

Развитие исполнительных функций в дошкольном возрасте

Н.П. Пушина

*кандидат психологических наук, научный сотрудник Центра нейрокognитивных исследований (МЭГ-центр), ГБОУ ВПО МГППУ, Москва, Россия,
n.pushina.lee@gmail.com*

Проблема развития процессов произвольного контроля поведения относится к фундаментальным проблемам психологии развития. Как в зарубежной, так и в отечественной традиции представления о произвольном (исполнительном) контроле поведения связывают с функционированием префронтальных областей коры головного мозга. Такой подход сформировался под влиянием клинических исследований последствий повреждения этих отделов мозга, и экспериментов с приматами.

Ключевые слова: исполнительные функции, фронтальная кора, дошкольный возраст.

В последние десятилетия это направление получило развитие в рамках когнитивной нейронауки в связи с принципиально новыми аналитическими подходами и методами исследования функций лобных долей головного мозга. Знания о закономерностях работы лобных областей коры пополнились данными, полученными с применением современных методов нейровизуализации процессов, происходящих в мозге во время решения различных когнитивных задач [5; 9]. В рамках этих разных подходов подчеркивается служебная (исполнительная) роль префронтальных функций по отношению к когнитивным процессам. По существу, они расцениваются как механизм исполнительного контроля, обеспечивающий поведение, направленное на достижение цели.

В данном обзоре рассматриваются два основных теоретических подхода к оценке роли исполнительных функций.

Долгие годы наиболее влиятельным научным течением в области исследова-

ния раннего когнитивного развития являлся подход, сформулированный в концепции Пиаже (*Когнитивный подход*). Предложенная им схема развития интеллекта имеет жесткую последовательность возрастных стадий, при которой переход на каждую последующую возрастную ступень связан с появлением новообразований в познавательных способностях ребенка и его поведении.

Развитие когнитивной сферы, по представлениям Пиаже, тесным образом связано с постепенным овладением ребенком логическими операциями мышления, то есть операциями на основе абстрактных понятий. С этой точки зрения ранний «доречевой» период в развитии ребенка, который именуется Сенсомоторным и охватывает первый и второй годы жизни как бы «наименее нагружен» изменениями в когнитивной сфере. Основными приобретениями ребенка становятся свобода от рефлексов и фиксации на исключительно сенсорных и дви-

гательных ощущениях и появление представления о постоянстве объекта, то есть возникновение системы внутренних репрезентаций объекта.

Мы не ставим перед собой цель подробно рассмотреть и оценить концепцию Пиаже [28; 29]. Для нас важно, что она во многом определила вектор исследований, как для ее последователей, так и для критиков. В частности младенчество — наиболее ранний период когнитивного развития — стало предметом пристального изучения лишь в сравнительно недавний период и в настоящее время это направление переживает исследовательский бум. Во многом это связано с проблемой разработки валидных методик оценки раннего развития, учитывающих особенности моторной сферы младенцев [26].

В психологии развития доминирующим является общий подход, отождествляющий улучшение возможностей произвольной регуляции с развитием исполнительных (фронтальных) функций.

Отдельные исследователи предпринимают попытки обобщить, накопленные в литературе экспериментальные данные об улучшении исполнительного контроля в период от 3 к 5—6 годам жизни ребенка, то есть к тому моменту, когда в сфере когнитивного развития происходит переход от дооперационной стадии (в терминах Пиаже) к стадии конкретных операций. Так Зелазо и др. [37] предлагают рассматривать развитие исполнительных функций в рамках так называемого подхода «решения проблем» (problem-solving paradigm). С позиций этого подхода в любой задаче или проблеме, которая предстает перед ребенком можно выделить 4 последовательные и качественно различные фазы:

1) Репрезентация проблем — определение проблемного пространства, т.е. выделение самой проблемы и возможных вариантов ее решения;

2) Планирование — анализ цели и средств, а также выбор одной стратегии из некоторого количества возможных вариантов;

3) Исполнение, в свою очередь разделенное на

— Удержание намерения/intending — удержание в памяти плана поведения

— Использование правил/rule use — непосредственный перевод плана в действия;

4) Оценка результатов действий, которая подразделяется на

— детекцию ошибок

— коррекцию ошибок

Кроме того, Зелазо и его коллеги [37] не выделяют отдельные исполнительные функции (ингибция, рабочая память), а утверждают, что существует единая исполнительная функция, которая, по существу, тождественна контролируемой деятельности и вносит вклад в каждую из перечисленных фаз решения проблемы.

Экспериментальные исследования, которые обобщают авторы данного подхода, также разделяются в строгом соответствии с фазами, выделенными в ходе решения проблемы.

Первая стадия — репрезентация проблемы — представлена, по мнению Зелазо задачами на селективное внимание, поскольку при выделении отдельной проблемы внимание действует по принципу фильтра, который позволяет сосредоточиться на релевантных аспектах ситуации проигнорировать все остальные. Исследований избирательного внимания у дошкольников, проведенных с использованием четких экспе-

риментальных парадигм, немного, и имеющиеся данные указывают на то, что дети в возрасте до 5 лет не могут концентрировать внимание в присутствии помехи.

Так в эксперименте Хамфри [17] детям в возрасте от 4 до 7 лет во время выполнения задач на припоминание или узнавание объектов создавали помехи как внешние по отношению к деятельности ребенка (например, расположенное рядом зеркало), так и связанные с выполняемым заданием (какие-либо иррелевантные характеристики стимула, которые можно было проигнорировать, руководствуясь правилом, основанном на особенностях стимула, как например, «Пропускай все большие»). Для дошкольников присутствие помехи любого типа создавало значительные трудности в выполнении задания. А успешное решение в присутствии помех, непосредственно связанных с самой задачей, оказалось доступно лишь школьникам 4-го класса.

