

Современные представления о системах внимания

Воронин Н.А.,

кандидат психологических наук, нейропсихолог, Европейский медицинский центр, Москва, Россия,
nvoronin@emctmos.ru

Трехкомпонентная модель нейросетей внимания человека, включающая модуль поддержания бдительности (alerting), ориентировки (orienting) и контроля внимания (executive attention), обобщает данные большого числа исследований функционирования процессов внимания человека в норме и в патологических состояниях. В статье описываются основные положения этой теории и рассматриваются экспериментальные свидетельства в ее пользу. Несмотря на широкое распространение этой модели в последние десятилетия, сравнительно невелико число работ, посвященных изучению развития операций внимания и их мозговых механизмов в детском возрасте. В статье предпринята попытка обобщить данные по проблеме развития нейросетей внимания. Результаты анализа показали, что развитие операций внимания в онтогенезе происходит в разные сроки, и эта гетерохрония отчасти определяет степень их пластичности по отношению к формирующим воздействиям. Рассмотрение экспериментов по направленной модификации процессов внимания, завершающее обзор, демонстрирует широкий спектр областей применения накопленных знаний и новых исследований в актуальных для современной науки направлениях.

Ключевые слова: когнитивная нейропсихология, развитие внимания, нейропластичность, тест нейросетей внимания, контроль внимания, ориентировка внимания, бдительность.

Для цитаты:

Воронин Н.А. Современные представления о системах внимания [Электронный ресурс] // Современная зарубежная психология. 2016. Т. 5. № 4. С. 67–76. doi: 10.17759/jmfp.2016050407

For citation:

Voronin N.A. Modern concepts of attention systems [Elektronnyi resurs]. *Journal of Modern Foreign Psychology*, 2016. Vol. 5, no. 4, pp. 67–76. doi: 10.17759/jmfp.2016050407 (In Russ., Abstr. in Engl.).

Введение

Большинство задач, с которыми человек сталкивается в повседневной жизни, оказываются невероятно сложными при попытке их моделирования с помощью вычислительных средств. Согласно существующим сегодня в науке представлениям, мозг преодолевает эту сложность путем разбиения их на множество подзадач, обрабатываемых распределенными, взаимодействующими между собой мозговыми системами — модули [21]. Такой модульный принцип организации приписывают, в частности, и системе внимания.

В прошлом десятилетии была сформулирована гипотеза о существовании трех независимых систем анатомически взаимосвязанных структур мозга, обеспечивающих реализацию основных функций внимания [21]. Были описаны три модуля, обеспечивающих достижение и поддержание состояния готовности/бдительности (alerting), ориентировку внимания к сенсорным стимулам (orienting) и контроль внимания (executive attention).

Ввиду отсутствия модальной специфичности система внимания оказывает влияние на работу практически всех мозговых механизмов. Так, в зрительной системе в зависимости от привлечения внимания субъекта к стимулу показаны различия в активации структур мозга, специализирующихся на восприятии движения, цвета, узнавании лиц, — вплоть до первичной

зрительной коры [21]. В то же время сами по себе процессы внимания обеспечиваются работой конкретных нейронных систем, внутри которых отдельные анатомические области отвечают за решение отдельных, узкоспециализированных задач.

Выделение анатомически и функционально разделенных систем внимания позволяет предполагать разные сроки достижения функциональной зрелости процессов внимания в онтогенезе и, следовательно, качественные различия в их протекании на разных этапах взросления. Однако количество опубликованных к настоящему времени экспериментальных исследований внимания в детском возрасте сильно ограничено, а обобщение результатов затрудняется различиями в методологии экспериментов. Базируясь на модели трех нейросетей внимания, в данной статье мы предприняли попытку описать современные представления о развитии процессов внимания в ходе нормального онтогенеза и при распространенных нарушениях развития. Важным прикладным направлением изучения процессов внимания нам представляется исследование эффектов направленной тренировки когнитивных функций в норме, а также в целях их реабилитации. Данные исследований тренировки внимания представлены в заключительной части обзора.

Система ориентировки внимания

В исследованиях зрительно-пространственных способностей человека процесс смены направления взгляда

да, способствующий эффективной обработке целевого зрительного стимула за счет его перемещения в центральную область зрения, обозначают как *открытую* (overt) ориентировку внимания. Рассматривают также процесс *скрытой* (covert) ориентировки – перемещение фокуса внимания, не сопровождаемое движениями глаз или головы [21]. В обоих случаях перемещение внимания к стимулу, даже до его появления, проявляется в более высоких скорости и точности ответов, снижении порога чувствительности, усилении электрической активности и кровотока в соответствующих локализации стимула областях мозга. Эти факты отчетливо продемонстрированы в исследованиях зрительно-пространственного внимания, где применялась экспериментальная парадигма «подсказки» (*cueing task*) [7; 21].

Согласно модели, предложенной для объяснения этих экспериментальных фактов, ориентировка внимания включает операции извлечения внимания из текущего пространственного локуса (disengagement), перемещения (shift) и вовлечения внимания в новый локус (engagement). Выполнение этой последовательности операций осуществляется структурами постериорной (posterior) системы внимания, которая включает заднюю париетальную кору, подушку (pulvinar – заднее ядро таламуса, тесно связанное с париетальной корой и экстрастриарной областью зрительной коры V4) и верхнее двухолмие [21]. С нарушением операции извлечения внимания связан яркий клинический феномен одностороннего игнорирования (*hemineglect*), наблюдаемый у пациентов с поражениями теменно-височной коры правого полушария. Результаты нейромиджинговых и электрофизиологических исследований показывают, что реализация операций извлечения внимания и перемещения его фокуса между пространственными локусами, помимо активации теменно-височных отделов правого полушария, сопровождается повышением активности в области дорсолатеральной префронтальной коры правого полушария [35].

Система поддержания бдительности

Термином «бдительность» (*vigilance*) обозначают способность к достижению и поддержанию состояния готовности к реагированию [8]. Исследования этого аспекта внимания включают оценку скорости достижения оптимального уровня активации мозговыми механизмами, предназначенными для обработки целевого стимула (фазическое повышение бдительности – *phasic alertness*). Изучают также устойчивость внимания при необходимости обнаружения относительно редких или относительно слабых целевых стимулов (*tonic alertness*).

