

ОЦЕНКА УПРАВЛЯЮЩИХ ФУНКЦИЙ У ДЕТЕЙ 3–6 ЛЕТ: СОСТОЯНИЕ, ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

© 2021 г. А. В. Курганский^{1,2,*}

¹ ФБГНУ “Институт возрастной физиологии РАО”, Москва, Россия

² Факультет психологии ИОН РАНХиГС, Москва, Россия

*e-mail: akurg@yandex.ru

Поступила в редакцию 18.11.2020 г.

После доработки 19.12.2020 г.

Принята к публикации 22.12.2020 г.

На основе современных теоретических представлений об управляющих функциях (УФ) и их нейробиологических основах рассматривается развитие этих функций в восходящем онтогенезе. Анализируются поведенческие методы оценки УФ у дошкольников 3–6 лет и связь этих методов с различными теоретическими подходами. Отмечается, что среди существующих методов оценки УФ недостаточно представлены или вовсе отсутствуют методы оценки формирования и удержания целей деятельности и планов, реализующих эти цели. Обсуждаются поведенческие задачи, которые могут быть использованы для оценки целеполагания и планирования с помощью сочетания поведенческих, нейровизуализационных и электрофизиологических методов.

Ключевые слова: управляющие функции, дошкольники, цели деятельности, планы деятельности

DOI: 10.31857/S0044467721040055

Среди психических функций принято выделять группу высокоуровневых функций, обеспечивающих целесообразное поведение и мыслительную деятельность человека и получивших название “управляющие функции” (Lezak, 1995; Stuss, Alexander, 2000; Jurado, Rosselli, 2007; Miller, Wallis, 2009; Stuss, 2011; Miyake, Friedman, 2012; Diamond, 2013). Термин “управляющие функции” (УФ) происходит от английского “executive functions”. УФ известны также как “управляющий контроль” (executive control) и “когнитивный контроль” (cognitive control); реже используется термин “supervisory functions” (Stuss, Alexander, 2000).

Несмотря на обширную библиографию, посвященную УФ, среди исследователей до сих пор нет согласия в том, что же это такое — управляющие функции (см. Barkley, 2012). Так, до сих пор существуют разные точки зрения на вопрос о том, следует ли произвольное внимание считать частью УФ (Kaplan, Bergman, 2010; Diamond, 2013; Fiske, Holmboe, 2019). Еще один нерешенный вопрос: можно

ли считать, что понятие УФ сводится к понятию “интеллект”? Одни исследователи подчеркивают сходство этих понятий (Engelhardt et al., 2016) и даже утверждают, что УФ нельзя отличить от общего интеллекта (Royall, Palmer, 2014), а другие указывают на то, что не все аспекты УФ имеют отношение к общему уровню интеллекта (Friedman et al., 2006; Jurado, Rosselli, 2007).

Значительный интерес представляют исследования УФ в восходящем онтогенезе. Во-первых, такие исследования востребованы с чисто практической точки зрения: показано, например, что степень развития УФ у дошкольников является предиктором последующих школьных успехов (Bull et al., 2008; Zelazo, 2016; Cortés Pascual et al., 2019). Во-вторых, изучение индивидуальной истории становления УФ является средством исследования этих функций, позволяющим лучше понять их структуру и лежащие в их основе мозговые механизмы (это в равной степени относится и к другим функциям).

В настоящей обзорной работе мы кратко остановимся на основных методах экспериментальных исследований УФ у дошкольников от 3 до 6 лет – как раз в тот возрастной период, когда эти функции еще продолжают быстро развиваться, но уже могут быть исследованы в рамках стандартных экспериментальных парадигм, предполагающих понимание речевой инструкции и способность действовать в соответствии с ней. Мы начнем с обсуждения общих представлений о структуре, нейробиологии и становлении УФ и в свете этих представлений попытаемся оценить состояние экспериментальных исследований УФ у дошкольников 3–6 лет, а также оценить перспективные направления дальнейших исследований.

УПРАВЛЯЮЩИЕ ФУНКЦИИ И ИХ НЕЙРОБИОЛОГИЯ

Хотя все исследователи исходят из того, что УФ обеспечивают целесообразное поведение и мыслительную деятельность человека (Lezak, 1995; Miller, Wallis, 2009; Stuss, 2011; Miyake, Friedman, 2012; Diamond, 2013), за пределами этого утверждения наблюдаются разнообразные мнения о том, как определить, что есть УФ, и что конкретно следует отнести к ним.

Одной из причин отсутствия общепринятого определения УФ является различие в подходах к самой процедуре определения. Один из способов определить УФ – это указать их отличительные черты. Многие исследователи так и поступают, подчеркивая, что отличительной чертой УФ является их вовлечение в процессы построения/выбора линии поведения в условиях неопределенности и новизны, когда привычные поведенческие схемы и автоматические реакции оказываются неэффективными, недостаточными или даже полностью невозможными (Gilbert, Burgess, 2008; Miller, Wallis, 2009; Diamond, 2013). Предлагается также и радикально другой подход, а именно – рассматривать отдельно “метакогнитивные УФ” и “эмоционально-мотивационные УФ” (Ardila, 2008). К числу первых относится решение мыслительных задач (problem solving), формирование абстрактных понятий, планирование, формирование стратегий и рабочая память (working memory). Задача вторых – обеспечить координацию когнитивных процессов и эмоций. Это, в частности, означает поиск

способов удовлетворения основных побуждений в социально приемлемой форме.

В ряде случаев УФ определяют путем непосредственного перечисления компонентов УФ (конструктивный способ определения). Так, например, в работах (Anderson, 2002; Anderson, Reidy, 2012) к УФ относят четыре взаимодействующих между собой функциональных блока: (1) блок управляющего внимания (Attentional control: selective attention, self-regulation, self-monitoring, inhibition), (2) блок целеполагания (Goal setting: initiative, conceptual reasoning, planning, strategic organization), (3) блок когнитивной гибкости (Cognitive flexibility: divided attention, working memory, conceptual transfer, feedback utilization) и (4) блок обработки информации (Information processing: efficiency, fluency, speed of processing).

Еще одна причина отмеченного выше разнообразия подходов к изучению УФ связана с тем, что над этой задачей трудятся представители разных дисциплин. Неврологи и нейропсихологи опираются прежде всего на данные о локальных поражениях мозга, которые естественно использовать для выяснения функциональной анатомии – связи УФ и их компонентов с различными отделами прежде всего лобной коры (Stuss, 2011; Szczepanski, Knight, 2014). Исторически интерес к УФ возник в неврологической клинике, в которой “выпадения” различных компонентов УФ наблюдались в связи с локальными поражениями префронтальной коры. Это послужило основанием рассматривать префронтальную кору как ключевую мозговую структуру, обеспечивающую УФ (Лурия, 1969; 1973; Miller, Cohen, 2001; Wood, Grafman, 2003; Мачинская, 2015).

Исследователи, стоящие на позициях когнитивной науки, ставят своей целью выяснить информационную природу репрезентаций и характер воздействующих на эти репрезентации процессов. Исходным пунктом когнитивистских моделей УФ обычно считают концепцию центральной управляющей системы (central executive) в модели рабочей памяти А. Бэддели и Г. Хитча (Baddeley, Hitch, 1974; Baddeley, 1998; 2012). Примером этого класса моделей можно считать модель управления действиями, в которой роль УФ выполняет управляющая система внимания (supervisory attentional system – SAS) (Norman, Shallice, 1986).

Нейрофизиологи, регистрирующие активность отдельных нейронов и работающие главным образом на животных, заняты поисками нейробиологических механизмов, лежащих в основе УФ (см., например, (Tanji, Hoshi, 2008; Goodwin et al., 2012; Roy et al., 2014; Lara, Wallis, 2015)). Нейрофизиологи, использующие нейровизуализационные методы, стремятся выявить “функциональную анатомию” УФ – обнаружить отдельные мозговые структуры (Collette et al., 2006) и системы (Niendam et al., 2012) таких структур, задействованные в обеспечении УФ. Исследователи, использующие методы вычислительной нейронауки (computational neuroscience), стремятся воссоздать конкретные нейрофизиологические механизмы, лежащие в основе УФ (Frank et al., 2001; Dayan, 2007; Botvinick, 2008; O'Reilly et al., 2010; Herd et al., 2013).