Подобно этому трехлетним детям сложно справиться с задачами по типу «кажущееся-реальное» *appearance-reality tasks* [11], когда, к примеру, им демонстрируют губку, по виду напоминающую камень. Трехлетний ребенок в такой ситуации чаще всего отвечает, что это похоже на камень и на самом деле является камнем. А в возрасте 4—5 лет он верно ответит, что это похоже на камень, но на самом деле это — губка. По мнению Райс [30] проблема детей младшего возраста заключается в том, что им трудно совместить при восприятии одного и того же объекта два противоречащих друг другу качества и отгормозить тот ответ, который совпадает с непосредственным зрительным восприятием. Поэтому, если

экспериментатор в момент, когда ребенок дает ответ на вопрос, удаляет предмет из поля зрения ребенка, тем самым, снижая влияние на ответ ребенка подкрепленного перцептивного опыта (по сути доминирующей тенденции ответа), то выполнение задачи детьми 3—4 лет значительно улучшится.

Вторую стадию — стадию планирования иллюстрируют эксперименты с использованием таких задач как «башня Ханоя», задач-лабиринтов, а также задач, направленных на оценку представлений ребенка о психическом (*Theory of mind*).

Еще одной экспериментальной парадигмой исследования планирования является также предъявление ребенку таких заданий, в которых ему для достижения цели необходимо объединить в единую последовательность несколько поведенческих актов. Наиболее широко используется задача «Башня Ханоя». В ее оригинальной версии [28] испытуемому предъявляется доска с тремя кольшками, на которые надеваются три диска разного размера. Цель испытуемого — из определенной начальной позиции за указанное количество ходов расставить диски на кольшках так же как на рисунке-образце. При этом необходимо соблюдать условие, запрещающее размещать диск большего размера над меньшим. Сложность задачи регулируется изменением числа ходов, за которые требуется достичь требуемого результата (от 1 до 7), или типа конечного результата: выстроить диски «башней»/друг на друга или «платформой»/каждый на отдельном кольшке [19].

Ранние работы с использованием первоначального варианта задачи показали, что трудности при решении «Баш-

ни Ханоя» возникают даже у детей младшего школьного возраста [28].

Клар и Робинсон [19] применили модифицированный вариант этой же задачи, в котором возможность нарушения правила исключалась конструкцией теста: диски были заменены перевернутыми вверх дном банками разного размера. Кроме того, дети должны были описывать план своих действий, а не выполнять их. Авторы обнаружили возрастные различия связанные с количеством шагов, которые ребенок преодолевает при решении проблемы: дети в возрасте 4 лет обычно хорошо справлялись с задачами на 2 и 3 хода, в 5 лет на 4 хода, а в 6 лет уже на 6 ходов. Дополнительно, было показано, что во всех возрастных группах на успешность выполнения влиял тип предъявленной задачи. Задачи-башни решались детьми гораздо легче, чем задачи-платформы, возможно из-за того, что для выполнения задач второго типа требуется последовательная реализация промежуточных очевидно ненаправленных на достижение цели ходов.

Таким образом, анализ выполнения детьми разного возраста как классического, так и модифицированного варианта задачи «Башня Ханоя» указывает на то, что возможности планирования, отражающиеся в количестве просчитываемых вперед ходов, существенно улучшаются в дошкольном периоде.

Задачи-лабиринты также традиционно используются для исследования способности планировать последовательность действий (составлять маршрут прохождения лабиринта/route planning). Для того, чтобы решить задачу с минимальным количеством ошибок (избежать попадания в тупики) испытуемому необходимо еще до начала выполнения

мысленно проложить путь между входом и выходом из лабиринта.

В эксперименте Брокмана [3] детям в возрасте от 18 до 36 месяцев предъявлялись лабиринты разной сложности с вырезанными в них дорожками-бороздами, по которым нужно было передвигать неснимающуюся ручку. Дети в возрасте 18 месяцев выполнили только 20 % простых (с 2 поворотами/two-turn) задач. 24-месячные дети выполняли практически все задачи с 2 поворотами, однако совершали при этом больше ошибок, чем дети в возрасте 30 и 36 месяцев. Кроме того, в два года (24 месяца) дети не справлялись с большинством задач, где было 5 или 6 поворотов. Брокман заключила, что между 24 и 36 месяцами происходит улучшение способности составлять схему прохождения лабиринта (планирования), в особенности для сложных задач. При проведении эксперимента детям, трижды зашедшим в тупик, давали подсказку. Однако отсутствие сравнительных данных о частоте встречаемости повторяющихся тупиковых ходов (по типу персеверации), не позволяет судить о том, насколько плохой/хороший контроль над персеверативными ответами влиял на способности планирования в разных возрастах.

Связь контроля над персеверациями и планирования частично подтверждается в исследованиях Вертлиб и Роуз [35], предлагавшим детям 3—5 лет найти выход из большого лабиринта. Эти авторы показали, что дети младшего возраста (3—4 года) совершали гораздо больше ошибок во время изучения/исследования лабиринта по сравнению с остальными детьми. Часто эти ошибки носили характер персевераций (ребенок повторно пользовался дорожкой, ведущей в ту-

пик). Более того, при изменениях в конфигурации преград, дети младшего возраста гораздо реже, чем старшие изменяли маршрут прохождения. Роуз, интерпретирует эти результаты как свидетельство того, что с возрастом происходит созревание функциональных систем мозга, основанных на активности префронтальных отделов коры больших полушарий в дополнение к подкорковым механизмам.

Использование больших лабиринтов позволяет скорее оценить способности к обучению, а не возможности планирования. Однако, если предоставить ребенку перед входом в лабиринт его карту («вид сверху»), то возможность оценить способность ребенка к планированию в рамках такого эксперимента становится более реальной. Однако, полученные при таком подходе данные всего лишь подтверждают общий результат о том, что от 2 до 6 лет возможности планирования существенно улучшаются — процент детей решающих задачи лабиринты с возрастом увеличивается. Одновременно с этим снижается количество «персеверативных стратегий».