Процессы достижения и поддержания бдительного состояния сопровождаются активацией таламических и фронто-париетальных областей преимущественно правого полушария, относящихся к норадренергической нейромедиаторной системе [21]. Так, у пациентов с правополушарными нарушениями часто наблюдаются трудности поддержания активного

состояния в течение продолжительного времени, а также трудности реагирования на целевые стимулы, предъявляемые неожиданно [18].

Система контроля внимания

Основной задачей процессов контроля внимания (*executive attention*) является детекция и разрешение конфликтов [7], возникающих при наличии двух и более конкурирующих между собой репрезентаций, на основе которых выстраивается целенаправленное поведение субъекта (например, в ситуации селекции стимула-мишени в окружении стимулов-дистракторов). В числе функций этого модуля обычно рассматривают селекцию мишени внимания (*selection*), контроль интерференции (*control of interference*), распределение внимания между несколькими стимулами (*divided attention*), мониторинг ошибок (*error monitoring*), переключение внимания между различными категориями признаков и свойств объектов (*set-shifting*; [11; 31]).

Вовлечение контролирующей системы внимания при выполнении заданий испытуемыми сопровождается активацией областей дорсолатеральной префронтальной коры (ПФК) и передней поясной извилины [6; 19]. Известно, что отделы дорсолатеральной ПФК активно задействованы при необходимости манипулировать информацией в рабочей памяти, оттормаживать нерелевантные задаче ответные реакции [25; 33]. Активация передней поясной извилины, в свою очередь, регистрируется у испытуемых при распределении внимания между различными потоками информации, селекции целевых стимулов, детекции ошибок в ходе выполнения деятельности [15; 25]. Ее участие показано в анализе лингвистических конструкций, обучении, воображении, моторном контроле [3; 25].

Развитие внимания в онтогенезе

Данные работ по проблеме формирования механизмов внимания в детском возрасте свидетельствуют о том, что для разных систем внимания характерны качественные изменения, происходящие на разных этапах развития ребенка. Для изучения возрастных различий в работе системы *кратковременного повышения бдительности* применяют экспериментальную парадигму «подсказки» (*cueing*; см. выше), в которой эффективность мобилизации процессов внимания оценивается по разности в скорости реагирования на целевые стимулы, которым предшествует предупреждающий сигнал, и без такового. В более ранних работах в возрастном диапазоне от 5 до 21 года не было обнаружено различий функционирования этого модуля внимания, связанных с возрастом [5; 26]. Тем не менее, в недавнем исследовании было показано, что с возрастом скоростные характеристики работы модуля кратковременного повышения бдительности меняются [22]. Целью эксперимента было выяснить, какой временной интервал между предъявлением предупреждающего сигнала и целевого стимула является достаточным для эффективного повышения бдительности

сти у детей 6–10 лет в задаче детекции целевого стимула. Предъявление предупреждающего сигнала в 100 мс не облегчало реагирование на целевой стимул у испытуемых, при интервале в 450 мс значимый эффект облегчения реагирования отмечался у детей 10 лет, при интервале в 800 мс – у всех детей старше 8 лет. Дети 6–7 лет демонстрировали лишь тенденцию к увеличению скорости реагирования при увеличении межстимульных интервалов. Предположительно, облегчение реагирования на стимулы за счет кратковременного повышения бдительности происходит у детей уже в возрасте 5 лет и старше, при этом по мере взросления сокращается время, необходимое для мобилизации ресурсов внимания в ожидании появления целевого стимула.

Для изучения развития процессов *ориентировки внимания* в парадигме подсказки целевой стимул и подсказка предъявляются латерализованно в одно из полуполей зрения (*экзогенная подсказка*); предъявление подсказки позволяет испытуемому заранее переместить фокус внимания в нужную область зрительного поля (скрытая ориентировка внимания). Также для исследования процессов ориентировки внимания используют различные задачи зрительного поиска (открытая ориентировка внимания). Считается, что операция перемещения внимания вслед за предъявлением экзогенной подсказки выполняется детьми и взрослыми одинаково эффективно, тогда как процесс произвольного перемещения внимания (при использовании *эндогенной* подсказки, предъявляемой в центральном поле зрения и указывающей будущее местоположение целевого стимула в символической форме), а также операция извлечения внимания из текущего пространственного локуса, в детском возрасте оказываются незрелыми [23; 26].

Эффект подсказок, облегчающих обнаружение целевого стимула на периферии поля зрения, обнаруживается уже у младенцев в возрасте 4–6 месяцев [26]. В этом же возрасте наблюдается и другой яркий феномен, связанный с работой системы ориентировки внимания. В то время как предъявление взрослым испытуемым экзогенной подсказки в интервале 100–200 мс перед целевым стимулом способствует более быстрому его обнаружению, увеличение межстимульного интервала до 300–1300 мс парадоксальным образом замедляет обнаружение целевого стимула (по сравнению с нейтральным условием предъявления целевого стимула без подсказки). Это явление, получившее название «торможение возврата» (*inhibition of return*; [37]), состоит в том, что перемещение фокуса внимания в только что обследованную область зрительного пространства оказывается затруднено по сравнению с другими областями. Очевидна эволюционная значимость функционирования такого механизма. Торможение возврата при межстимульных интервалах не менее 500 мс регистрировали в нескольких экспериментах у младенцев в период между тремя и шестью месяцами жизни [14]. В дальнейшем интенсивно развиваются механизмы контроля движений глаз, возрастает острота перифе-

рического зрения, наряду с этим – способность к произвольному перемещению внимания по зрительному полю [17].