Множественность участвующих в исследованиях УФ научных дисциплин сказалась и на разнообразии теоретических подходов и моделей (Wood, Grafman, 2003; Chan et al., 2008). В частности, долгое время шли дебаты относительно того, лежит ли в основе УФ один общий процесс или же несколько независимых процессов (Stuss, Alexander, 2000). Ответ на этот вопрос был предложен в работе А. Мияке и соавт. (Miyake et al., 2000), которая оказала значительное влияние на последующие теоретические и экспериментальные исследования УФ. В этой работе предложена модель Единства и многообразия УФ (The Unity and Diversity Model; по поводу этой модели см. также (Friedman et al., 2006; Friedman, Miyake, 2017)), в соответствии с которой в основе УФ лежит как общий механизм, так и несводимые к нему специализированные механизмы. Эта модель, которую для краткости обозначим UD-модель, основана на анализе корреляционной структуры результатов решения сложных синтетических задач (в частности, Ханойской башни и Висконсинского теста сортировки карт) и результатов простых задач, направленных на оценку трех наиболее базовых функций: (1) переключение между задачами или ментальными установками, (2) обновление и мониторинг репрезентаций рабочей памяти и (3) торможение (подавление) непосредственных или привычных реакций. Ниже нам придется неоднократно возвращаться к этим трем базовым компонентам, и для краткости мы будем называть их “переключение”, “рабочая память” и “торможение”.

Следует отметить, что перечисленные три фактора, взятые в качестве базовых, были исходной точкой, а не результатом работы А. Мияке и соавт. (Miyake et al., 2000), в которой использовались подтверждающий (подтверждающий), а не исследовательский (поисковый) факторный анализ, а также SEM (structural equation modeling) – метод, который также имеет подтверждающую природу.

Таким образом, есть все основания рассматривать УФ не как совокупность равнозначных компонентов, а как иерархически организованную структуру. В этой иерархии базовые компоненты выполняют роль условий для осуществления более сложно организованных функций. Например, внимание можно рассматривать как общий ресурс, используемый (и истощаемый) как процессами когнитивного контроля, так и процессами саморегуляции (Kaplan, Berman, 2010; McCabe et al., 2010).

Если эмпирически подтвержденная модель иерархической структуры УФ с тремя базовыми компонентами (“торможение”, “рабочая память” и “переключение”) появилась в начале нынешнего столетия, то в концептуальном плане иерархическую природу поведения и высших психических функций подчеркивали уже давно (Бернштейн, 1947; Lashley, 1951; Лурия, 1969). В частности, на заре возникновения когнитивной науки Дж. Миллер и соавт. (Miller et al., 1960) предложили обобщенную модель целенаправленного поведения, основанную на принципе регуляции с обратной связью TOTE (test-operate-test-exit), существенно повлиявшую на дальнейшие теоретические работы (Botvinick, 2008; Duncan, 2010; Корр, 2012; Koechlin, 2014). Логическим продолжением этого подхода можно считать разрабатываемый в работах К. Фристана единый теоретический взгляд на мотивационные и управляющие процессы – теорию мотивированного контроля (Pezzulo, 2012; Pezzulo et al., 2018). Эта модель основывается на общем принципе активного статистического оценивания (active inference), в соответствии с которым мозг строит модель внешнего мира на основе восприятия сенсорной информации, порождаемой внешними событиями в мире, в том числе действиями самого организма. В соответствии с этой моделью и управление, и мотивация организованы иерархически. Управление включает сенсомоторный контроль – выбор среди текущих возможностей (“аффордансов”) – и

когнитивный контроль — временную координацию связанных с внутренними целями мыслей и/или действий. Мотивация на нижнем уровне включает висцеральные побуждения (например, прием пищи), а на более высоком — более абстрактные и долговременные цели (например, соблюдение диеты).

В иерархии управления более высокие уровни оказывают влияние на более низкие уровни, устанавливая предпочтительные или ожидаемые результаты в качестве целей, реализуемых более низкими уровнями. При этом мотивационные процессы приписывают определенную ценность каждой из целей в их иерархии и тем самым расставляют приоритеты.

Таким образом, процессы контроля и мотивации могут быть двумя сторонами одной медали и являются необходимыми аспектами активного вывода: следует решить, как достичь поставленной цели (контроль), и какие цели стоят того, чтобы их преследовать (мотивация).

УФ прочно ассоциируются с лобными долями мозга и более узко — с префронтальной корой. Еще несколько десятилетий назад термины “управляющие функции” и “лобные функции” использовались как синонимы. Накопление экспериментальных данных, особенно бурное в последние десятилетия в связи с прогрессом неинвазивных методов исследования мозговых процессов, привело к существенно более сложной картине (Мачинская, 2015; Cole et al., 2015; Pezzulo et al., 2018). В ней присутствуют сложные ансамбли различных кортикальных (теменных и височных) и субкортикальных (базальные ганглии, таламус) отделов (Tanji, Hoshi, 2008; Pezzulo et al., 2018), и существенную роль играют связи между отдельными структурами (Cole et al., 2015). Так, метаанализ большого числа экспериментальных исследований подтвердил гипотезу о том, что в основе УФ лежит высокоуровневая фронтально-цингуло-париетальная сеть (Niendam et al., 2012).

Хотя до сих пор существует неясность в том, что именно отражает активность нейронов префронтальной коры (Roy et al., 2014; Lara, Wallis, 2015), исследования активности префронтальных нейронов и их популяций (Tanji, Hoshi, 2008), а также клинические данные (Tsuchida, Fellows, 2012) свидетельствуют о функциональной специализации различных зон префронтальной коры (Мачинская,

2015). В частности, в дорсолатеральной префронтальной коре наблюдается ростральный градиент характера управления (Botvinick, 2008; Vadre, D’Esposito, 2009; Dixon, 2015), в соответствии с которым чем ростральнее область коры, тем более абстрактный характер носит процесс управления, в обеспечении которого эта область принимает участие, и тем более долговременные цели реализуются через такое управление. Ростральный градиент характера управления играет существенную роль в теоретических моделях УФ, подчеркивающих иерархический принцип построения управления и его связь с процессами научения (Koechlin, 2014; Pezzulo et al., 2018). Вероятно, существует связь между отмеченным функциональным градиентом в дорсолатеральной префронтальной коре и гетерохронией созревания различных отделов префронтальной коры: ранее всего созревает премоторная, а позже всего — фронтоорбитальная кора, в том числе и кора лобного полюса — поле 10 по Бродману (Botvinick, 2008; Цехмистренко и др., 2019).

ВОЗНИКНОВЕНИЕ И РАЗВИТИЕ УФ

Обладание УФ не является прерогативой человека. Все приматы в той или иной степени демонстрируют способности, которые обычно относят к УФ. Так, все приматы обладают способностью к тормозному контролю — к подавлению непосредственных или привычных, но нерелевантных или неэффективных реакций. В частности, человекообразные обезьяны практически безошибочно решают задачу Пиаже “А-не-В” (A-not-B), а трудности при решении этой задачи возникают лишь у более далеких от человека видов приматов (Rosati, 2017). Долгое время считалось также, что способность предвидения будущих событий и обстоятельств является уникальной чертой *homo sapiens*, в то время как другие виды находятся в плену настоящего. Однако эксперименты с отсроченным подкреплением (delayed gratification) показали, что даже далекие от человека в эволюционном отношении виды приматов при решении задачи на отсроченное подкрепление способны предпочесть большую, но отсроченную награду при задержке, не превышающей 40 сек, а некоторые особи человекообразных обезьян способны ждать 10 мин ради большей награды, пренебрегая немедленной

возможностью получить меньшую (Rosati, 2017).

Предполагается, что развитие УФ у предшественников *homo sapiens* связано с изготовлением ими каменных инструментов – процесса, требующего сложных последовательностей действий (Adornetti, 2016).

Существуют данные, указывающие на непропорциональное размерам тела развитие префронтальной коры у человекообразных обезьян и особенно у человека (Smaers et al., 2017). При этом среди приматов человека отличает не только большее число нейронов, но и большая их специализация, а также более сложная структура связей префронтальной коры с другими корковыми отделами.

В ходе индивидуального развития человека первые признаки наличия УФ появляются еще в младенчестве и продолжают формироваться существенно дольше, чем у других приматов (Davidson et al., 2006; Anderson, Reidy, 2012; Cuevas, Bell, 2014; Werchan et al., 2016; Marcovitch et al., 2016). В восходящем онтогенезе развитие УФ, как и других психических функций, происходит на фоне быстрых структурных изменений головного мозга (Lenroot, Giedd, 2006; Riccomagno, Kolodkin, 2015). Ключевыми процессами здесь являются: (1) пластические перестройки в нейронных сетях, обусловленные избыточным образованием синаптических контактов, а затем их элиминацией (прунингом), (2) формирование дендритных деревьев и ветвление аксонов и (3) миелинизация.

