

УДК 612.821

**ВОЗРАСТНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ РАСПОЗНАВАНИЯ
ИЕРАРХИЧЕСКИХ СТИМУЛОВ В УСЛОВИЯХ НАПРАВЛЕННОГО
ВНИМАНИЯ У ДЕТЕЙ ОТ 5 ДО 10 ЛЕТ**

© 2010 г. Е.В. Крупская, Р.И. Мачинская

Институт возрастной физиологии РАО, Москва

e-mail: regina_home@mail.ru

поступила в редакцию

принята к печати

Исследовались время реакции и точность распознавания иерархических буквенных стимулов на локальном и глобальном уровнях у 95 детей четырех возрастных групп (5-6, 6-7, 7-8 и 9-10 лет) и 10 взрослых. В целом дети всех возрастных групп и взрослые точнее и быстрее распознавали иерархические стимулы на глобальном, чем на локальном уровне (эффект преимущества глобального уровня) и демонстрировали замедление реакции при распознавании конфликтного стимула на локальном уровне (эффект интерференции глобального уровня). В младшей возрастной группе (5-6 лет) выявлены значимые индивидуальные различия параметров распознавания иерархических букв – у части детей этого возраста (7 из 37) эффект преимущества глобального уровня и связанный с ним эффект интерференции глобального уровня при распознавании конфликтных стимулов отсутствовали. Значимые прогрессивные изменения точности распознавания иерархического стимула как на локальном, так и на глобальном уровнях выявлены при переходе от 6-7 к 7-8 годам, а также у взрослых по сравнению с детьми 9-10 лет. Обнаружена различная возрастная динамика скорости распознавания иерархических стимулов на локальном и глобальном уровнях: скорость распознавания маленькой буквы значимо увеличивается в каждой следующей возрастной группе, начиная с 6-7 лет, а при распознавании большой буквы не происходит существенного сокращения времени реакции у детей 9-10 лет по сравнению с детьми 7-8 лет. В двух

младших возрастных группах (5-6 и 6-7 лет) обнаружены особенности влияния типа иерархического стимула на скорость его распознавания: время реакции независимо от уровня распознавания значительно увеличивается при использовании как целевого (конфликтный тип стимула), так и нейтрального элемента на нерелевантном уровне. Предполагается, что выявленная в исследовании нелинейная возрастная динамика параметров распознавания иерархических стимулов в дошкольном и младшем школьном возрасте определяется как созреванием механизмов обработки сенсорно-специфической информации, так и формированием управляющих функций, прежде всего, связанных с избирательным выделением значимых сигналов.

Ключевые слова: онтогенез, иерархические стимулы, зрительное распознавание, направленное внимание, дошкольный и младший школьный возраст.

Developmental Changes of Hierarchical Visual Stimulus Recognition in Children Aged 5-10 Years

Krupskaya E.V., Machinskaya R.I.

Institute of Developmental Physiology, Russian Academy of Education, Moscow,

e-mail: regina_home@inbox.ru

Reaction time (RT) and performance accuracy during hierarchical visual stimulus recognition at local and global levels were studied in 95 healthy 5-6, 6-7, 7-8 and 9-10-year-old children and 10 adults. For the sample as a whole task performance was faster and more accurate during global feature recognition (global advantage effect), with increased RT to incongruent stimuli in local condition (global interference effect). Significant inter-individual differences were found in the youngest group (5-6-year-olds): 7 children from the total number of 37 subjects failed to show the global advantage and global interference effects. Significant progressive shifts in performance accuracy during hierarchical stimulus recognition at both local and global level were observed in the period between 6-7 and 7-8 years and then between 9-10 years and adulthood. The time course of age-dependent changes in recognition velocity was different for global and local features of hierarchical stimuli: the RT time significantly decreased in every successive age group for local feature recognition beginning from 6-7-year-old children, whereas there were no significant differences between 7-8 and 9-10-year-old children in global feature recognition velocity. In the two younger groups (5-6 and 6-7 years), the stimulus type affected performance velocity in a specific manner: RT increased for both incongruent and neutral stimuli irrespective of the level of the target feature. It was assumed that nonlinear

developmental trends in hierarchical stimulus recognition parameters depend on both maturation of visual information processing and development of executive functions, especially those related to selection of relevant signals.

Key words: ontogenesis, hierarchical stimuli, visual recognition, directed attention, preschool and primary school age

Формирование функций восприятия и внимания – это основа развития познавательной деятельности ребенка. Возможность быть внимательным к тому или другому сигналу, воспринимать объект в целом или сконцентрироваться на его деталях, расставлять приоритеты между поступающими сигналами и игнорировать незначимые события позволяют ребенку создать образ окружающего мира. Проблема распознавания целостной структуры и отдельных деталей зрительного образа является одной из ключевых для психологии и психофизиологии зрительного восприятия, в особенности при исследовании взаимодействия сенсорных и регуляторных процессов при обработке значимой информации. Вместе с тем возрастной аспект этой проблемы остается малоизученным.