Сравнение детей 6, 10, 14 лет и взрослых испытуемых показало, что единственным показателем, по которому дети младшей возрастной группы отличаются от испытуемых старшего возраста, является скорость выполнения операции извлечения внимания [36]. У детей по мере взросления снижалась «цена» (cost) неверной ориентировки внимания в ситуации ложной подсказки (т. е. старшие дети легче извлекали внимание из неверно подсказанной области пространства), а также увеличивалось с возрастом «преимущество» (benefit) ориентировки вслед за истинной подсказкой, что отражает становление способности к «распределению ресурсов внимания» (allocation of attentional resources). Аналогично взрослым испытуемым, дети старших возрастных групп в меньшей степени склонны осуществлять скрытый перевод внимания вслед за подсказкой, в случае если надежность подсказки невысока (например, когда в 20% проб подсказка оказывается ложной). При варьировании надежности подсказки и временного интервала между подсказкой и целевым стимулом было обнаружено, что способность «стратегически» использовать информативность подсказки в зависимости от ее надежности дети демонстрируют уже в 6 лет, однако лишь при наличии достаточного времени – при межстимульных интервалах, больших 120 мс [36].

Проявления незрелости операции извлечения внимания у детей младше 6 лет обнаруживаются при выполнении задачи зрительного поиска, в особенности поиска целевых стимулов по сочетанию нескольких признаков в ряду дистракторов, содержащих некоторые из этих признаков (conjunction search), который продолжает развиваться на протяжении всего периода школьного обучения [38]). Высказывают предположения, что известный феномен Пиаже – неспособность к децентрации у детей – также отражает слабость операции извлечения внимания [38].

Развитие *контроля внимания* в ходе онтогенеза человека занимает наиболее длительный промежуток времени и продолжается, по некоторым данным, вплоть до зрелого возраста [12]. Первые проявления способности произвольно выстраивать свое поведение в соответствии с внутренними репрезентациями цели наблюдаются у детей к концу первого года жизни [27]: исследования показывают, что в конце первого года жизни происходит активное созревание дорсолатеральных отделов префронтальной коры и их связей с другими областями головного мозга, в результате чего дети приобретают возможность удерживать в рабочей памяти информацию, необходимую для организации деятельности в новой ситуации, и оттормаживать конфликтующую с ней подкрепленную в прошлом опыте репрезентацию цели [4].

По мнению ряда авторов, в возрасте 2 лет начинается становление полноценных функций контроля внима-

ния: дети приобретают способность к разрешению простых конфликтных ситуаций, например, между категорией объекта и его пространственным положением (Пространственный конфликтный тест – Spatial Conflict task). На экране компьютера справа или слева от центральной точки фиксации предъявляют одно из двух целевых изображений. Дети отвечают нажатием одной из двух кнопок (правой или левой), соответствующей данному целевому стимулу. Необходимая кнопка может быть с той же стороны, что и целевое изображение (конгруэнтная ситуация), либо с противоположной (конфликтная ситуация). Конфликтная ситуация создает необходимость отторгивания доминирующей ответной реакции – нажимать кнопку с той стороны, где предъявлен стимул (так называемый «эффект Саймона» – Simon effect). Результаты исследования показали, что в период третьего года жизни ребенка в системе контроля внимания происходят существенные преобразования. Дети в возрасте 24 месяцев еще практически не способны правильно реагировать в конфликтных пробах: доминирующей ответной тенденцией в этих случаях является повторение ответа, данного в предшествующей пробе. Точность ответов значительно возрастает к 36 месяцам, так что в итоге дети выполняют задание аналогично взрослым, демонстрируя характерное увеличение времени реакции в конфликтных пробах по сравнению с конгруэнтными.

Еще один интересный факт отмечен при анализе проб, в которых дети допускали ошибки [27]. У детей в возрасте 30 месяцев ответы в пробах, следующих за неправильно выполненной пробой, были в среднем на 200 мс медленнее, чем в других. Такое снижение скорости реагирования после неверного ответа было выражено в еще большей степени у детей в возрасте 36 месяцев (время реакции увеличивалось в среднем на 500 мс). Как указывают авторы исследования, эти данные свидетельствуют о формировании на третьем году жизни еще одной функции модуля контроля внимания – детекции ошибок (error detection). В специальных исследованиях было показано, что обнаружение ошибок при выполнении заданий сопровождается активацией области передней поясной извилины – как у взрослых, так и у детей – и приводит к снижению скорости реагирования в последующей пробе. Подобное замедление реагирования после неверного ответа в тесте полностью отсутствовало у детей в возрасте 24 месяцев [24].

Более сложная конфликтная ситуация возникает в задании, где необходимо выполнять действия в соответствии с инструкцией из одного источника и не действовать по инструкции из другого источника («Саймон говорит» – «Simon says» [1]). В эксперименте ребенку необходимо совершать действия, когда об этом его просит один из персонажей, но не выполнять просьбы другого персонажа. По данным ряда исследований, дети начинают справляться с такой задачей в возрасте 4 лет [4]. В игре «Саймон говорит» дети 36–38 месяцев не могли, когда это было необходимо, отторгнуть ответ-

ное действие, а также не демонстрировали снижения скорости реагирования в пробах, следующих за неверными ответами. Однако уже в 39–41 месяцев у детей проявлялась способность противостоять стремлению действовать по нерелевантной инструкции, а также возникло характерное замедление ответов после неверно выполненных проб. На основании этих результатов авторы исследования заключают, что между 30 и 39 месяцами жизни происходит значительное увеличение возможностей ребенка обнаруживать, а также исправлять неверные ответы, что косвенным образом свидетельствует о развитии функции тормозного контроля [12]. С применением метода регистрации вызванных потенциалов (ВП) показаны специфические изменения ВП при обнаружении ошибки детьми уже в 6–9 месяцев [2], в связи с чем предполагается, что способность к детекции ошибок, связанная с работой нейронных ансамблей передней поясной извилины, развивается в онтогенезе раньше способности к моторному контролю, необходимой для исправления ошибок.