Миелинизация начинается еще в пренатальный период и не заканчивается до достижения взрослости. В разных отделах мозга миелинизация происходит неравномерно: связи префронтальной коры с другими отделами мозга созревают длительное время и не одновременно (гетерогенно) (Lebel et al., 2008). Синаптогенез – быстрорастущая сразу после рождения плотность синапсов, достигающая максимума примерно к 2 годам – сменяется выборочным уничтожением синапсов – синаптическим прунингом. Этот процесс происходит гетерохронно в разных отделах головного мозга: так, в зрительной коре синаптическая плотность достигает максимума к четырем месяцам, а в префронтальной – не ранее достижения четырех лет (Huttenlocher, 2004; Lenroot, Giedd, 2006).

Обсуждая методологические вызовы, стоящие перед исследователями УФ в онтогене-

зе, особенно раннем, когда УФ формируются особенно бурно, Дж. Бест и П. Миллер (Best, Miller, 2010) прежде всего отмечают, что несмотря на значительное число работ, посвященное развитию УФ, цельной картины не возникло, поскольку в этих работах рассматриваются узкие возрастные диапазоны. Это связано с быстрым развитием УФ у детей. Поэтому, даже если бы был выработан общепризнанный критерий отнесения функций к числу управляющих и на его основе созданы стандартные средства тестирования УФ, все равно невозможно было бы использовать одни и те же задачи для всех возрастов: то, что для детей младшего возраста является непосильной задачей (floor effect), не составляет никакого труда для детей постарше (ceiling effect).

Нередко, чтобы избежать потолочного эффекта, исследователи используют сложные задачи, решение которых обеспечивается комбинацией нескольких компонентов управляющих функций. В этом случае возникает проблема оценки вклада каждого компонента в полученный результат. Эта проблема, известная как “task impurity”, обсуждается в (Miyake et al., 2000; Best, Miller, 2010; Miyake, Friedman, 2012).

Задачи для тестирования УФ предполагают известный уровень знаний о внешнем мире, наличие необходимых навыков (например, чтения и счета), а также известную степень развития самих тестируемых функций, которые сильно различаются у детей различного возраста. Поэтому сюжеты, стимульный материал и способы реагирования, а также общий уровень сложности в задачах на оценку компонентов УФ подбираются отдельно для каждой возрастной группы.

Следует также помнить, что сама ситуация тестирования (вне зависимости от того, что именно тестируется) является задачей, требующей участия УФ: от испытуемого требуется принять в качестве цели собственной деятельности заданную извне инструкцию, удерживать ее и строить на ее основе свою деятельность. В процессе решения тестовой задачи “удельный вес” этой неспецифической части задачи (удержание инструкции и следование ей) у младших дошкольников может оказаться существенно более высоким, чем у детей более старшего возраста.

Наконец, изучение УФ в значительной мере опирается на анализ электро- и магнитоэнцефалограммы (ЭЭГ и МЭГ), а также ме-

тодов нейрокартирования — позитронной эмиссионной томографии (ПЭТ), функциональной ядерной магнитно-резонансной томографии (фМРТ) и функциональной ближней инфракрасной спектроскопии (фБИКС — fNIRS). Специфические требования части этих методов (например, сохранение неподвижности) невыполнимы или трудновыполнимы, если они предъявляются маленьким детям (Fiske, Holmboe, 2019). Соответственно, не только тестовые задачи, но и методы оценки мозговой активности в процессе их решения оказываются разными для разных возрастных групп испытуемых.

Все перечисленные выше проблемы делают сопоставление данных, полученных для испытуемых разных возрастных групп, достаточно непростой задачей.

Большинство работ, в которых делается попытка представить общую картину развития УФ, прослеживают траектории развития основных компонентов УФ, т.е. “торможения”, “рабочей памяти” и “переключения”.

Поведенческие (Davidson et al., 2006; Best, Miller, 2010; Ackerman, Friedman-Krauss, 2017) и нейрофизиологические (Rubia, 2013; Fiske, Holmboe, 2019) исследования показывают улучшение с возрастом всех трех компонентов УФ, хотя траектории их развития неодинаковы. Быстрое улучшение эффективности торможения в раннем дошкольном возрасте сменяется более медленным улучшением у подростков (Best, Miller, 2010). Траектория развития рабочей памяти (РП) иная. Решение сложных задач на РП, т.е. задач, требующих более сложной обработки и преобразования информации в РП, постепенно становится все более эффективным по крайней мере до подросткового возраста. Как и в случае торможения, паттерн мозговой активации из генерализованного становится более избирательным и сводится преимущественно к активации фронто-париетальной сети, что характерно для взрослых. Однако в отличие от траектории развития торможения, испытывающего существенные улучшения в дошкольном возрасте, за которыми следуют более скромные, линейные улучшения в подростковом возрасте, большинство данных свидетельствует о том, что траектория развития РП линейна от дошкольного до старшего подросткового возраста (Best, Miller, 2010).

Способность успешно переключаться между задачами развивается вплоть до под-

росткового возраста. Дети дошкольного возраста могут переключаться между простыми задачами, а по мере взросления начинают справляться с переключениями между все более сложными задачами (Davidson et al., 2006; Best, Miller, 2010). В силу вовлечения в процесс переключения множественных когнитивных процессов, зрелая способность к переключению обеспечивается, скорее всего, взаимодействием различных областей префронтальной коры.

Следует отметить, что не существует единого мнения относительно того, какова структура УФ в различные периоды развития ребенка. Хотя большинство исследователей используют три рассмотренные выше компонента УФ (“торможение”, “рабочая память” и “переключение”), используется также и четырехкомпонентное (“управляющее внимание”, “целеполагание”, “когнитивная гибкость”, “обработка информации”) описание УФ (Anderson, 2002; Anderson, Reidy, 2012). Кроме того, для разных возрастных периодов может быть характерна различная структура УФ. Так, по данным (Xu et al., 2020) в группах детей 7–9 и 11–12 лет однофакторная модель лучше описывает данные, чем трехкомпонентная модель, справедливая для более взрослых подростков и взрослых. Отметим также, что использование различных описаний структуры УФ приводит к тому, что в поведенческих исследованиях используются разные наборы задач.

При изучении УФ огромную роль играют различные методы нейровизуализации, позволяющие получить информацию об активации/деактивации различных структур мозга, о морфологических и функциональных связях между этими структурами и о причинно-следственной связи между поведенческими проявлениями и измеренными нейрофизиологическими показателями. В силу крайней ограниченности методик в онтогенетических исследованиях УФ, особенно если речь идет о младенчестве, эти методы играют исключительно важную роль.

Многочисленные экспериментальные данные, полученные с помощью фМРТ, показывают (Rubia, 2013), что в восходящем онтогенезе происходит прогрессивное усиление функциональной активации в релевантных решаемым задачам латеральных и медиальных отделах префронтальной коры, стриатуме (полосатом теле базальных ганглиев) и темменно-височных областях коры, которые

опосредуют управляющие функции мозга. Это усиление сопровождается также ростом силы функциональных связей (при решении соответствующих задач) в пределах лобно-стриарных и лобно-теменно-височных сетей. Напротив, убывание степени связности (отрицательные корреляции с возрастом) наблюдается в ранее развивающихся постцентральных и лимбических областях. Такая разнонаправленная возрастная динамика функциональных связей свидетельствует об относительном уменьшении роли обрабатывающих сенсорную информацию систем постцентральных областей, работающих по принципу “снизу вверх” и возрастающей роли работающих по принципу “сверху вниз” систем, в которых ключевую роль играет префронтальная кора и ее связи с другими корковыми и подкорковыми структурами. Изучение нейронных сетей покоя (resting state networks – RSN) также демонстрирует возрастные изменения. В частности, оно показывает, что по мере развития формируются все более сильные дальние связи (например, лобно-теменные и лобно-мозжечковые).

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ УФ У ДОШКОЛЬНИКОВ

В отечественной литературе преобладают работы, в которых УФ у детей исследуются и оцениваются главным образом в рамках нейропсихологического подхода (Ахутина и др., 2016). Для этого используются задачи, направленные на оценку функций III блока по А.Р. Лурии (Лурия, 1973). Задачи, направленные на оценку программирования и контроля произвольных действий, включают: реакцию выбора, таблицы Шульте, счет, решение задач, ассоциативные ряды, “пятый лишний”, раскладывание серии картинок, а также задачи, направленные на оценку серийной организации движений и действий: динамический праксис, реципрокная координация, графическая проба, выполнение ритмов по инструкции, завершение предложений, рассказ по серии картинок (см., например, табл. 2 в работе (Горина, Ахутина, 2011)). Отметим, что нижняя возрастная граница в таких исследованиях составляет 5 лет. В то же время в мире накоплен опыт работы с детьми моложе 5 лет и предложен ряд задач, доступных детям 3 лет и даже раньше (Espy et al., 2001; Davidson et al., 2006; Garon et al., 2008).