Попытка выяснить, что же определяет возникновение неверных персеверативных шагов в поведении ребенка в лабиринте, была предпринята в исследовании Фабрициуса и кол. [10]. Эти авторы попытались выявить, как соотносятся планирование и непосредственное зрительное восприятие близости при построении кратчайшего маршрута прохождения лабиринта у детей в возрасте 3, 3.5, 4.5 и 5.5 лет. Предложенные детям задачи различались по тому, с опорой на какую стратегию может быть проложен кратчайший путь к выходу: 1) только благодаря планированию, 2) исключи-

тельно на основании близости расположения, 3) при сочетании двух стратегий и 4) с использованием планирования, но игнорированием признаков близости. Анализ поведения разновозрастных групп показал, что начиная с 3.5 лет дети гораздо чаще, чем если это было бы случайно, успешно прокладывали маршрут, когда для этого требовалось спланировать последовательность действий. Тем не менее, только дети в возрасте 5.5 лет могли спланировать маршрут прохождения в той ситуации, когда нужно было игнорировать естественное желание (доминирующий ответ) пойти по наиболее близкому (зрительно) к выходу пути, демонстрируя таким образом, способность отторгнуть перцептивно обусловленную стратегию, неадекватную поставленной цели.

Представления о психическом (Theory of Mind). Задачи данного типа отнесены к фазе планирования [37] на том основании, что планирование, является не только предпосылкой успешных действий в реальном физическом мире, но и необходимым компонентом в социальном взаимодействии ребенка с окружающими его людьми. Огромное количество исследований в этой области указывает на то, что в период между 3 и 5 годами жизни происходят существенные изменения в понимании ребенком различий между содержанием их собственного психического состояния и психического состояния других. Наиболее показательными экспериментами в рамках данной парадигмы являются задачи на внушение ложных убеждений или обман (false believes and deception).

Так Расселл и коллеги [31] предъявляли ребенку две непрозрачных коробки, под которыми поочередно прятали

конфету. Через прозрачную переднюю стенку ребенок, но не экспериментатор, мог видеть содержание каждой коробки. Получить конфету можно было, лишь «обманув» взрослого (показать на пустую коробку). Несмотря на повторяющиеся неудачи, дети младше 5—6 лет не могли указать на пустую коробку, демонстрируя тем самым, по мнению исследователей, неспособность внушить взрослому ложные убеждения, а, следовательно, и отсутствие знаний о различии между взглядами других людей и своими собственными.

Однако для объяснения полученных результатов самим авторам проблемно-решающего подхода приходится выходить за рамки предложенной ими схемы единой исполнительской функции, и они адресуются к мнению тех исследователей, которые указывают на конкретный механизм возникновения неудач у детей младшего возраста. А именно, что «правдивое» указание на актуальное местоположение предмета у детей младшего возраста является хорошо натренированным и многократно подкрепленным типом поведения [31; 38]. Поэтому у детей 3—4 лет возникают проблемы с подавлением (т.е. ингибацией) этой мощной поведенческой тенденции.

Аналогичная ситуация возникает при решении детьми 3—4 лет задач, адресующихся к их представлению о различии содержания психики другого человека и своего собственного. Так, в эксперименте ребенку может быть наглядно представлена история по сценарию «Персонаж 1 кладет предмет в один из двух ящиков и уходит. Во время его отсутствия появляется Персонаж 2 и перекладывает этот предмет в другой ящик. После чего ребенка просят ответить на во-

прос, в каком из ящиков вернувшийся Персонаж 1 будет искать предмет?

Для того чтобы правильно ответить на этот вопрос, ребенок должен удерживать в уме то, где сейчас находится спрятанный предмет, и то, где другой человек видел его спрятанным ранее. Вместе с тем ему необходимо оттормаживать импульс сообщать при ответе то, что известно ему самому, а не то, что предполагает другой человек, представления которого могут не соответствовать действительности [12; 36]. Это становится доступным для ребенка не ранее чем 5—6-летнем возрасте.

Третья фаза, следующая за фазой планирования, обозначена в проблемно-ориентированной парадигме как фаза исполнения плана, реализации выбранной стратегии. Наиболее интересны исследования, направленные на выяснение возрастных изменений одного из компонентов этой фазы — использование правил в деятельности. Возрастные различия, касающиеся этого компонента фазы реализации плана, обусловлены в основном улучшением в периоде от 3 до 6 лет способности следовать при решении задач определенному набору правил и гибко реагировать в ситуации смены этих правил другими.

Так эксперименты Зелаго и других авторов, проведенные с использованием детского аналога Висконсинского теста сортировки карточек, свидетельствуют о том, что различия в успешности выполнения задачи между детьми 3—4 и 5—6 лет связаны с тем, что дети младшего возраста в отличие от старших не могут переключиться при смене критерия сортировки и, несмотря на постоянные напоминания, продолжают раскладывать карточки по-старому [37].

В качестве еще одного документального свидетельства совершенствования с возрастом способности организовывать свое поведение в соответствии с инструкцией, т. е. жестко заданным набором ситуативных правил, можно привести исследование А.Р. Лурии. Он использовал сложную задачу, включающую как разрешающее, так и запрещающее правило. От ребенка требовалось сжимать резиновую грушу в тот момент, когда загоралась красная лампочка, но не делать этого, если загоралась зеленая. Дети, не достигшие возраста 5 лет, не могли успешно справиться с этой задачей.

Четвертая фаза — фаза оценки результатов действия. Очевидно, возможность ребенка отследить результат своего действия и связать нежелательный результат (ошибку) с предшествующей ей стратегией поведения имплицитно присутствует во многих экспериментах, которые сконструированы для оценки других фаз решения проблемы.

Так, например, уже приводившиеся ранее в связи с фазой планирования эксперименты с прохождением лабиринтов [35], указывают на значительное повышение успешности решения таких задач с возрастом. Авторы подчеркивают, что во многом обнаруженные ими межвозрастные различия обусловлены тем, что в отличие от детей 3—4 лет, 5—6-летние дети совершают гораздо меньше персеверативных ошибок, то есть гораздо реже повторно используют тупиковые ходы.

Подобно этому и в задаче на внушение ложных убеждений [31], зная все преимущества «хитрой» стратегии, при которой взрослому не достанется конфета, если показать на пустую коробку, дети 3—4 лет, тем не менее, вновь и вновь совершают ошибку, указывая на коробку

с конфетой, которую им хочется получить.