Для изучения функционирования модулей внимания был разработан компьютерный Тест нейросетей внимания (Attention Network Test – ANT [7; 26]). В этой методике объединены «парадигма подсказки», позволяющая оценивать работу модулей поддержания бдительности и ориентировки внимания, и тест флангов, предназначенный для оценки контроля внимания. Испытуемый реагирует нажатием одной из двух клавиш на предъявление целевого стимула – стрелки вправо или влево – соответственно ее направлению. Справа и слева от целевого стимула предъявляются по две таких же стрелки, которые служат стимулами-дистракторами и могут указывать то же направление, что и целевой стимул, либо противоположное (соответственно конгруэнтный или конфликтный стимулы). Стимулы предъявляются в пробах на равных расстояниях снизу или сверху от точки фиксации, через 450 мс после предъявления одного из вариантов подсказки. Подсказкой служит звездочка, появляющаяся на 150 мс в центре экрана (центральная подсказка), две звездочки одновременно сверху и снизу от точки фиксации (двойная подсказка), одна звездочка сверху или снизу от точки фиксации в том месте, где в дальнейшем появится целевой стимул (истинная пространственная подсказка). В случае нулевой подсказки испытуемый реагирует на целевой стимул без предупреждающего сигнала, т. е. подсказка перед стимулом не предъявляется. По замыслу авторов теста, для оценки эффективности работы модуля поддержания бдительности/готовности время реакции (или процент правильных ответов) на целевые стимулы, предъявленные после нулевой подсказки, следует сравнить с аналогичным показателем в случае двойной подсказки (т. е. оценить, насколько предъявление предупреждающего сигнала облегчает реагирование на целевой стимул). Оценка функционирования модуля ориентировки внимания проводится путем такого же сравнения показателей реагирования в ситуациях центральной и пространственной подсказки.

Эффективность модуля контроля внимания оценивается путем сравнения конгруэнтного и конфликтного типов стимулов: изучают, насколько стимулы-дистракторы, указывающие противоположное направление, затрудняют ответ испытуемого на целевой стимул по сравнению с тем, когда стимулы дистракторы направлены в ту же сторону.

Результаты исследования развития контроля внимания в детском возрасте с применением компьютерного Теста нейросетей внимания (Attention Network Test – ANT) свидетельствуют о значительном улучшении способности к разрешению конфликта в период с 4 до 7 лет [26]. Интересно, что после 7 лет исследователи не обнаружили какого-либо повышения эффективности операции разрешения конфликта: различия в скорости реагирования на конгруэнтные и конфликтные стимулы были одинаковыми в группе детей 7 лет и в группе взрослых испытуемых. Данные, свидетельствующие о большей подверженности детей младшего возраста влиянию нерелевантных задач стимулов, получены в экспериментах с использованием вариантов теста флангов, теста «go/no-go», заданий со стоп-сигналом, теста Струпа и негативный прайминг [12; 24; 27]. Как отмечают исследователи, возрастные различия в эффективности операции разрешения конфликта могут проявляться по-разному в зависимости от сложности используемого задания вплоть до начала периода зрелости [27].

Направленная тренировка процессов внимания

Разработка комплексов упражнений для тренировки когнитивных функций, в первую очередь в виде компьютерных приложений, приобрела в последние десятилетия большую популярность. Значительная часть таких упражнений в той или иной степени направлена на развитие процессов внимания. Исследования эффективности таких тренировочных комплексов наиболее интенсивно ведутся в реабилитационном направлении, где они применяются для преодоления дефицитов внимания, как проявлений врожденных нарушений развития, так и приобретенных вследствие травм или заболеваний нервной системы. Эффективность реабилитационного курса по программе АРТ (Attention Process Training) оценивалась у пациентов, перенесших черепно-мозговые травмы [29]. Были обнаружены улучшения тестовых показателей поддержания бдительности, а также увеличение скорости чтения и устного счета. При этом ни общий коэффициент интеллекта, ни зрительно-перцептивные способности испытуемых не демонстрировали улучшений, что авторы исследования расценивают как свидетельство в пользу специфичности тренировочной программы для процессов внимания. В других работах сходные результаты получены на пациентах начиная с младшего школьного возраста: отмечались улучшения возможностей поддержания бдительного состояния, отторжения интерференции со стороны стимулов-дистракторов, зрительно-пространственного вни-

мания, рабочей памяти и планировании, но не в показателях простого времени реакции или интеллектуальных способностей [20; 32].

Для коррекции нарушений речевого и когнитивного развития у детей в последнее десятилетие широкое распространение за рубежом получила компьютерная программа FastForWord (FFW). В ее основу положены представления о том, что причина речевых трудностей состоит в слабости базовых перцептивных процессов, в частности, дефиците обработки коротких речевых звуков или сочетаний звуков, разделенных короткими интервалами [30]. Программа включает семь игровых заданий, нацеленных на тренировку различных аспектов восприятия речи за счет предъявления акустически искаженных речевых стимулов. Ряд авторов предположили, что занятия по программе FFW, помимо тренировки речевых функций, также оказывают положительное влияние на процессы селективного внимания [10; 30]. У детей 6–8 лет в норме и с речевыми нарушениями, проходивших трехнедельный курс занятий по программе FFW, изучали характеристики аудиального селективного внимания по компонентам N1 связанных с событием вызванных потенциалов (ССВП) на речевые и неречевые стимулы-пробы. ССВП регистрировали в условиях дихотического прослушивания детьми аудиозаписей релевантной и нерелевантной историй. Выяснилось, что в результате тренировочного курса FFW как у детей с речевыми нарушениями, так и у их здоровых сверстников (в отличие от детей того же возраста контрольной группы, не выполнявших тренировочных заданий) между вызванными ответами на стимулы-пробы, предъявляемые в потоке релевантной и нерелевантной историй, возникают значимые различия, которые отсутствовали при первом тестировании. По данным авторов, это свидетельствует о более эффективном функционировании механизмов селективного внимания (сходные данные получены на детях с использованием фМРТ [34]).