Для оценки УФ у дошкольников используются разнообразные задачи, и это разнообра-

зие связано с различием в подходах к оценке УФ, в том числе с различием теоретических представлений о роли и структуре УФ.

Один из подходов – исторически наиболее ранний – это использование сложных синтетических задач, таких как “Ханойская башня” ТОН (Tower of Hanoi) или “Висконсинский тест сортировки карт” WSCS (Wisconsin Card Sorting Task). Вариант задачи WSCS для маленьких детей – это задача The Dimensional Change Card Sort (DCCS) (Zelazo, 2006), которую можно назвать задачей “изменение признака сортировки карточек”.

В задаче ТОН даны три стержня, на одном из которых собрана пирамидка из надетых на этот стержень уменьшающихся в диаметре колец (самое большое кольцо лежит в основании пирамидки). Требуется пересобрать эту пирамидку на одном из свободных стержней, перенося по одному кольцу и используя третий, свободный стержень как вспомогательный. При этом нельзя класть большее кольцо на меньшее.

Задача WSCS состоит в сортировке карточек по одному из нескольких признаков (цвет, форма, размер). При этом тестируемый не знает, по какому именно признаку следует сортировать карточки, и должен выяснить это на основе обратной связи: на каждом шаге испытуемому говорят, правильно ли было выбрано основание для сортировки. Время от времени экспериментатор изменяет критерий сортировки, о чем тестируемый узнает только посредством обратной связи. Отметим, что задача DCCS, в которой дети должны отсортировать серию тестовых карточек по заранее известному основанию (подробнее эта задача описана ниже), не является синтетической и фактически является задачей на переключение.

Еще одним примером сложной задачи является задача “голова-носки-колени-локти” (Head-Toes-Knees-Shoulders task – HTKS) (McClelland et al., 2014). В этой задаче детей просят делать противоположное тому, что говорит экспериментатор. Экспериментатор предлагает детям прикоснуться к своей голове (или пальцам ног), но вместо того, чтобы следовать команде, дети должны сделать обратное и коснуться пальцев ног. После завершения задания “голова/пальцы ног” дети выполняют расширенное испытание, в которое добавляются команды “колени и плечи”.

Иной подход — более новый по историческим меркам — состоит в использовании наиболее простых по своей функциональной структуре задач, т.е. задач, задействующих преимущественно один базовый компонент УФ. Какие именно это будут задачи — зависит от того, используется ли трехкомпонентная модель (Miyake et al., 2000) или модель с четырьмя блоками (произвольное внимание, когнитивная гибкость, целеполагание и обработка информации) и большим числом более элементарных компонентов (Anderson, 2002; Anderson, Reidy, 2012; Ackerman, Friedman-Krauss, 2017).

В обзорной работе (Garon et al., 2008, табл. 3) приведен репрезентативный список задач, направленных на оценку трех компонентов УФ. Для каждого из них в таблице собраны простые и сложные задачи. Ниже мы перечислим те задачи, которые рекомендованы для детей начиная с 3 лет.

Простые задачи на РП

Здесь требуется только удержание информации. Типичными задачами являются:

Digit/word Span (объем памяти на цифры/слова). Ребенка просят запомнить и повторить список цифр или слов. Измеряемый показатель — наиболее длинная правильно воспроизведенная последовательность.

Corsi block span (объем памяти на последовательность положений в пространстве). Экспериментатор указывает пальцем на некоторые из девяти деревянных кубиков в определенной последовательности; ребенка просят повторить эту последовательность. Задача начинается с двух кубиков, и их число постепенно увеличивается до девяти. Измеряемый показатель — длина наиболее длинной правильно повторенной последовательности.

Сложные задачи на РП

Задачи этого вида подразумевают не только удержание, но и обновление и преобразование информации. Типичные задачи таковы:

Self-ordered pointing (объем памяти на последовательность объектов при свободном выборе порядка воспроизведения). Ребенку показывают листок с двумя картинками и просят выбрать одну из них. Затем на другом листке показывают эти же две картинки в другом порядке и просят ребенка выбрать ту, которую он еще не выбирал. Число картинок на листе

увеличивают (3, 4, ...) до тех пор, пока ребенок не сделает двух ошибок подряд. Измеряемый показатель — наибольшее число картинок, при которых ребенок еще не делает ошибок.

Backward digit span (объем памяти на цифры при воспроизведении их списка в обратном порядке). Ребенка просят запомнить и повторить в обратном порядке список цифр. Измеряемый показатель — длина наиболее длинной правильно повторенной последовательности.

Backward Corsi span (объем памяти на последовательность положений в пространстве при воспроизведении ее в обратном порядке). Экспериментатор указывает пальцем на некоторые из девяти деревянных кубиков в определенной последовательности; ребенка просят повторить эту последовательность в обратном порядке. Задача начинается с двух кубиков и их число постепенно увеличивается до девяти. Измеряемый показатель — длина наиболее длинной правильно повторенной последовательности.

Простое торможение ответа

Типичная задача — это *Delay of gratification: choice (выбор большего, но отсроченного вознаграждения)*. Ребенок выбирает между большим отложенным вознаграждением и меньшим немедленным вознаграждением. Измеряемый показатель — число выборов отсроченного вознаграждения.

Сложное торможение ответа

В задачах этого вида требуется удерживать правило, формировать ответ в соответствии с этим правилом и уметь подавлять доминирующий ответ. Ниже приведены несколько задач этого типа:

Bear and dragon (конфликтная проба “медведь и дракон”). Ребенок должен делать то, что просит медведь, и не делать то, что просит дракон. Измеряемый показатель — число проб, в которых ребенок не двигается в ответ на просьбу дракона.

Grass—snow (конфликтная проба “трава—снег”). Ребенок должен указывать на белый цвет, когда экспериментатор говорит “трава”, и на зеленый цвет, когда экспериментатор говорит “снег”. Измеряемый показатель — число правильных ответов.

Day—night (конфликтная проба “день—ночь”). Ребенок должен реагировать словом

“ночь” на изображение солнца и словом “день” на изображение луны. Измеряемый показатель – число правильных ответов.

Less is more (конфликтная проба “меньшее – это большее”). Ребенку показывают две тарелки с конфетами, причем на одной из них конфет больше, чем на другой. Ребенка просят указать, какую тарелку он хочет получить, но получает он не ту, на которую он указал. Измеряемый показатель – число выборов тарелки с меньшим числом конфет.

Hand game (конфликтная проба “кулак–палец”). После повторения жестов за экспериментатором в течение шести правильных проб (экспериментатор показывает кулак или указательный палец), ребенка просят отвечать кулаком на палец и пальцем на кулак. Измеряемый показатель – число правильных проб.

Переключение ответа

Здесь имеется в виду формирование произвольного правила, связывающего стимул и реакцию в первой фазе задачи и переход к новому правилу во второй ее фазе. В этот раздел входят задачи Spatial reversal, Object reversal task, A-not-B, Multilocation search, которые доступны детям с двух лет, а A-not-B – с шести месяцев. Здесь мы не будем останавливаться на этих задачах.

Переключение внимания

Переключение внимания аналогично переключению ответа, за исключением того, что в первой фазе задачи требуется фокусировка внимания на одном признаке стимулов (цвет), а во второй фазе внимание переключается на другой признак (форма). Ниже приведены две задачи этого типа:

DCCS (сортировка карточек после смены признака). Ребенку показывают карточки с цветными фигурами, которые можно сортировать по цвету или форме. Ребенок должен отсортировать по одному признаку, а затем перейти к сортировке по другому признаку. Измеряемый показатель – число правильных ответов после переключения на второй признак.

Teddy bear task (проба “плюшевый мишка”). Задача аналогична DCCS, за исключением того, что ребенку не сообщают правило, и он должен сам узнать его из обратной связи (ему сообщают, правильно ли он осуществил оче-

реднюю сортировку). В фазе после переключения правило меняется. Измеряемый показатель – число правильных ответов в 20 пробах.

При исследовании УФ у дошкольников все более существенную роль играют компьютерные методики. Так, например, разработана и используется батарея компьютеризированных тестов, в которую включены синтетические тесты, направленные на оценку УФ: “Точки”, двухцветные таблицы Шульте–Горбова, “Корректирующая проба”, “Руки–ноги–голова” (Ахутина и др., 2017).