О том, что механизм коррекции собственного поведения на основании обратной связи об ошибках (error information) действует у детей в возрасте 3—4 лет гораздо менее эффективно, чем у старших дошкольников говорят исследования, проведенные с использованием даже очень простых экспериментальных схем. В эксперименте Глэдстоуна [16] дети 3—5 лет могли непосредственно наблюдать, как в результате их собственных действий постепенно истощается запас предметов, которые они получали в качестве вознаграждения. Без каких-либо дополнительных условий ребенок мог беспрепятственно забирать вознаграждение, до той поры пока не увидит, что ящик опустел. Глэдстоун сообщает, что дети младше 4,5 лет в отличие от более взрослых детей, видя, что запас предметов уже полностью истощен, тем не менее не прекращали попытки извлечь еще что-нибудь из ящика. Это, по его мнению, указывает на то, что младшие дети, со всей очевидностью способны заметить ошибку своего поведения, но испытывают трудности с использованием информации об ошибке для контроля над собственным поведением.

К сожалению, в рамках проблемно-решающего подхода не представлены убедительные эксперименты, демонстрирующие, что персеверативные ошибки в поведении 3—4 летних детей обусловлены именно особенностями когнитивных процессов в «дооперационной стадии» формирования мышления по контрасту со «стадией конкретных операций» (5—6 лет), а не незрелостью каких-то более простых операций, как, например, ингибция нерелевантного ответа.

Таким образом, накопленные в литературе данные демонстрируют, что на протяжении периода раннего детства и дошкольного возраста улучшается выполнение задач, требующих произвольной регуляции. Весьма условное разделение этих задач по стадиям решения проблем свидетельствует о том, что это улучшение затрагивает каждую из этих фаз (репрезентация проблемы, планирование, исполнение и оценка реализованной деятельности с последующей коррекцией ошибок).

Можно указать на несколько недостатков этого подхода. Во-первых, из-за того, что предлагаемые ребенку задачи когнитивно сложные, трудно разграничить вклад общего когнитивного развития и развития собственно исполнительных функций в описываемые возрастные изменения.

Во-вторых, в этом подходе авторы используют «нерафинированные» экспериментальные модели с плохо контролируемыми условиями задачи. Эти модели имеют некоторое сходство с классическими фронтальными пробами. Однако, неясно, в какой степени они оценивают исполнительные функции в том смысле, который им придается в нейропсихологических и нейробиологических исследованиях.

Нейробиологический подход

Этот подход опирается на те сведения об исполнительных процессах, которые получены в рамках клинических исследований синдрома дефицита фронтальных функций у взрослого человека, работ на животных и экспериментов последних лет с использованием современных методов нейровизуализации.

С точки зрения представителей данной концепции [7; 20; 34] для того, что-

бы понять, что стоит за феноменом улучшения выполнения сложных когнитивных задач в период от 3 до 7 лет жизни, необходимо «разложить» их многофакторную структуру на отдельные компоненты. В противном случае, одновременно оценивая и возможные различия в когнитивных процессах и различия в зрелости функций исполнительного контроля деятельности, сложно понять, что же собственно отличает мышление 3—4-летнего ребенка от мышления ребенка старшего возраста.

Существует принципиальная возможность отделить в экспериментальных условиях служебные по отношению к процессам мышления компоненты исполнительного контроля. Она связана с применением так называемых тестов-маркеров (*target task, marker task*), которые являются прямыми аналогами проб, применяемых в исследованиях на животных и в работе с пациентами с поражениями фронтальных отделов мозга. Детские варианты этих задач отличаются простотой тестовой процедуры и максимальной свободой от когнитивной нагрузки. Благодаря этим своим особенностям они позволяют оценить тот вклад, который вносят в процесс их решения два функциональных компонента, зависящих от включенности префронтальных отделов неокортекса: рабочая память как механизм активного удержания и оперирования информацией в буфере кратковременной памяти и ингибция или возможности тормозного контроля поведения.

Примечательно, что трудности, связанные с произвольным торможением определенного поведения возникают у младших детей, даже при выполнении относительно простых задач. В своем

эксперименте Лурия [1] просил детей в возрасте 2.5 лет сжимать резиновую грушу, когда загорается лампочка. Он отметил, что, выполнив это условие, дети не останавливались и продолжали сжимать грушу даже тогда, когда свет уже погас. Такое поведение удивительным образом напоминает поведение пациентов с нарушениями фронтальной коры главным образом и тем, что как дети, так и больные демонстрируют полное понимание инструкции (т.е. могут повторить ее), но не могут направлять свои действия в соответствии с ней.

Вслед за Лурией при оценке тормозного контроля поведения ребенка западные исследователи также применяют конфликтную пробу постукивания карандашом (tapping test). При выполнении этой задачи требуется соблюдать правило «Постучи дважды, если экспериментатор стукнул один раз, но стукни только один раз, если экспериментатор стукнул дважды». Таким образом ребенок должен воздержаться от повторения за экспериментатором и действовать в соответствии с инструкцией. Улучшение выполнения этой пробы происходит в тот же период, что и для более сложных когнитивных задач — между 3 1/2 и 7 годами жизни. На этом временном интервале повышается как скорость, так и точность ответов. Наиболее заметное улучшение приходится на возраст 6 лет [8], что находит подтверждение и в работах других авторов [2; 27].

Выполнение этой задачи детьми младшего возраста сопровождается характерными ошибками. Одна из наиболее распространенных ошибок — постоянное повторение только одного типа ответа. Точно следуя инструкции в начале серии, ребенок затем сбивается и, вне

зависимости от того, что делает экспериментатор, все время стучит по два или по одному разу. Это напоминает поведение пациентов с пораженной фронтальной корой, которые, выполняя просьбу экспериментатора рисовать попеременно то круг, то крест, начинали действовать по инструкции, но скоро сбивались на повторяющееся рисование только одной фигуры [1].

Два других типа ошибок также явно отражают несовершенство способности тормозного контроля поведения ребенка. Это ответы по типу персеверации (ребенок не может остановиться и вместо одного или двух раз отвечает сериями постукиваний) и ответы по типу «эхо-праксий» (повторение того, что сделал экспериментатор). Как первый, так и второй тип неконтролируемого поведения также описан Лурией и другими исследователями, наблюдавшими за пациентами с поражениями фронтальных отделов мозга [1; 22; 24].