Возможности коррекции нарушений внимания активно исследовались у детей с синдромом дефицита внимания и гиперактивности (СДВГ). Изучали возможность тренировки внимания у шести детей 8–13 лет с СДВГ с использованием программы АРТ [16]. Результаты эксперимента показали значительные улучшения как в выполнении тренировочных заданий, так и в независимых тестовых заданиях на длительную концентрацию внимания и зрительный поиск, а также менее значительные улучшения в сфере школьных навыков. Авторы другого исследования также применяли программу АРТ в сочетании с психологическим тренингом в работе с детьми с СДВГ младшего школьного возраста. По окончании 18-недельного курса дети с СДВГ экспериментальной группы превосходили своих сверстников с СДВГ, не проходивших тренировку, по выполнению заданий на зрительный поиск целевых стимулов среди дистракторов, а также задач на детекцию слухового целевого стимула на фоне шума (слуховое селективное внимание). Более того, отличия

по этим показателям детей с СДВГ от здоровых детей контрольной группы, наблюдавшиеся до начала тренировочного курса, при повторном тестировании отсутствовали, тогда как у детей с СДВГ, не проходивших тренировку, эти отличия сохранялись на прежнем уровне. По данным проведенного опроса школьных учителей этих детей, прохождение тренировочного курса делало детей более внимательными на уроках и помогало легче справляться с учебными заданиями. Стоит отметить, что улучшения по показателям поддержания бдительности и контроля внимания (по выполнению теста Струпа), зрительно-пространственной и слуховой рабочей памяти были показаны также в группе детей 9–12 лет с СДВГ в эксперименте с использованием компьютерной программы тренировки невербальной рабочей памяти [13].

Группой исследователей была разработана версия программы тренировки внимания, включавшая блоки заданий для тренировки концентрации внимания, процессов селекции, пространственной ориентировки, разрешения конфликта и распределения внимания, в которой степень сложности задания назначалась с учетом успешности выполнения испытуемым предшествующих заданий в данном блоке (Progressive Attentional Training System [28]). В исследовании авторов программы участвовали дети с СДВГ 6–13 лет, половина из которых (контрольная группа из 17 детей) вместо тренировочной программы в эквивалентные интервалы времени играла в компьютерные игры. Участники экспериментальной группы продемонстрировали существенные улучшения по ряду учебных навыков, а также значимое снижение оценок по шкалам невнимательности (на 23%) и гиперактивности (на 19%) опросника для родителей, тогда как по оценкам независимых экспертов в контрольной группе детей с СДВГ подобного снижения не происходило.

М. Руэда и соавт. в трехгодичном исследовательском проекте изучали возможности направленной тренировки процессов внимания у типично развивающихся детей дошкольного возраста [27]. Компьютерная тренировочная программа была адаптированной для детей версией программы, разработанной для тренировки функций внимания у обезьян-приматов при подготовке к космическим полетам. В исследовании приняли участие 48 детей в возрасте 4–5 лет, которые 5 дней подряд выполняли задания ежедневно по 40 минут. Эффект тренировки оценивали с помощью детской версии теста ANT [7], теста прогрессивных матриц Равена и теста интеллекта, которые испытуемые выполняли непосредственно до и после прохождения тренировочных занятий, а также по показателям ССВП, измеренных до и после курса занятий. Результаты повторного тестирования свидетельствовали о выраженных улучшениях в функционировании модуля контроля внимания в экспериментальной группе детей (по результатам

ANT и характеру ССВП), а также о более выраженных в этой группе улучшениях показателей выполнения теста Равена и заданий в тесте интеллекта. Сравнивая поученные данными с результатами предшествующих исследований с участием детей более широкого возрастного диапазона [26], авторы отмечают, что улучшения в выполнении теста ANT вследствие пятидневной направленной тренировки сходны с таковыми, происходящими у детей спонтанно по мере взросления (в период между 4 и 7 годами). Таким образом, тренировка недостаточно зрелого в дошкольном возрасте модуля контроля внимания способствовала формированию его более «зрелого» характера функционирования, а кроме того заметно повлияла на когнитивные способности детей, оцениваемые с помощью двух тестов интеллекта.

Тамм и соавторы, обобщая данные исследований в этой области за последние два десятилетия, приходят к выводу, что развитию процессов внимания у детей дошкольного и младшего школьного возраста в наибольшей степени способствует тренировка зрительных функций, в том числе блока контроля внимания, а также способности к поддержанию бдительного состояния [32].

Заключение

В современной науке внимание рассматривают как сложную многоуровневую систему, включающую модуль поддержания состояния готовности/бдительности (alerting), ориентировки (orienting) и контроля внимания (executive attention). Развитие модулей и операций, включенных в структуру внимания, происходит в онтогенезе гетерохронно. Онтогенез операций внимания в последние годы становится все более актуальной проблемой, важной для понимания закономерностей когнитивного развития ребенка. Представленные на сегодняшний день в литературе результаты исследований развития внимания свидетельствуют преимущественно о совершенствовании с возрастом механизма контроля внимания. Представлены данные о значительных возможностях тренировки функций модуля контроля внимания в детском возрасте. По-прежнему актуальна проблема поиска эффективных средств диагностики работы мозговых систем внимания. В связи с высокой пластичностью мозга в детском возрасте, а также высокой нагрузкой, которую оказывает на эти системы школьное обучение, важным представляется понимание как перспектив, которые открывают продемонстрированные в исследованиях значительные возможности перестройки процессов внимания под воздействием структурированного опыта, так и потенциальных ограничений, которые могут возникать в связи с негативным влиянием стремительно развивающихся нейрокомпьютерных технологий на развивающийся мозг.