Доступна для скачивания и установки на планшете батарея ЕУТ (<http://www.eytoolbox.com.au/>). В нее входят представленные в игровой форме задачи на оценку зрительно-пространственной (“Mr. Ant” task) и фонологической (“Not this” task) РП, оценку “торможения” (go/no-go task) и оценку “переключения” (DCCS task (Zelazo, 2006)). Входящие в нее тесты были апробированы на большой популяции дошкольников (1700 детей) в работе (Howard, Melhuish, 2017). По данным работы (Berg et al., 2020), детям (5–8 лет) нравится проходить процедуру оценки УФ в игровой форме на iPad, что повышает надежность диагностической процедуры, и, кроме того, результаты тестирования обладают прогностической силой в отношении школьных успехов: например, оценка рабочей памяти в батарее ЕУТ показала значительную положительную корреляцию с несколькими типами оценок (например, по английскому языку и математике) у учащихся начальной школы.

Непосредственное отношение к оценке УФ у дошкольников имеют также разрабатываемые в рамках теории (Theory of Constructive Operators, ТСО) методики оценки объема ментального внимания (Arsalidou et al., 2019). В частности, используются два варианта задачи на соответствие цветов: “Игра с шариками” и “Игра с клоунами”. В этой задаче ребенку последовательно на короткое время предъявляют картинки нескольких разноцветных шариков или клоунов в разноцветных костюмах. Требуется сравнить текущую картинку с предыдущей и решить, совпадают ли цвета (шариков или костюмов клоуна) в этих двух картинках, при этом расположение цветов в пространстве не играет роли. Дополнительно требуется игнорировать зеленый и синий цвета, обращая внимание только на другие цвета. Обе игры реализованы в виде компьютерных методик, в том числе в online-

варианте, работающем в браузере (<https://social.hse.ru/neuropsy/cognitivegames>).

Отметим, что с точки зрения трехкомпонентной UD-модели задача на соответствие цветов является синтетической, поскольку она оценивает одновременно объем рабочей памяти и способность к торможению, а также существенно опирается на зрительный поиск.

НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Представленные в литературе экспериментальные исследования УФ в значительной мере посвящены трем базовым компонентам: “торможению”, “рабочей памяти” и “переключению”. В особенности это относится не к фундаментальным исследованиям УФ как таковым, а к исследованиям более прикладного характера и, в частности, к исследованиям, посвященным возрастным изменениям УФ. В связи с подобным ограничением фокуса исследовательского внимания при изучении возрастных изменений УФ возникает ряд проблем, которые удобно обсудить на примере компонента “торможение”.

Хотя “торможение” называют одним из трех базовых компонентов УФ, оно отнюдь не элементарно (Diamond, 2013; Tiego et al., 2018). Различают, как минимум, два вида “торможения” (Tiego et al., 2018). Первый вид торможения – это торможение двигательной реакции (*response inhibition*). Способность к такому торможению (и его эффективность) обычно оценивают с помощью таких задач как “стоп-сигнал” (*stop signal task*), “иди-стой” (*go/no-go task*) и “антисаккады” (*antisaccade task*). Все эти задачи требуют от исполнителей подавления заданной двигательной реакции при предъявлении определенного сигнала. Этот вид торможения называют также поведенческим торможением (*behavioral inhibition*), двигательным торможением (*motor inhibition*), подавлением доминантной реакции (*prepotent response inhibition*). Второй вид торможения – это торможение, связанное с вниманием или, иначе, тормозный контроль внимания (*attentional inhibition; inhibitory control of attention*). Такое торможение относится к способности противостоять стимулам-помехам (дистракторам). Экспериментально его исследуют, например, с помощью парадигмы *same-different*, в которой от испытуемого требуется указать, являются ли сравниваемые стимулы одинаковыми, игнорируя

при этом иррелевантные отвлекающие стимулы. Связанное с вниманием торможение называют также подавлением или контролем интерференции (*interference control, interference suppression*).

Торможение понимается и более широко (Diamond, 2013). В этом случае, помимо тормозного контроля внимания в вышеуказанном смысле (подавление перцептивных стимулов-дистракторов), рассматриваются еще дополнительные проявления торможения. Одно из таких проявлений – подавление доминантных ментальных представлений (посторонних или нежелательных мыслей и воспоминаний). Эта способность обозначается термином “когнитивное торможение” (*cognitive inhibition*). Еще одно проявление тормозного контроля – это самоконтроль, т.е. контроль над своим поведением и своими эмоциями. Самоконтроль заключается в том, чтобы противостоять искушениям и не действовать импульсивно. В частности, к самоконтролю относится и дисциплина, позволяющая продолжать работать, несмотря на отвлекающие факторы и на соблазн сделать что-нибудь интересное или просто хорошо провести время.

Рассмотренная выше функциональная структура “торможения” указывает на одну из проблем, возникающих при экспериментальном исследовании УФ. Эта проблема связана с тем, как справедливо отмечено в работе (Miyake et al., 2000), что по своей природе УФ не могут проявлять себя непосредственно, а проявляют себя только через воздействие на какие-либо иные процессы, которыми они управляют (восприятие, движение, эмоции и проч.). Это, в свою очередь, приводит к тому, что изучаемый компонент УФ оказывается зависимым от того, каким именно процессом он управляет. Так, по данным (Tiego et al., 2018) торможение двигательной реакции и тормозный контроль внимания являются двумя отдельными, эмпирически независимыми функциональными компонентами, умеренная корреляция между которыми возникает в силу того, что каждый из них зависит от объема РП. Разные компоненты тормозного контроля оцениваются с помощью разных экспериментальных парадигм, и за ними могут стоять разные механизмы, опирающиеся на специфические для них мозговые системы (Aron, 2011; Meyer, Vucci, 2016; Tiego et al., 2018). Даже при ис-

пользовании относительно простой стандартной задачи возникают аналогичные трудности. Например, в задаче Струпа, традиционно используемой для оценки тормозного контроля внимания, отражающий эффективность торможения струп-эффект может происходить на разных этапах каскада управляющих процессов от сенсорного входа до подготовки моторного ответа (Vanich, 2019).

Наконец, с косвенным характером УФ связана еще одна проблема: показатели, характеризующие успешность решения задачи, разработанной для оценки УФ, могут отражать не сами УФ, а те процессы, которыми УФ управляют. Так, если ребенок не способен затормозить доминирующий ответ (моторный, речевой), то это может происходить, например, потому что удерживаемое в РП правило о том, что нужно тормозить определенное действие, вышло из фокуса неперцептивного внимания, направленного на информацию в РП (Oberauer, 2013; 2019).

Обратимся вновь к определению “торможения”, данному в работе (Diamond, 2013). В ней А. Даймонд отмечает, что тормозный контроль включает в себя способность контролировать свое внимание, поведение, мысли и эмоции. Эта способность требуется для того, чтобы преодолеть сильную внутреннюю предрасположенность или внешний соблазн и вместо этого осуществлять то, что более уместно или необходимо.

Из этого определения непосредственно следует, что тормозный контроль осуществляется с определенной целью — чтобы “осуществлять то, что более уместно или необходимо”. Он осуществляется в соответствии с текущей целью в контексте плана, ведущего к этой цели, и непосредственно в процессе деятельности, реализующей этот план. Сам акт торможения внутреннего побуждения или спровоцированного внешними обстоятельствами рутинного ответа опирается на оценку этого побуждения или ответа как иррелевантного. Отметим, что привычный ответ (*habitual response*) вовсе не обязательно противоречит протеканию целесообразного действия: в зависимости от контекста он может быть нейтральным и полезным, как и неадекватным. Следовательно, торможению предшествует основанное на анализе контекста решение о нежелательности некоторого побуждения. Можно сказать, что акт торможения

представляет собой решение об отказе от неадекватной плану реакции и выбор в пользу соответствующего плану действия.

Таким образом, торможение оказывается связанным с целеполаганием, планированием, научением и принятием решения. В соответствии с современными теоретическими представлениями решение принимается на основе баланса выгод и затрат. При этом сам процесс решения — это ресурсоемкий процесс, который должен учитываться в этом балансе на стороне затрат (Dayan, 2014; Boureau et al., 2015). Привычка считать неспособность подавить импульсивную реакцию чем-то иррациональным, неким отклонением от нормы, проистекает из рассмотрения процесса принятия решения только со стороны выгод при игнорировании затрат (Dayan, 2014). Между тем, принятие решения на основе баланса выгод и затрат предполагает выяснение того, стоят ли выгоды от процесса принятия правильного решения связанных с ним затрат ресурсов. Иначе говоря, иной раз правильное действие может стоить дороже, чем ошибка, вызванная неадекватным действием.