Таким образом, совершенно очевидно, что каждый из исполнительных компонентов (ингибция нерелевантных достижению цели действий и рабочая память) вносит существенный вклад в различия между группами детей 3—4 и 5—6 лет в успешности выполнения как простых, так и когнитивно сложных задач. Это же справедливо и в отношении тех ситуаций, когда необходима согласованная работа этих механизмов. Моделью такой ситуации является задача «День-Ночь» [15] — аналог теста Струпа, хорошо известного из работ на пациентах с фронтальным дефицитом.

Во время выполнения от ребенка требуется одновременно удерживать в памяти два конфликтных правила (говорить «НОЧЬ», когда видишь белую кар-

точку с изображением солнца; говорить «ДЕНЬ», когда видишь черную карточку с изображением луны и звезд) и удерживаться от естественного желания называть то, что действительно изображено на карточке.

Даймонд и ее коллеги показали, что успешно решить эту задачу дети могут не ранее, чем они достигнут возраста 5—6 лет. Неудача же детей из младших возрастных групп обусловлена исключительно «несовершенством» (низкой эффективностью) работы исполнительных функций [15]. В 3—4 года ребенок может с легкостью запомнить два правила и действовать в соответствии с ними без ошибок называя, к примеру, «днем» и «ночью» две картинки с абстрактным дизайном. Столь же успешен он, если исключается смысловой конфликт между ответом по инструкции и ответом, от которого необходимо удержаться (те же картинки называются «собака» и «свинья»). Однако необходимость выполнять инструкцию, подавляя естественное желание ответить в соответствии с непосредственным сенсорным восприятием, делает решение задачи недоступным для ребенка этого возраста.

Подводя итог, можно сказать, что на примере выполнения очень простых проб, максимально освобожденных от когнитивной нагрузки, продемонстрировано, что в период от 3 до 6—7 лет значительно улучшается выполнение ребенком задач, востребующих два исполнительных компонента: 1) возможности сохранения и оперативной обработки репрезентаций и 2) тормозного контроля поведения.

Адель Даймонд, обобщив результаты собственных экспериментальных исследований с применением проб-маркеров

фронтальных функций, а также накопленные в литературе данные о когнитивном развитии ребенка в дошкольном периоде, заключила, что различия в успешности между детьми, перешедшими в развития мышления на «стадию конкретных операций» (5—7 лет) по сравнению с детьми на «дооперационной стадии» (3—4 года) главным образом отражают различия в степени совершенства каждой из этих функциональных возможностей.

Так, за развитием способности оперировать несколькими репрезентациями одновременно можно проследить не только при использовании маркер-тестов, но и на примере выполнения классических задач когнитивной психологии, таких как задача на консервацию жидкости (liquid conservation) или задача на принятие точки зрения другого (perspective taking). В отличие от 5—6 летнего ребенка ребенок в возрасте 3—4 лет испытывает существенные затруднения, поскольку не может одновременно учитывать как высоту, так и ширину сосуда и обращается только к одному параметру — высоте [29]. Ему также сложно мысленно манипулировать ситуацией, для того чтобы представить какой-либо другой возможный ракурс зрения кроме наиболее очевидного (его собственного).

По мере совершенствования механизма работы с внутренними репрезентациями (оперативной или рабочей памяти) ребенок все более успешно справляется с решением подобных проблем. При этом принцип действия данного механизма универсален, т. е. для него абсолютно не существенно, что же собственно является «содержанием» внутренней репрезентации: какое-то непосредственное сенсорное событие или идея, намерение [26].

Сходным образом, обращаясь к многочисленным исследованиям, в том числе и тем, что проводились в парадигме проблемно-решающего подхода, на протяжении дошкольного периода можно проследить взаимосвязь успешности выполнения различных когнитивных задач с улучшением другого служебного по отношению к процессам размышления механизма — тормозного контроля.

Так при выполнении задачи Рассела [31] с конфетой детям 5—6 лет в отличие от более раннего возраста уже не сложно подавить сильное естественное желание тянуться к коробке с конфетой. Они также легко могут подождать и получить несколько позже большую награду, чем та, что предлагается сразу, в то время как 3—4 летний ребенок не может устоять перед возможностью немедленно забрать вознаграждение [25].

Таким образом, формирование достаточно простых «служебных» или исполнительных функций может существенно влиять на выполнение когнитивных тестов детьми разного возраста. Вклад этого процесса в собственно когнитивное развитие ребенка все более привлекает внимание современных исследователей.

Вероятно, как указывают исследования на пациентах и животных, каждый из исполнительных компонентов имеет независимый нейронный субстрат и собственную траекторию развития. Тот факт, что они одновременно прогрессируют на определенном отрезке онтогенеза (между 3 и 7 годами жизни) может отражать общее воздействие в данном возрастном периоде фактора созревания коры головного мозга и ее дорсолатеральных префронтальных отделов в частности.

На это указывают данные о том, что именно в этот онтогенетический период

происходит существенное преобразование морфофункциональных характеристик префронтального неокортекса.

Во-первых, за счет значительного снижения к 7 годам плотности синаптических контактов и продолжающегося роста общей длины дендритов активно изменяется характер связей между нейронами [39].

Во-вторых, по данным ПЭТ исследований, в период от 3 до 8 лет жизни резко усиливаются процессы метаболизма в коре головного мозга, включая и фронтальные зоны — показатель глюкозного обмена в коре ребенка этого возраста вдвое превышает аналогичный показатель взрослого человека [40].

В-третьих, происходящие по мере созревания изменения в системах нейрохимической регуляции работы мозга, к воздействию которых крайне чувствительны именно префронтальные отделы неокортекса, также могут оказать влияние на механизмы реализации отдельных «фронтальных» когнитивных операций. Важную роль систем нейрохимической регуляции подчеркивают как работы на животных, так и исследования развития человека.

Так, к примеру, даже временное локальное подавление синтеза дофамина в дорзолатеральных отделах префронтальной коры макаки резус вызывает дефицит когнитивных функций, сопоставимый по тяжести с последствиями ее полного разрушения [4]. При этом тяжесть нарушения когнитивных процессов линейно связана с дозировкой препарата-антагониста дофамина, вводимого в мозг животного.