ЛИТЕРАТУРА

1. Berger A., Kofman O., Livneh U. Multidisciplinary perspectives on attention and the development of self-regulation // *Progress in Neurobiology*. 2007. Vol. 82. № 5. P. 256–86. doi: 10.1016/j.pneurobio.2007.06.004
2. Berger A., Tzur G., Posner M.I. Infant brains detect arithmetic errors // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*. 2006. Vol. 103. № 33. P. 12649–12653. doi: 10.1073/pnas.0605350103
3. Brown J.W. Beyond conflict monitoring: Cognitive control and the neural basis of thinking before you act // *Current Directions in Psychological Science*. 2013. Vol. 22. № 3. P. 179–185. doi: 10.1177/0963721412470685
4. Cuevas K., Bell M.A. Infant attention and early childhood executive function // *Child Development*. 2014. Vol. 85. № 2. P. 397–404. doi: 10.1111/cdev.12126
5. Drechsler R., Brandeis D., Foldenyi M. The course of neuropsychological functions in children with attention deficit hyperactivity disorder from late childhood to early adolescence // *Journal of Child Psychology and Psychiatry*. 2005. Vol. 46. № 8. P. 824–836. doi: 10.1111/j.1469-7610.2004.00384.x
6. Fan J., Flombaum J.I., McCandliss B.D. Cognitive and brain consequences of conflict // *Neuroimage*. 2003. Vol. 18. № 1. P. 42–57. doi: 10.1006/nimg.2002.1319
7. Fan J., McCandliss B.D., Sommer T. Testing the efficiency and independence of attentional networks // *Journal of Cognitive Neuroscience*. 2002. Vol. 14. № 3. P. 340–347. doi: 10.1162/089892902317361886
8. Fernandez-Duque D., Posner M.I. Brain imaging of attentional networks in normal and pathological states // *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*. 2001. Vol. 23. № 1. P. 74–93. doi: 10.1076/jcen.23.1.74.1217
9. Gerardi-Caulton G. Sensitivity to spatial conflict and the development of self – regulation in children 24–36 months of age // *Developmental Science*. 2000. Vol. 3. № 4. P. 397–404.
10. Gillam R.B., Loeb D.F., Hoffman L.M. The efficacy of Fast ForWord Language intervention in school-age children with language impairment: a randomized controlled trial // *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*. 2008. Vol. 51. P. 97–119. doi: 10.1044/1092-4388(2008/007)
11. Johnson K.A., Robertson I.H., Barry E. Impaired conflict resolution and alerting in children with ADHD: evidence from the Attention Network Task (ANT) // *Journal of Child Psychology and Psychiatry*. 2008. Vol. 49. № 12. P. 1339–1347. doi: 10.1111/j.1469-7610.2008.01936.x
12. Jones L.B., Rothbart M.K., Posner M.I. Development of executive attention in preschool children // *Developmental Science*. 2003. Vol. 6. № 5. P. 498–504. doi: 10.1111/1467-7687.00307
13. Klingberg T. Training and plasticity of working memory // *Trends in cognitive sciences*. 2010. Vol. 14. № 7. P. 317–324.
14. Lupiáñez J., Klein R.M., Bartolomeo P. Inhibition of return: Twenty years after // *Cognitive neuropsychology*. 2006. Vol. 23. № 7. P. 1003–1014. doi: 10.1080/02643290600588095
15. Lutcke H., Frahm J. Lateralized anterior cingulate function during error processing and conflict monitoring as revealed by high-resolution fMRI // *Cereb Cortex*. 2008. Vol. 18. № 3. P. 508–515. doi: 10.1093/cercor/bhm090
16. McBurnett K., Pfiffner L. Attention deficit hyperactivity disorder: Concepts, controversies, new directions. 2007: CRC Press. 426 p.
17. Mercuri E., Baranello G., Romeo D.M. The development of vision // *Early Hum Dev*. 2007. Vol. 83. № 12. P. 795–800. doi: 10.1016/j.earlhumdev.2007.09.014
18. Nobre A.C., Gitelman D.R., Dias E.C. Covert visual spatial orienting and saccades: overlapping neural systems // *Neuroimage*. 2000. Vol. 11. № 3. P. 210–216. doi: 10.1006/nimg.2000.0539
19. Parris B.A., Thai N.J., Benattayallah A. The role of the lateral prefrontal cortex and anterior cingulate in stimulus-response association reversals // *Journal of Cognitive Neuroscience*. 2007. Vol. 19. № 1. P. 13–24. doi: 10.1162/jocn.2007.19.1.13
20. Penkman L. Remediation of attention deficits in children: a focus on childhood cancer, traumatic brain injury and attention deficit disorder // *Pediatric Rehabilitation*. 2004. Vol. 7. № 2. P. 111–123. doi: 10.1080/13638490310001649417
21. Posner M.I., Rothbart M.K. Research on attention networks as a model for the integration of psychological science // *Annual Review of Psychology*. 2007. Vol. 58. P. 1–23. doi: 10.1146/annurev.psych.58.110405.085516
22. Querne L., Vernier-Hauvette M.-P., Berquin P. Development of phasic attention in children: Temporal analysis of alert during a detection task [Электронный ресурс] // *Current psychology letters. Behaviour, brain & cognition*. 2009. Vol. 25. № 1. P. 1–18. URL: <http://cpl.revues.org/4800> (дата обращения: 18.01.2017).
23. Ristic J., Kingstone A. Rethinking attentional development: reflexive and volitional orienting in children and adults // *Developmental Science*. 2009. Vol. 12. № 2. P. 289–296. doi: 10.1111/j.1467-7687.2008.00756.x
24. Rothbart M.K., Ellis L.K., Rueda M.R. Developing mechanisms of temperamental effortful control // *Journal of Personality*. 2003. Vol. 71. № 6. P. 1113–1143. doi: 10.1111/1467-6494.7106009
25. Rubia K., Smith A.B., Brammer M.J. Right inferior prefrontal cortex mediates response inhibition while mesial prefrontal cortex is responsible for error detection // *Neuroimage*. 2003. Vol. 20. № 1. P. 351–358. doi: 10.1016/S1053-8119(03)00275-1
26. Rueda M.R., Fan J., McCandliss B.D. Development of attentional networks in childhood // *Neuropsychologia*. 2004. Vol. 42. № 8. P. 1029–1040. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2003.12.012