Применительно к оценке функции торможения в восходящем онтогенезе сказанное выше означает, что наблюдаемая в эксперименте неспособность ребенка подавить “нежелательную реакцию” может быть результатом: (1) отсутствия репрезентации “желательной реакции”, иначе говоря, неразвитостью функции планирования действий; (2) слишком большой ценой осуществления контроля, в результате чего осуществляется привычная, хоть и не эффективная реакция, (3) потерей репрезентации цели (окончательной или временной — отвлечение внимания). Неспособность к торможению может быть вызвана и сочетанным влиянием указанных факторов, причем дополнительная сложность заключается в том, что относительный вклад каждого из факторов может значительно изменяться на разных этапах развития ребенка. Все это требует разработки системы экспериментальных парадигм, которая выходила бы за пределы UD-модели УФ (Miyake et al., 2000; 2017 Friedman, Miyake, 2017).

Совершенно недостаточно исследованы процессы постановки цели (целеполагание) и функция планирования действий. Так, в работе (Anderson, Reidy, 2012) для исследования целого функционального блока “целеполагание” (*goal setting*), куда входит планиро-

вание, использовались фактически всего две задачи: “Ханойская башня” (а также варианты “Лондонской башни”) и сортировка объектов по одиночным или сопряженным признакам. При решении сложных задач такого рода возникает проблема, связанная с существованием множественных стратегий решения, что приводит как к низкой воспроизводимости результатов при повторном тестировании, так и к низким корреляциям с другими задачами.

Вообще, планированию действий посвящены лишь немногие работы (Hudson et al., 1995; Jurado, Rosselli, 2007; Anderson, Reidy, 2012; Herd et al., 2013; Miyata et al., 2014). Соответственно, не разработаны экспериментальные парадигмы, пригодные для систематического изучения планирования действий. Между тем, если исходить из определения УФ как функций, лежащих в основе целесобразного поведения, то становится ясным, насколько принципиальна эта функция в структуре УФ. Фактически это стало ясно уже в середине прошлого столетия, на заре возникновения когнитивной науки, когда Дж. Миллер, Е. Галантер и К. Прибрам предложили рассматривать принцип ТОТЕ (test-operate-test-exit) в качестве элемента психического процесса вместо принципа “стимул-реакция” (Miller et al., 1960) (см. также (Корр, 2012)).

Планирование – это сложный процесс, означающий поиск и выстраивание такой цепочки (и/или параллельного потока) действий, которая приводит к реализации цели. Этот процесс имеет иерархическую структуру. Цель мы формулируем в абстрактном виде: например, мы хотим сходить в кино, приготовить еду или посетить музей. Процесс планирования (когнитивного или управляющего) переводит все это в цепочку/параллельный поток менее абстрактных, т.е. более конкретных действий. В свою очередь, эти действия заменяются агрегациями еще более конкретных действий и так далее, вплоть до конкретных движений (это могут быть ходьба, отпирание двери ключом, чтение (движение глаз) записки, наставление (движения артикуляторных органов) ребенку, которого вы оставляете дома) – и так далее вплоть до финальной стадии *моторного планирования*.

Нетрудно видеть, что классическая синтетическая задача для оценивания способности к когнитивному планированию – “Ханой-

ская (Лондонская) башня” – характеризуется тем, что элементы-предметы здесь заданы (колечки и штыри), и заданы также элементы-действия – перекалывание колец при таких-то ограничениях. Эти элементы заданы инструкцией и свойствами пирамидки, известными с младенчества. Между тем в реальной жизни планирование редко протекает в столь стерильной обстановке; обычно оно происходит в ситуации большей или меньшей неопределенности, в которой требуется (1) поиск адекватных составляющих плана – релевантных предметов (материалов) и соответствующих действий, а также (2) выстраивание правильной последовательности найденных действий, порядок которых может оказаться критичным (неперестановочные, некоммутативные действия). Таким образом, способность планировать действия опирается на наличие достаточно полной и адекватной модели внешнего мира, в которую включены сведения о функции предметов, а также представления (не обязательно осознаваемые и вербализуемые) о физической причинности (о причинно-следственных отношениях), в частности об отношении “инструмент-материал”. Эта картина мира должна содержать сведения о перестановочности (коммутативность/некоммутативность) действий.

В тех немногих работах, где исследуется планирование, речь идет об организации последовательности действий (Herd et al., 2013). Организация последовательностей (sequencing) – это, безусловно, важный аспект планирования, но отнюдь не единственный. Не менее важна координация двух или нескольких параллельно протекающих процессов. Этот аспект учитывается и разработан при изучении моторного планирования (motor planning) в ситуациях координации движений разных эффекторов или сенсомоторной координации, но не применительно к когнитивному планированию (cognitive planning), которое является одним из компонентов УФ. Исключением является Cooking Task – задача на приготовление еды (Craik, Bialystok, 2006). Эта задача разработана и предлагается взрослым испытуемым; детского ее варианта не существует. В этой задаче испытуемые должны начать и завершить приготовление пяти блюд (требующих разного времени) с таким расчетом, чтобы они оказались готовы к одному и тому же времени. Параллельно испытуемые

должны были выполнять дополнительную задачу (concurrent task) — сервировать стол.

Все сказанное по поводу оценки функции планирования ставит на повестку дня разработку соответствующих экспериментальных парадигм, адаптированных к дошкольному возрасту, начиная с дошкольников 3 лет.

Следует учесть, что и целеполагание, и планирование являются частично или полностью скрытой и непосредственно не наблюдаемой умственной активностью. Для исследования такой активности важно сочетать поведенческие оценки действий, в которых реализуется план (именно характер самой реализации, а не только ее результат), с нейрофизиологическими (ЭЭГ/МЭГ/NIRS/фМРТ) методами исследования мозговой активности. При этом не всякая задача подходит для электрофизиологического исследования, в котором необходимо минимизировать движения глаз, головы и мимических мышц.

В этом отношении источником новых экспериментальных данных при изучении связанных с развитием изменений мозговых механизмов УФ у дошкольников может быть функциональная спектроскопия в ближнем инфракрасном диапазоне (functional near-infrared spectroscopy). По сравнению с фМРТ этот метод нейровизуализации позволяет существенно легче работать с маленькими детьми, особенно с младенцами (не надо лежать в капсуле сканера и не требуется неподвижности), его пространственное разрешение существенно выше, чем у электроэнцефалографии, и он менее подвержен влиянию связанных с движениями артефактов (Fiske, Holmboe, 2019).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследования формирования управляющих функций в восходящем онтогенезе, особенно в его ранний период, позволяет не только глубже понять структуру этих функций, но и представляет значительный практический интерес, поскольку степень развития этих функций у дошкольников является предиктором последующих школьных успехов.

Проведение экспериментальных исследований УФ, а также разработка методов их оценки УФ у дошкольников, сталкиваются с рядом трудностей, одна из которых состоит в отсутствии общепринятого определения УФ и связанных с этим обстоятельством множе-

ственности подходов к экспериментальному исследованию этих функций и соответствующим трудностям при сопоставлении полученных результатов.

Способ обойти эту трудность был найден в использовании в качестве теоретической основы UD-модели УФ, в соответствии с которой в основе УФ лежат три базовых функциональных компонента: “торможение”, “переключение” и “рабочая память”. В рамках именно этой модели выполняется большинство экспериментальных исследований УФ, в том числе и исследования формирования УФ у дошкольников 3–6 лет.

Однако подобная сосредоточенность на базовых функциональных компонентах УФ (при всех достоинствах такого подхода) привела к тому, что другие аспекты УФ изучены с гораздо меньшей полнотой. В частности, это относится к исследованию формирования способности к планированию действий, хотя именно планирование действий лежит в основе целесообразной деятельности, обеспечить которую и призваны УФ.