Лонгитюдное наблюдение за детьми больными фенилкетонурией, также свидетельствует о том, что различия в ус-

пешности выполнения фронтальных проб больными детьми 3—7 лет и их сверстниками из здоровой популяции, прямо коррелируют с различиями в показателе содержания в крови предшественника дофамина (тирозин). Примечательно, что даже ранняя диагностика фенилкетонурии и длительная терапия, понижающая содержание фенилаланина до уровня приближенного к норме, не снижает риск возникновения у ребенка существенного отставания в развитии когнитивных функций, зависящих от фронтальных отделов коры головного мозга.

Помимо работ Даймонд существуют также и другие лонгитюдные проекты, которые задаются этими вопросами. Так, например, проект Университета Миннесоты с участием большой группы ученых исследует выполнение ряда тестов, отражающих функции, опосредуемые отделами префронтальной коры и височных долей головного мозга у испытуемых в

возрасте от 3 до 25 лет. Исследователями применяется тестовая батарея CANTAB (Cambridge Neuropsychological Testing Automated Battery), сконструированная для оценки нейронных коррелятов задач, широко применяемых в работах с пациентами и животными с повреждениями мозга [20].

Представленные на сегодняшний день в литературе результаты исследований такого плана единодушно свидетельствуют о совершенствовании префронтальных функций с возрастом, а также указывают на существенные индивидуальные различия во всех возрастных группах, которые довольно часто могут перекрывать возрастной диапазон. Однако это обстоятельство не стало предметом отдельного исследования.

С этих позиций крайне интересны исследования начала этого развития, обзор которых — тема для отдельной публикации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лурия А.Р. Основы нейропсихологии. М.: Изд-во МГУ. 1973. 341 с.
2. Becker M.G., Isaac W., Hynd G.W. Neuropsychological development of nonverbal behaviors attributed to «frontal lobe» functioning // *Developmental Neuropsychology* 1987. Vol. 3. P. 275—298.
3. Brockman L. Potential of mazes for assessment of 18- to 36-month-old children // *Canadian Journal of Behavioral Science*. 1977. Vol. 9, Iss.2. P. 197—200.
4. Brozoski T.J. Cognitive deficit caused by regional depletion of dopamine in prefrontal cortex of rhesus monkey / Brozoski T.J., Brown R.M., Rosvold H.E., Goldman P.S. // *Science*. 1976. Vol. 205. P. 929—932.
5. Carlson S.M. Developmentally sensitive measures of executive function in preschool children. *Developmental neuropsychology*, 2005. Vol. 28, Iss. 2. P. 595—616.
6. Chugani et al. Positron Emission Tomography Study of Human Brain Functional Development // *Brain Development and Cognition: A reader*, 2nd edition / ed. Mark H. Johnson, Y. Munakata and R.O. Gilmore. Oxford, OX; Malden, MA: Blackwell Publishers, 2002. P. 101—116.
7. Diamond A., Werker J.F., Lalonde C. Toward understanding commonalities in the development of object search, detour navigation, categorization and speech perception // *Human behavior and the developing brain* / G. Dawson, K.W. Fischer (eds.) — N. Y., London: The Guilford Press, 1994. P. 380—426.

8. *Diamon A., Taylor C.* Development of an aspect of executive control: Development of the abilities to remember what I said and to «Do as I say, not as I do» // *Developmental Psychobiology*. 1996. Vol. 29. P. 315—334.
9. *Espy K.A.* Using developmental, cognitive, and neuroscience approaches to understand executive control in young children // *Developmental Neuropsychology*. 2004. Vol. 26, № 1. P. 379—84.
10. *Fabricius W., Wellman H.M., Sophian C.* The early development of planning: Solving comprehensive search problems // *Children's searching: The development of search skill and spatial representation* / H.M. Wellman (ed.). Hillsdale, N.J.: Erlbaum. 1985. P. 123—149.
11. *Flavell J.H., Green F.L., Flavell E.R.* Development of knowledge about the appearance-reality distinction // *Monographs of the society for research in child development*. 1986. Vol. 51. № 1. P. i-v, 1—87.
12. *Fritz A.S.* Is there a reality bias in young children's emergent theories of mind? Paper presented at the biennial meeting of the Society for Research in Child Development. Seattle. 1991.
13. *Fuster J.M.* Prefrontal cortex and bridging of temporal gaps in the perception-action cycle // *Annals of the New York Academy of Sciences*. 1990. Vol. 608. P. 318—355.
14. *Fuster J.M.* Unit activity in prefrontal cortex during delayed-response performance: neural correlates of transient memory // *Journal of Neurophysiology* 1973. Vol. 36. P. 61—78.
15. *Gerstadt C.L., Hong Y.J., Diamond A.* The relationship between cognition and action: Performance of children 31/2—7 years old on a Stroop-like day-night test // *Cognition*. 1994. Vol. 53. P. 129—153.
16. *Gladstone R.* Age, cognitive control and extinction // *Journal of Experimental Child Psychology*. 1969. Vol. 7. Iss.1. P. 31—35.
17. *Goldman-Rakic P.S.* Circuitry of primate prefrontal cortex and regulation of behavior by representational memory // *Handbook of physiology: Nervous system* / Plum F., Mountcastle V. (eds.). Bethesda: American physiological society. 1987. P. 373—417.
18. *Humphrey M.M.* Children's avoidance of environmental simple task, and complex task internal distracters // *Child Development*. 1982. Vol. 53. P. 736—745.
19. *Klahr D., Robinson M.* Formal assessment of problem solving and planning processes in preschool children // *Cognitive Psychology*. 1981. Vol. 13. P. 113—148.
20. *Luciana M., Nelson C.A.* Assessment of neuropsychological function in children through the Cambridge Neuropsychological Testing Automated Battery (CANTAB): Normative performance in 4 to 12 year-olds // *Developmental Neuropsychology*. 2002. Vol. 22, № 3. P. 595—624.
21. *Milner B., Petrides M.* Behavioral effects of frontal lobe lesions in man // *Trends in Neurosciences*. 1984. Vol. 7. P. 403—406.
22. *Milner B.* Effects of different brain lesions on card sorting // *Archives of Neurology*. 1963. Vol. 9. P. 101—110.
23. *Milner B.* Some cognitive effects of frontal-lobe lesions in man // *Philosophical Transactions of the Royal Society of London (London)*. 1982. Vol. 298 (suppl. B). P. 211—226.
24. *Milner B.* Some effect of frontal lobectomy // *The Frontal Granular Cortex and Behavior* / edited by J. M. Warren, K. Akert. New York: McGraw-Hill, 1964. P. 313—334.