27. Rueda M.R., Rothbart M.K., McCandliss B.D. Training, maturation, and genetic influences on the development of executive attention // Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA. 2005. Vol. 102. № 41. P. 14931–14936. doi: 10.1073/pnas.0506897102
28. Shalev L., Tsai Y., Mevorach C. Computerized progressive attentional training (CPAT) program: effective direct intervention for children with ADHD // Child neuropsychology. 2007. Vol. 13. № 4. P. 382–388. doi: 10.1080/09297040600770787
29. Sohlberg M.M., McLaughlin K.A., Pavese A. Evaluation of attention process training and brain injury education in persons with acquired brain injury // Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology. 2000. Vol. 22. № 5. P. 656–676. doi: 10.1076/1380-3395(200010)22:5;1-9;FT656
30. Strong G.K., Torgerson C.J., Torgerson D. A systematic meta-analytic review of evidence for the effectiveness of the ‘Fast ForWord’ language intervention program // Journal of Child Psychology and Psychiatry. 2011. Vol. 52. № 3. P. 224–235. doi: 10.1111/j.1469-7610.2010.02329.x
31. Sylvester C.Y., Wager T.D., Lacey S.C. Switching attention and resolving interference: fMRI measures of executive functions // Neuropsychologia. 2003. Vol. 41. № 3. P. 357–370. doi: 10.1016/S0028-3932(02)00167-7
32. Tamm L., Epstein J.N., Peugh J.L. Preliminary data suggesting the efficacy of attention training for school-aged children with ADHD // Developmental Cognitive Neuroscience. 2013. Vol. 4. P. 16–28. doi: 10.1016/j.dcn.2012.11.004
33. Tanji J., Hoshi E. Role of the lateral prefrontal cortex in executive behavioral control // Physiological Reviews. 2008. Vol. 88. № 1. P. 37–57. doi: 10.1152/physrev.00014.2007
34. Temple E., Deutsch G.K., Poldrack R.A. Neural deficits in children with dyslexia ameliorated by behavioral remediation: evidence from functional MRI // Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA. 2003. Vol. 100. № 5. P. 2860–2865. doi: 10.1073/pnas.0030098100
35. Turatto M., Sandrini M., Miniussi C. The role of the right dorsolateral prefrontal cortex in visual change awareness // Neuroreport. 2004. Vol. 15. № 16. P. 2549–2552.
36. Wainwright A., Bryson S.E. The development of exogenous orienting: mechanisms of control // Journal of Experimental Child Psychology. 2002. Vol. 82. № 2. P. 141–155. doi: 10.1016/S0022-0965(02)00002-4
37. Wang Z., Klein R.M. Searching for inhibition of return in visual search: a review // Vision Research. 2010. Vol. 50. № 2. P. 220–228. doi: 10.1016/j.visres.2009.11.013
38. Woods A.J., Goksun T., Chatterjee A. The development of organized visual search // Acta Psychologica. 2013. Vol. 143. № 2. P. 191–199. doi: 10.1016/j.actpsy.2013.03.008

Modern concepts of attention systems

Voronin N.A.,
PhD (Psychology), neuropsychologist, European Medical Center, Moscow, Russia,
nvoronin@emcmos.ru

A three-component model of neural networks of human attention, including modules of maintaining vigilance (alerting), orientation (orienting) and executive control (executive attention), summarizes the data of a large number of studies concerning the function of human attention in norm and in pathological conditions. This article describes the main provisions of this theory and discusses the experimental evidence in its favor. Despite the widespread dissemination of this model in the past decade, relatively small number of works devoted to the study of the development of attention operations and their brain mechanisms in childhood. The article attempts to summarize the data on the development of neural networks of attention. The results showed that the development of attention operations in ontogenesis occurs in different terms, and this heterochrony partially determines the degree of their plasticity in relation to the shaping influences. Consideration of experiments aimed at modification of attention processes, finalizing the review, shows a wide range of areas for application of knowledge and new research in relevant to modern science directions.

Keywords: cognitive neuropsychology, development of attention, neuroplasticity, test of neural networks of attention, executive control of attention, orientation of attention, alerting.

REFERENCES

1. Berger A., Kofman O., Livneh U. Multidisciplinary perspectives on attention and the development of self-regulation. *Progress in Neurobiology*, 2007. Vol. 82, no. 5, pp. 256–286. doi: 10.1016/j.pneurobio.2007.06.004
2. Berger A., Tzur G., Posner M.I. Infant brains detect arithmetic errors. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 2006. Vol. 103, no. 33, pp. 12649–12653. doi: 10.1073/pnas.0605350103
3. Brown J.W. Beyond conflict monitoring: Cognitive control and the neural basis of thinking before you act. *Current Directions in Psychological Science*, 2013. Vol. 22, no. 3, pp. 179–185. doi: 10.1177/0963721412470685
4. Cuevas K., Bell M.A. Infant attention and early childhood executive function. *Child Development*, 2014. Vol. 85, no. 2, pp. 397–404. doi: 10.1111/cdev.12126
5. Drechsler R., Brandeis D., Foldenyi M. The course of neuropsychological functions in children with attention deficit hyperactivity disorder from late childhood to early adolescence. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 2005. Vol. 46, no. 8, pp. 824–836. doi: 10.1111/j.1469-7610.2004.00384.x
6. Fan J., Flombaum J.I., McCandliss B.D. Cognitive and brain consequences of conflict. *Neuroimage*, 2003. Vol. 18, no. 1, pp. 42–57. doi: 10.1006/nimg.2002.1319
7. Fan J., McCandliss B.D., Sommer T. Testing the efficiency and independence of attentional networks. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 2002. Vol. 14, no. 3, pp. 340–347. doi: 10.1162/089892902317361886
8. Fernandez-Duque D., Posner M.I. Brain imaging of attentional networks in normal and pathological. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 2001. Vol. 23, no. 1, pp. 74–93. doi: 10.1076/jcen.23.1.74.1217
9. Gerardi-Caulton G. Sensitivity to spatial conflict and the development of self – regulation in children 24–36 months of age. *Developmental Science*, 2000. Vol. 3, no. 4, pp. 397–404.
10. Gillam R.B., Loeb D.F., Hoffman L.M. The efficacy of Fast ForWord Language intervention in school-age children with language impairment: a randomized controlled trial. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 2008. Vol. 51, pp. 97–119. doi: 10.1044/1092-4388(2008/007)
11. Johnson K.A., Robertson I.H., Barry E. Impaired conflict resolution and alerting in children with ADHD: evidence from the Attention Network Task (ANT). *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 2008. Vol. 49, no. 12, pp. 1339–1347. doi: 10.1111/j.1469-7610.2008.01936.x
12. Jones L.B., Rothbart M.K., Posner M.I. Development of executive attention in preschool children. *Developmental Science*, 2003. Vol. 6, no. 5, pp. 498–504. doi: 10.1111/1467-7687.00307
13. Klingberg T. Training and plasticity of working memory. *Trends in cognitive sciences*, 2010. Vol. 14, no. 7, pp. 317–324.
14. Lupiáñez J., Klein R.M., Bartolomeo P. Inhibition of return: Twenty years after. *Cognitive neuropsychology*, 2006. Vol. 23, no. 7, pp. 1003–1014. doi: 10.1080/02643290600588095
15. Lutcke H., Frahm J. Lateralized anterior cingulate function during error processing and conflict monitoring as revealed by high-resolution fMRI. *Cereb Cortex*, 2008. Vol. 18, no. 3, pp. 508–515. doi: 10.1093/cercor/bhm090
16. McBurnett K., Pfiffner L. Attention deficit hyperactivity disorder: Concepts, controversies, new directions. 2007: CRC Press. 426 p.
17. Mercuri E., Baranello G., Romeo D.M. The development of vision. *Early Hum Dev*, 2007. Vol. 83, no. 12, pp. 795–800. doi: 10.1016/j.earlhumdev.2007.09.014