Перспективным подходом к изучению планирования действий у дошкольников, помимо синтетических тестов вроде “Ханойской башни”, может оказаться исследование отдельных аспектов планирования. Этими аспектами являются выбор релевантных цели действия предметов и способов воздействия на них и понимание различных существенных отношений: причинно-следственных, отношений “инструмент–материал/объект”, понимание непрерывности (некоммутативности) действий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Ахутина Т.В., Корнеев А.А., Матвеева Е.Ю. Развитие функций программирования и контроля у детей 7–9 лет. Вестник Московского университета. Серия 14: Психология. 2016. (1): 42–63.
- Ахутина Т.В., Корнеев А.А., Матвеева Е.Ю., Кремлев А.Е., Гусев А.Н. Компьютерная батарея нейропсихологического обследования детей 6–9 лет “Ахутина-2017”. 2017. <http://www.psy.msu.ru/about/lab/neuropsych/akhutina-2017.html>
- Бернштейн Н.А. О построении движений. М.: Медгиз. 1947, 256 с.
- Горина Е.Ю., Ахутина Т.В. Оценка функций программирования и контроля у первоклассников: нейропсихологическое обследование,

- анализ ошибок на письме, опросник brief. *Культурно-историческая психология*. 2011. 7 (3): 105–113.
- Лурия А.Р. Высшие корковые функции человека. М.: Изд-во МГУ, 1969. 504 с.
- Лурия А.Р. Основы нейропсихологии. М.: Изд-во МГУ, 1973. 374 с.
- Мачинская Р.И. Управляющие системы мозга. *Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова*. 2015. 65 (1): 33–60.
- Цехмистренко Т.А., Васильева В.А., Обухов Д.К., Шумейко Н.С. Строение и развитие коры большого мозга. М.: Издательство “Спутник+”, 2019. 538 с.
- Ackerman D.J., Friedman-Krauss A.H. Preschoolers’ executive function: Importance, contributors, research needs and assessment options. *ETS Research Report Series*. 2017. 2017 (1): 1–24.
- Adornetti I. On the phylogenesis of executive functions and their connection with language evolution. *Front Psychol*. 2016. 7: 1426.
- Anderson P. Assessment and development of executive function (EF) during childhood. *Child Neuropsychol*. 2002. 8 (2): 71–82.
- Anderson P.J., Reidy N. Assessing executive function in preschoolers. *Neuropsychol Rev*. 2012. 22 (4): 345–360.
- Ardila A. On the evolutionary origins of executive functions. *Brain Cogn*. 2008. 68 (1): 92–99.
- Aron A.R. From reactive to proactive and selective control: developing a richer model for stopping inappropriate responses. *Biol Psychiatry*. 2011. 69 (12): e55–68.
- Arsalidou M., Pascual-Leone J., Johnson J.M., Kotova T. The constructive operators of the working mind: A developmental account of mental-attentional capacity. *The Russian Journal of Cognitive Science*. 2019. 6 (2): 44–70.
- Baddeley A. The central executive: a concept and some misconceptions. *J Int Neuropsychol Soc*. 1998. 4 (5): 523–526.
- Baddeley A. Working memory: theories, models, and controversies. *Annu Rev Psychol*. 2012. 63: 1–29.
- Baddeley A.D., Hitch G. Working memory. In: Bower G.A., editor. *The psychology of learning and motivation* (vol. 8, pp. 47–89) New York, NY, USA: Academic Press; 1974. pp. 47–89.
- Badre D., D’Esposito M. Is the rostro-caudal axis of the frontal lobe hierarchical?. *Nat Rev Neurosci*. 2009. 10 (9): 659–669.
- Banich M.T. The Stroop Effect Occurs at multiple points along a cascade of control: Evidence From Cognitive Neuroscience Approaches. *Front Psychol*. 2019. 10: 2164.
- Barkley R.A. *Executive Functions: What they are, how they work, and why they evolved*. Guilford Publications, 2012. 244 p.
- Berg V., Rogers S.L., McMahon M., Garrett M., Manley D. A novel approach to measure executive functions in students: An evaluation of two child-friendly apps. *Front Psychol*. 2020. 11: 1702.
- Best J.R., Miller P.H. A developmental perspective on executive function. *Child Dev*. 2010. 81 (6): 1641–1660.
- Botvinick M.M. Hierarchical models of behavior and prefrontal function. *Trends Cogn Sci*. 2008. 12 (5): 201–208.
- Boureau Y.L., Sokol-Hessner P., Daw N.D. Deciding how to decide: Self-control and meta-decision making. *Trends Cogn Sci*. 2015. 19 (11): 700–710.
- Bull R., Espy K.A., Wiebe S.A. Short-term memory, working memory, and executive functioning in preschoolers: longitudinal predictors of mathematical achievement at age 7 years. *Dev Neuropsychol*. 2008. 33 (3): 205–228.
- Chan R.C., Shum D., Toulopoulou T., Chen E.Y. Assessment of executive functions: review of instruments and identification of critical issues. *Arch Clin Neuropsychol*. 2008. 23 (2): 201–216.
- Cole M.W., Ito T., Braver T.S. Lateral prefrontal cortex contributes to fluid intelligence through multinet-work connectivity. *Brain Connect*. 2015. 5 (8): 497–504.
- Collette F., Hogge M., Salmon E., Van der Linden M. Exploration of the neural substrates of executive functioning by functional neuroimaging. *Neuroscience*. 2006. 139 (1): 209–221.
- Cortés Pascual A., Moyano Muñoz N., Quílez Robres A. The relationship between executive functions and academic performance in primary education: Review and meta-analysis. *Front Psychol*. 2019. 10: 1582.
- Craik F.I., Bialystok E. Planning and task management in older adults: cooking breakfast. *Mem Cognit*. 2006. 34 (6): 1236–1249.
- Cuevas K., Bell M.A. Infant attention and early childhood executive function. *Child Dev*. 2014. 85 (2): 397–404.
- Davidson M.C., Amso D., Anderson L.C., Diamond A. Development of cognitive control and executive functions from 4 to 13 years: evidence from manipulations of memory, inhibition, and task switching. *Neuropsychologia*. 2006. 44 (11): 2037–2078.
- Dayan P. Bilinearity, rules, and prefrontal cortex. *Front Comput Neurosci*. 2007. 1: 1.
- Dayan P. Rationalizable irrationalities of choice. *Top Cogn Sci*. 2014. 6 (2): 204–228.
- Diamond A. Executive functions. *Annu Rev Psychol*. 2013. 64: 135–168.

- Dixon M.L.* Cognitive control, emotional value, and the lateral prefrontal cortex. *Front Psychol.* 2015. 6: 758.
- Duncan J.* The multiple-demand (MD) system of the primate brain: mental programs for intelligent behaviour. *Trends Cogn Sci.* 2010. 14 (4): 172–179.
- Engelhardt L.E., Mann F.D., Briley D.A., Church J.A., Harden K.P., Tucker-Drob E.M.* Strong genetic overlap between executive functions and intelligence. *J Exp Psychol Gen.* 2016. 145 (9): 1141–1159.
- Espy K.A., Kaufmann P.M., Glisky M.L.* New procedures to assess executive functions in preschool children. *Clin Neuropsychol.* 2001. 15 (1): 46–58.
- Fiske A., Holmboe K.* Neural substrates of early executive function development. *Dev Rev.* 2019. 52: 42–62.
- Frank M.J., Loughry B., O'Reilly R.C.* Interactions between frontal cortex and basal ganglia in working memory: a computational model. *Cogn Affect Behav Neurosci.* 2001. 1 (2): 137–160.
- Friedman N.P., Miyake A., Corley R.P., Young S.E., Defries J.C., Hewitt J.K.* Not all executive functions are related to intelligence. *Psychol Sci.* 2006. 17 (2): 172–179.
- Friedman N.P., Miyake A.* Unity and diversity of executive functions: Individual differences as a window on cognitive structure. *Cortex.* 2017. 86: 186–204.
- Garon N., Bryson S.E., Smith I.M.* Executive function in preschoolers: a review using an integrative framework. *Psychol Bull.* 2008. 134 (1): 31–60.
- Gilbert S.J., Burgess P.W.* Executive function. *Curr Biol.* 2008. 18 (3): R110–R114.
- Goodwin S.J., Blackman R.K., Sakellaridi S., Chafee M.V.* Executive control over cognition: stronger and earlier rule-based modulation of spatial category signals in prefrontal cortex relative to parietal cortex. *J Neurosci.* 2012. 32 (10): 3499–3515.
- Herd S.A., Krueger K.A., Kriete T.E., Huang T.R., Hazy T.E., O'Reilly R.C.* Strategic cognitive sequencing: a computational cognitive neuroscience approach. *Comput Intell Neurosci.* 2013. 2013: 149329.
- Huttenlocher P.R.* Perspectives in cognitive neuroscience. Neural plasticity: The effects of environment on the development of the cerebral cortex. Harvard University Press, 2002. 286 p.
- Howard S.J., Melhuish E.* An early years toolbox for assessing early executive function, language, self-regulation, and social development: Validity, Reliability, and Preliminary Norms. *J Psychoeduc Assess.* 2017. 35 (3): 255–275.
- Hudson J.A., Shapiro L.R., Sosa B.B.* Planning in the real world: preschool children's scripts and plans for familiar events. *Child Dev.* 1995. 66 (4): 984–998.
- Jurado M.B., Rosselli M.* The elusive nature of executive functions: a review of our current understanding. *Neuropsychol Rev.* 2007. 17 (3): 213–233.
- Kaplan S., Berman M.G.* Directed attention as a common resource for executive functioning and self-regulation. *Perspect Psychol Sci.* 2010. 5 (1): 43–57.
- Koechlin E.* An evolutionary computational theory of prefrontal executive function in decision-making. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci.* 2014. 369 (1655): 20130474.
- Kopp B.* A simple hypothesis of executive function. *Front Hum Neurosci.* 2012. 6: 159.
- Lara A.H., Wallis J.D.* The Role of Prefrontal Cortex in Working Memory: A Mini Review. *Front Syst Neurosci.* 2015. 9: 173.
- Lashley K.S.* "The problem of serial order in behavior," in *Cerebral Mechanisms in Behavior: The Hixon Symposium*, ed L. A. Jeffress (Oxford: Wiley), 1951. pp 112–146.
- Lebel C., Walker L., Leemans A., Phillips L., Beaulieu C.* Microstructural maturation of the human brain from childhood to adulthood. *Neuroimage.* 2008. 40 (3): 1044–1055.
- Lenroot R.K., Giedd J.N.* Brain development in children and adolescents: insights from anatomical magnetic resonance imaging. *Neurosci Biobehav Rev.* 2006. 30 (6): 718–729.
- Lezak M.D.* Neuropsychological assessment (3rd ed.). New York: Oxford University Press, 1995. 1026 p.
- Marcovitch S., Clearfield M.W., Swingler M., Calkins S.D., Bell M.A.* Attentional predictors of 5-month-olds' performance on a looking A-not-B Task. *Infant Child Dev.* 2016. 25 (4): 233–246.
- McCabe D.P., Roediger H.L., McDaniel M.A., Balota D.A., Hambrick D.Z.* The relationship between working memory capacity and executive functioning: evidence for a common executive attention construct. *Neuropsychology.* 2010. 24 (2): 222–243.
- McClelland M.M., Cameron C.E., Duncan R., Bowles R.P., Acock A.C., Miao A., Pratt M.E.* Predictors of early growth in academic achievement: the head-toes-knees-shoulders task. *Front Psychol.* 2014. 5: 599.
- Miller E.K., Cohen J.D.* An integrative theory of prefrontal cortex function. *Annu Rev Neurosci.* 2001. 24: 167–202.
- Miller G.A., Galanter E., and Pribram K.A.* Plans and the Structure of Behavior. New York, NY: Holt, Rinehart and Winston, 1960. 226 p.
- Miller E.K., Wallis J.D.* Executive Function and Higher-Order Cognition: Definition and Neural Substrates. In: *Squire LR* (ed.) *Encyclopedia of Neuroscience*, 2009. volume 4, pp. 99–104. Oxford: Academic Press, 2009.

