В. Связанные с событием потенциалы на разных этапах реализации зрительной рабочей памяти // Физиология человека. 2008. Т. 34. № 3. С. 5.

72. *Фарбер Д.А., Сеницын С.В.* Функциональная организация рабочей памяти у детей 7-8 лет // Физиология человека. 2009. Т. 35. № 2. С. 5.

73. *Diamond A.* The early development of executive functions // Lifespan cognition mechanisms of change / Ed.F. Bialystok, L.M. Clark. Oxford: University Press, 2006. P. 70.