18. Nobre A.C., Gitelman D.R., Dias E.C. Covert visual spatial orienting and saccades: overlapping neural systems. *Neuroimage*, 2000. Vol. 11, no. 3, pp. 210–216. doi: 10.1006/nimg.2000.0539
19. Parris B.A., Thai N.J., Benattayallah A. The role of the lateral prefrontal cortex and anterior cingulate in stimulus-response association reversals. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 2007. Vol. 19, no. 1, pp. 13–24. doi: 10.1162/jocn.2007.19.1.13
20. Penkman L. Remediation of attention deficits in children: a focus on childhood cancer, traumatic brain injury and attention deficit disorder. *Pediatric Rehabilitation*, 2004. Vol. 7, no. 2, pp. 111–123. doi: 10.1080/13638490310001649417
21. Posner M.I., Rothbart M.K. Research on attention networks as a model for the integration of psychological science. *Annual Review of Psychology*, 2007. Vol. 58, pp. 1–23. doi: 10.1146/annurev.psych.58.110405.085516
22. Querne L., Vernier-Hauvette M.-P., Berquin P. Development of phasic attention in children: Temporal analysis of alert during a detection task [Elektronnyi resurs]. *Current psychology letters. Behaviour, brain & cognition*, 2009. Vol. 25, no. 1, pp. 1–18. URL: <http://cpl.revues.org/4800> (Accessed 18.01.2017).
23. Ristic J., Kingstone A. Rethinking attentional development: reflexive and volitional orienting in children and adults. *Developmental Science*, 2009. Vol. 12, no. 2, pp. 289–296. doi: 10.1111/j.1467-7687.2008.00756.x
24. Rothbart M.K., Ellis L.K., Rueda M.R. Developing mechanisms of temperamental effortful control. *Journal of Personality*, 2003. Vol. 71, no. 6, pp. 1113–1143. doi: 10.1111/1467-6494.7106009
25. Rubia K., Smith A.B., Brammer M.J. Right inferior prefrontal cortex mediates response inhibition while mesial prefrontal cortex is responsible for error detection. *Neuroimage*, 2003. Vol. 20, no. 1, pp. 351–358. doi: 10.1016/S1053-8119(03)00275-1
26. Rueda M.R., Fan J., McCandliss B.D. Development of attentional networks in childhood. *Neuropsychologia*, 2004. Vol. 42, no. 8, pp. 1029–1040. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2003.12.012
27. Rueda M.R., Rothbart M.K., McCandliss B.D. Training, maturation, and genetic influences on the development of executive attention. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 2005. Vol. 102, no. 41, pp. 14931–14936. doi: 10.1073/pnas.0506897102
28. Shalev L., Tsal Y., Mevorach C. Computerized progressive attentional training (CPAT) program: effective direct intervention for children with ADHD. *Child neuropsychology*, 2007. Vol. 13, no. 4, pp. 382–388. doi: 10.1080/09297040600770787
29. Sohlberg M.M., McLaughlin K.A., Pavese A. Evaluation of attention process training and brain injury education in persons with acquired brain injury. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 2000. Vol. 22, no. 5, pp. 656–676. doi: 10.1076/1380-3395(200010)22:5;1-9;FT656
30. Strong G.K., Torgerson C.J., Torgerson D. A systematic meta-analytic review of evidence for the effectiveness of the 'Fast ForWord' language intervention program. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 2011. Vol. 52, no. 3, pp. 224–235. doi: 10.1111/j.1469-7610.2010.02329.x
31. Sylvester C.Y., Wager T.D., Lacey S.C. Switching attention and resolving interference: fMRI measures of executive functions. *Neuropsychologia*, 2003. Vol. 41, no. 3, pp. 357–370. doi: 10.1016/S0028-3932(02)00167-7
32. Tamm L., Epstein J.N., Peugh J.L. Preliminary data suggesting the efficacy of attention training for school-aged children with ADHD. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 2013. Vol. 4, pp. 16–28. doi: 10.1016/j.dcn.2012.11.004
33. Tanji J., Hoshi E. Role of the lateral prefrontal cortex in executive behavioral control. *Physiological Reviews*, 2008. Vol. 88, no. 1, pp. 37–57. doi: 10.1152/physrev.00014.2007
34. Temple E., Deutsch G.K., Poldrack R.A. Neural deficits in children with dyslexia ameliorated by behavioral remediation: evidence from functional MRI. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 2003. Vol. 100, no. 5, pp. 2860–2865. doi: 10.1073/pnas.0030098100
35. Turatto M., Sandrini M., Miniussi C. The role of the right dorsolateral prefrontal cortex in visual change awareness. *Neuroreport*, 2004. Vol. 15, no. 16, pp. 2549–2552
36. Wainwright A., Bryson S.E. The development of exogenous orienting: mechanisms of control. *Journal of Experimental Child Psychology*, 2002. Vol. 82, no. 2, pp. 141–155. doi: 10.1016/S0022-0965(02)00002-4
37. Wang Z., Klein R.M. Searching for inhibition of return in visual search: a review. *Vision Research*, 2010. Vol. 50, no. 2, pp. 220–228. doi: 10.1016/j.visres.2009.11.013
38. Woods A.J., Goksun T., Chatterjee A. The development of organized visual search. *Acta Psychologica*, 2013. Vol. 143, no. 2, pp. 191–199. doi: 10.1016/j.actpsy.2013.03.008