25. *Mischel H.N., Mischel W.* The development of children's knowledge of self-control strategies // *Child Development*. 1983. Vol. 54. P. 603—619.
26. *Moore M.K., Meltzoff A.N.* Object permanence after a 24-hr delay and leaving the locale of disappearance: the role of memory, space, and identity // *Developmental Psychology*. 2004. Vol. 4. P. 606—620.
27. *Passler P.A., Isaac W., Hynd G.W.* Neuropsychological development of behavior attributed to frontal lobe functioning in children // *Developmental Neuropsychology*. 1985. Vol. 4. P. 349—370.
28. *Piaget J.* The grasp of consciousness. Cambridge, MA: Harvard University Press. 1976. 360 p.
29. *Piaget J., Inhelder B.* Le Developpement Des Quantites Chez l'Enfant. Neuchatel: Delachaux et Niestle. 1941.
30. *Rice C.* When 3-year-olds pass the appearance-reality test / Rice C., Koinis D., Sullivan K., Tager-Flusberg H., Winner E. // *Developmental Psychology*. 1997. Vol. 33. P. 54—61.
31. *Russell J.* The «windows task» as a measure of strategic deception in preschoolers and autistic subjects / Russell J., Mauthner N., Sharpe S., Tidswell T. // *British journal of developmental psychology*. 1991. Vol. 9. P. 101—119.
32. *Shallice T.* Specific impairments in planning // *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. B. Biological Sciences*. 1982. Vol. 298, № 1089. P. 199—209.
33. *Stuss D.T., Benson D.F.* The Frontal Lobes. New York: Raven Press. 1986. 303 p.
34. *Welsh M.C., Pennington B.F.* Assessing frontal lobe functioning children: views from Developmental psychology // *Developmental Neuropsychology*. 1988. Vol. 4. P. 199—230.
35. *Wertlieb D., Rose D.* Maturation of Maze Behavior in Preschool Children // *Developmental Psychology*. 1979. Vol. 15. Iss. 4. P. 478—479.
36. *Zaitchik D.* Is only seeing really believing?: Sources of the true belief in the false belief task // *Cognitive Development*. 1991. Vol. 6. P. 91—103.
37. *Zelazo P.D.* Early development of executive function: A problem solving approach / Zelazo P.D., Carter A.S., Reznick J.S., Frye D. // *Review of General Psychology*. 1997. Vol. 1. Iss. 2. P. 198—226.
38. *Carlson S.M., Moses L.J., Hix H.R.* The role of inhibitory processes in young children's difficulties with deception and false belief // *Child Development*. 1998. Vol. 69. P. 672—691.
39. *Huttenlocher P.R., de Courten C.* The development of synapses in striate cortex of man // *Human Neurobiology*. 1987. Vol. 6, № 1. P. 1—9.
40. *Chugani H.T., Phelps M.E., Mazziotta J.C.* Positron emission tomography study of human brain functional development // *Annals of Neurology*. 1987. Vol. 22. Iss. 4. P. 487—497.

Development of executive functions in preschool age

N.P. Pushina

*research fellow at Centre for Neurocognitive Research (MEG-Centre),
Moscow State University of Psychology & Education, Moscow, Russia,
n.pushina.lee@gmail.com*

Development of processes of self-control behavior is one of the fundamental problems of developmental psychology. Both in Russian and foreign psychology the idea of self-control (executive control) of behavior is closely connected with functioning of prefrontal cortex of the brain. This approach has been formed under the influence of clinical research studies of damage results in these brain divisions and experiments with primates.

Keywords: executive functions, frontal cortex, preschool age.

REFERENCES

1. *Lurija A.R.* Osnovy nejropsihologii [Fundamentals of neuropsychology]. Moscow: Publ. MGU. 1973. 341 p.
2. *Becker M.G., Isaac W., Hynd G.W.* Neuropsychological development of nonverbal behaviors attributed to "frontal lobe" functioning. *Developmental Neuropsychology* 1987. Vol. 3. pp. 275—298.
3. *Brockman L.* Potential of mazes for assessment of 18- to 36-month-old children. *Canadian Journal of Behavioral Science*.1977. Vol. 9, Iss.2. pp. 197—200.
4. *Brozoski T.J., Brown R.M., Rosvold H.E., & Goldman P.S.* Cognitive deficit caused by regional depletion of dopamine in prefrontal cortex of rhesus monkey. *Science*.1976. Vol. 205. pp. 929—932.
5. *Carlson S.M.* Developmentally sensitive measures of executive function in preschool children. *Developmental neuropsychology*, 2005. Vol. 28, Iss. 2. pp. 595—616.
6. *Chugani et al.* Positron Emission Tomography Study of Human Brain Functional Development // *Brain Development and Cognition: A reader*, 2nd edition / ed. Mark H. Johnson, Y. Munakata and R.O. Gilmore. Oxford, OX; Malden, MA: Blackwell Publishers, 2002. pp. 101—116.
7. *Diamond A., Werker J.F., Lalonde C.* Toward understanding commonalities in the development of object search, detour navigation, categorization and speech perception // *Human behavior and the developing brain* / G. Dawson, K.W. Fischer (eds.) — N. Y., London: The Guilford Press, 1994. pp. 380—426.
8. *Diamon A., Taylor C.* Development of an aspect of executive control: Development of the abilities to remember what I said and to "Do as I say, not as I do" // *Developmental Psychobiology*. 1996. Vol. 29. pp. 315—334.
9. *Espy K.A.* Using developmental, cognitive, and neuroscience approaches to understand executive control in young children // *Developmental Neuropsychology*. 2004. Vol. 26, № 1. pp. 379—84.