- Miyata H., Watanabe S., Minagawa Y.* Performance of young children on “traveling salesperson” navigation tasks presented on a touch screen. *PLoS One*. 2014. 9 (12): e115292.
- Miyake A., Friedman N.P., Emerson M.J., Witzki A.H., Howerter A., Wager T.D.* The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex “Frontal Lobe” tasks: a latent variable analysis. *Cogn Psychol*. 2000. 41 (1): 49–100.
- Miyake A., Friedman N.P.* The nature and organization of individual differences in executive functions: Four general conclusions. *Curr Dir Psychol Sci*. 2012. 21 (1): 8–14.
- Niendam T.A., Laird A.R., Ray K.L., Dean Y.M., Glahn D.C., Carter C.S.* Meta-analytic evidence for a superordinate cognitive control network subserving diverse executive functions. *Cogn Affect Behav Neurosci*. 2012. 12 (2): 241–268.
- Norman D.A., Shallice T.* Attention to action: Willed and automatic control of behavior. In *R.J. Davidson & G.E. Schwartz & D. Shapiro* (Eds.), *Consciousness and self regulation: Advances in research*, Vol. IV (Vol. IV). New York: Plenum Press, 1986.
- Oberauer K.* The focus of attention in working memory—from metaphors to mechanisms. *Front Hum Neurosci*. 2013. 7: 673.
- Oberauer K.* Working memory and attention - A conceptual analysis and review. *J Cogn*. 2019. 2 (1): 36.
- O’Reilly R.C., Herd S.A., Pauli W.M.* Computational models of cognitive control. *Curr Opin Neurobiol*. 2010. 20 (2): 257–261.
- Pezzulo G.* An Active Inference view of cognitive control. *Front Psychol*. 2012. 3: 478.
- Pezzulo G., Rigoli F., Friston K.J.* Hierarchical active inference: A theory of motivated control. *Trends Cogn Sci*. 2018. 22 (4): 294–306.
- Riccomagno M.M., Kolodkin A.L.* Sculpting neural circuits by axon and dendrite pruning. *Annu Rev Cell Dev Biol*. 2015. 31: 779–805.
- Rosati A.G.* The evolution of primate executive function: from response control to strategic decision-making. In: *Evolution of Nervous Systems*, Second Edition, Volume 3 (*J. Kaas & L. Krubitzer*, eds.). Amsterdam: Elsevier, 2017. pp. 423–437.
- Roy J.E., Buschman T.J., Miller E.K.* PFC neurons reflect categorical decisions about ambiguous stimuli. *J Cogn Neurosci*. 2014. 26 (6): 1283–1291.
- Royall D.R., Palmer R.F.* “Executive functions” cannot be distinguished from general intelligence: two variations on a single theme within a symphony of latent variance. *Front Behav Neurosci*. 2014. 8: 369.
- Rubia K.* Functional brain imaging across development. *Eur Child Adolesc Psychiatry*. 2013. 22 (12): 719–731.
- Smaers J.B., Gómez-Robles A., Parks A.N., Sherwood C.C.* Exceptional evolutionary expansion of prefrontal cortex in great apes and humans. *Curr Biol*. 2017. 27 (5): 714–720.
- Szczepanski S.M., Knight R.T.* Insights into human behavior from lesions to the prefrontal cortex. *Neuron*. 2014. 83 (5): 1002–1018.
- Stuss D.T.* Functions of the frontal lobes: relation to executive functions. *J Int Neuropsychol Soc*. 2011. 17 (5): 759–765.
- Stuss D.T., Alexander M.P.* Executive functions and the frontal lobes: a conceptual view. *Psychol Res*. 2000. 63 (3–4): 289–298.
- Tanji J., Hoshi E.* Role of the lateral prefrontal cortex in executive behavioral control. *Physiol Rev*. 2008. 88 (1): 37–57.
- Tiego J., Testa R., Bellgrove M.A., Pantelis C., Whittle S.* A Hierarchical Model of Inhibitory Control. *Front Psychol*. 2018. 9: 1339.
- Tsuchida A., Fellows L.K.* Are core component processes of executive function dissociable within the frontal lobes? Evidence from humans with focal prefrontal damage. *Cortex*. 2013. 49 (7): 1790–1800.
- Werchan D.M., Collins A.G., Frank M.J., Amso D.* Role of prefrontal cortex in learning and generalizing hierarchical rules in 8-month-old infants. *J Neurosci*. 2016. 36 (40): 10314–10322.
- Wood J.N., Grafman J.* Human prefrontal cortex: processing and representational perspectives. *Nat Rev Neurosci*. 2003. 4 (2): 139–147.
- Xu F., Han Y., Sabbagh M.A., Wang T., Ren X., Li C.* Developmental differences in the structure of executive function in middle childhood and adolescence. *PLoS One*. 2013. 8 (10): e77770.
- Zelazo P.D.* The Dimensional Change Card Sort (DCCS): a method of assessing executive function in children. *Nat Protoc*. 2006. 1 (1): 297–301.
- Zelazo P.D., Blair C.B., Willoughby M.T.* Executive function: Implications for education (NCER 2017–2000) Washington, DC: National Center for Education Research, Institute of Education Sciences, U.S. Department of Education. 2016. This report is available on the Institute website at <http://ies.ed.gov/>.

ASSESSMENT OF EXECUTIVE FUNCTIONS IN CHILDREN 3–6 YEARS OLD: CURRENT STATE, PROBLEMS AND FUTURE DIRECTIONS

A. V. Kurgansky^{a,b,#}

^a *Institute of developmental physiology, Moscow, Russia*

^b *Institute of social science, The Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, Moscow, Russia*

[#]*e-mail: akurg@yandex.ru*

In this paper, the development of executive functions (EF) in ascending ontogenesis is discussed in view of the most popular theoretical concepts of these functions as well as of their neurobiological foundations. The behavioral methods for assessing EF in preschoolers of 3–6 years old and the relationship of these methods with various theoretical approaches are considered. It is emphasized that among the existing methods for assessing EF, the methods for assessing the formation and retention of action goals and plans that realize these goals are underrepresented or altogether missing. Discussed are those behavioral tasks that can be used to assess goal-setting and planning using a combination of behavioral, neuroimaging and electrophysiological methods.

Keywords: executive functions, preschoolers, action goals, action plans