10. *Fabricius W., Wellman H.M., Sophian C.* The early development of planning: Solving comprehensive search problems // *Children's searching: The development of search skill and spatial representation* / H.M. Wellman (ed.). Hillsdale, N.J.: Erlbaum. 1985. pp. 123—149.
11. *Flavell J.H., Green F.L., Flavell E.R.* Development of knowledge about the appearance-reality distinction // *Monographs of the society for research in child development*. 1986. Vol. 51. № 1. pp. i-v, 1—87.
12. *Fritz A.S.* Is there a reality bias in young children's emergent theories of mind? Paper presented at the biennial meeting of the Society for Research in Child Development. Seattle. 1991.
13. *Fuster J.M.* Prefrontal cortex and bridging of temporal gaps in the perception-action cycle // *Annals of the New York Academy of Sciences*. 1990. Vol. 608. pp. 318—355.
14. *Fuster J.M.* Unit activity in prefrontal cortex during delayed-response performance: neural correlates of transient memory // *Journal of Neurophysiology* 1973. Vol. 36. pp. 61—78.
15. *Gerstadt C.L., Hong Y.J., Diamond A.* The relationship between cognition and action: Performance of children 31/2—7 years old on a Stroop-like day-night test // *Cognition*. 1994. Vol. 53. pp. 129—153.
16. *Gladstone R.* Age, cognitive control and extinction // *Journal of Experimental Child Psychology*. 1969. Vol. 7. Iss. 1. pp. 31—35.
17. *Goldman-Rakic P.S.* Circuitry of primate prefrontal cortex and regulation of behavior by representational memory // *Handbook of physiology: Nervous system* / Plum F., Mountcastle V. (eds.). Bethesda: American physiological society. 1987. pp. 373—417.
18. *Humphrey M.M.* Children's avoidance of environmental simple task, and complex task internal distracters // *Child Development*. 1982. Vol. 53. pp. 736—745.
19. *Klahr D., Robinson M.* Formal assessment of problem solving and planning processes in preschool children // *Cognitive Psychology*. 1981. Vol. 13. pp. 113—148.
20. *Luciana M., Nelson C.A.* Assessment of neuropsychological function in children through the Cambridge Neuropsychological Testing Automated Battery (CANTAB): Normative performance in 4 to 12 year-olds // *Developmental Neuropsychology*. 2002. Vol. 22, № 3. pp. 595—624.
21. *Milner B., Petrides M.* Behavioral effects of frontal lobe lesions in man // *Trends in Neurosciences*. 1984. Vol. 7, pp. 403—406.
22. *Milner B.* Effects of different brain lesions on card sorting // *Archives of Neurology*. 1963. Vol. 9, pp. 101—110.
23. *Milner B.* Some cognitive effects of frontal-lobe lesions in man // *Philosophical Transactions of the Royal Society of London (London)*. 1982. Vol. 298 (suppl. B). pp. 211—226.
24. *Milner B.* Some effect of frontal lobectomy // *The Frontal Granular Cortex and Behavior* / edited by J. M. Warren, K. Akert. New York: McGraw-Hill, 1964. pp. 313—334.
25. *Mischel H.N., Mischel W.* The development of children's knowledge of self-control strategies // *Child Development*. 1983. Vol. 54. pp. 603—619.
26. *Moore M.K., Meltzoff A.N.* Object permanence after a 24-hr delay and leaving the locale of disappearance: the role of memory, space, and identity // *Developmental Psychology*. 2004. Vol. 4. pp. 606—620.

27. *Passler P.A., Isaac W., Hynd G.W.* Neuropsychological development of behavior attributed to frontal lobe functioning in children // *Developmental Neuropsychology*. 1985. Vol. 4. pp. 349—370.
28. *Piaget J.* The grasp of consciousness. Cambridge, MA: Harvard University Press. 1976. 360 p.
29. *Piaget J., Inhelder B.* Le Developpement Des Quantites Chez l'Enfant. Neuchatel: Delachaux et Niestle. 1941.
30. *Rice C., Koinis D., Sullivan K., Tager-Flusberg H., Winner E.* When 3-year-olds pass the appearance-reality test // *Developmental Psychology*. 1997. Vol. 33. pp. 54—61.
31. *Russell J., Mauthner N., Sharpe S., Tidswell T.* The "windows task" as a measure of strategic deception in preschoolers and autistic subjects // *British journal of developmental psychology*. 1991. Vol. 9, pp. 101—119.
32. *Shallice T.* Specific impairments in planning // *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. B. Biological Sciences*. 1982. Vol. 298, № 1089. pp. 199—209.
33. *Stuss D.T., Benson D.F.* The Frontal Lobes. New York: Raven Press. 1986. 303 p.
34. *Welsh M.C., Pennington B.F.* Assessing frontal lobe functioning children: views from Developmental psychology // *Developmental Neuropsychology*. 1988. Vol. 4. pp. 199—230.
35. *Wertlieb D., Rose D.* Maturation of Maze Behavior in Preschool Children // *Developmental Psychology*. 1979. Vol. 15. Iss. 4. pp. 478—479.
36. *Zaitchik D.* Is only seeing really believing?: Sources of the true belief in the false belief task // *Cognitive Development*. 1991. Vol. 6. pp. 91—103.
37. *Zelazo P.D., Carter A.S., Reznick J.S., Frye D.* Early development of executive function: A problem solving approach // *Review of General Psychology*. 1997. Vol. 1. Iss.2. pp. 198—226.
38. *Carlson S.M., Moses L.J., Hix H.R.* The role of inhibitory processes in young children's difficulties with deception and false belief // *Child Development*. 1998. Vol. 69. pp. 672—691.
39. *Huttenlocher P.R. and C. de Courten* The development of synapses in striate cortex of man // *Human Neurobiology*. 1987. Vol. 6, № 1. pp. 1—9.
40. *Chugani H.T., Phelps M.E., Mazziotta J.C.* Positron emission tomography study of human brain functional development // *Annals of Neurology*. 1987. Vol. 22. Iss. 4. pp. 487—497.