Одна из наиболее распространенных экспериментальных парадигм исследования восприятия целого и деталей в ситуации привлеченного внимания была предложена Д. Навоном [16]. Особенность этой методики состоит в использовании иерархически организованных стимулов, которые представляют собой большие буквы или фигуры составленные из одинаковых аналогичных маленьких элементов [13, 16, 17]. В экспериментах Д. Навона испытуемые в соответствии с инструкцией в ситуации направленного внимания должны были распознавать либо иерархический стимул в целом (глобальный уровень) как одну из двух возможных целевых букв, либо обнаруживать одну из этих букв среди элементов, из которых построен иерархический стимул (локальный уровень). Для изучения взаимного влияния процессов «глобального» и «локального» опознания использовались конфликтные варианты иерархических стимулов, в которых большая буква не совпадала с маленькими. Изучая взаимную интерференцию

глобального и локального уровней зрительного образа, Д. Навон обнаружил, что конфликтность стимула существенно больше сказывается на восприятии маленькой буквы, чем на восприятии большой. По его мнению, этот феномен, названный «интерференцией глобального уровня» (global interference effect) связан с первичностью или преимуществом целостного восприятия зрительных объектов (global advantage), что затрудняет различение маленькой буквы и увеличивает время ее опознания. Однако при изменении различных параметров иерархических стимулов - контраста, размера, пространственных характеристик, положения в поле зрения, количества локальных и глобальных элементов - может быть получен и другой результат - отсутствие значимых различий во времени опознания глобального и локального уровней или даже более быстрое опознание локального аспекта стимула [13, 15, 17]. Относительная скорость распознавания образа в целом и его деталей зависит не только от сенсорных характеристик стимулов, но в значительной степени от распределения ресурсов внимания, что в свою очередь определяется когнитивной задачей [15]. Исследования связанных с событием потенциалов мозга (ССП) [10-12, 24, 25] показали, что обработка зрительной информации на глобальном и локальном уровнях в сенсорно-специфических областях зависит от нисходящих модулирующих влияний со стороны фронто-париетальной системы. Таким образом, как психологические, так и нейрофизиологические исследования свидетельствуют о том, что в основе распознавания иерархических зрительных образов лежит тесное взаимодействие сенсорных и регуляторных составляющих обработки информации.

Известно, что мозговая организация обработки зрительной информации и механизмы избирательного произвольного внимания претерпевают качественные изменения в дошкольном и младшем школьном возрасте [4, 6,8], и это не может не сказываться на распознавании сложных зрительных стимулов.

По данным работы [9] дети 4 и 5 лет испытывают большие трудности воссоздания целого образа при копировании разреженных иерархических фигур по сравнению с детьми 6 и 8 лет, что может быть связано с относительной

незрелостью процессов зрительно-пространственного синтеза у детей дошкольного возраста (до 6 лет), которая проявляется в преимущественном оперировании с мелкими объектами и деталями при рисовании и конструировании [22], а также относительной трудности распознавании целостных изображений [23]. На трудности распознавания целостных образов у детей 6 и 8 лет по сравнению со взрослыми указывают также данные исследования [19], в котором показано, что у детей использование дистракторов в большей степени влияет на опознание глобального уровня стимула, чем локального. Более поздние исследования показали, что в возрастном диапазоне от 5 до 23 лет способность выделять элементы иерархической структуры раньше достигает дефинитивного уровня, чем способность группировать элементы в единую глобальную форму, и что последняя продолжает развиваться в подростковом возрасте [14, 18, 21]. По данным работы [1] подготовка к распознаванию глобального аспекта стимула требует большей активации зрительных корковых зон на начальных этапах обработки информации (компонент P1 ССП) у детей 7-8 лет по сравнению со взрослыми.

С другой стороны, точность и скорость распознавания деталей изображения существенно зависит от созревания механизмов избирательного внимания. В наших предыдущих исследованиях избирательного зрительного внимания в младшем школьном возрасте [5] было показано, что у детей 7-8 лет функциональная незрелость регуляторных структур мозга, ответственных за реализацию произвольного селективного внимания, сопровождается увеличением времени реакции при опознании локальных аспектов иерархического стимула.

Представленные выше данные позволяют предположить, что в период от 5 до 9 лет, когда интенсивно и гетерохронно созревают мозговые системы внимания и зрительного восприятия, происходят существенные и нелинейные изменения в механизмах распознавания целого и деталей сложносоставного зрительного образа. Для выявления возможных возрастных особенностей в

выраженности предпочтений глобального уровня восприятия на протяжении периода от 5 до 9 лет в настоящем исследовании сопоставлялись психометрические показатели распознавания иерархических буквенных стимулов в условиях направленного внимания у детей четырех последовательных возрастных групп - 5-6, 6-7, 7-8 и 9-10 лет, а также взрослых.

МЕТОДИКА

Испытуемые. В исследовании участвовали 95 испытуемых. Все испытуемые не имели неврологических заболеваний в анамнезе, а также отклонений в функциональном состоянии мозга по данным ЭЭГ-обследования, которое проводилось в лаборатории нейрофизиологии Института возрастной физиологии РАО. Зрение испытуемых было нормальным или скорректированным до нормального уровня. Испытуемые составили пять возрастных групп: дети 5-6 лет (5.5 ± 0.301 , $n=37$: 17 мальчиков, 20 девочек); дети 6-7 лет (6.3 ± 0.222 , $n=13$: 5 мальчиков, 8 девочек); дети 7-8 лет (7.67 ± 0.344 , $n=19$: 7 мальчиков, 12 девочек); дети 9-10 лет (9.5 ± 0.302 , $n=16$: 7 мальчиков, 9 девочек) и взрослые (21.3 ± 0.254 , $n=10$: 3 мужчины, 7 женщин). Исследование проводилось с информированного согласия всех испытуемых, а при исследовании детей было получено также согласие их родителей.

Программные и технические средства. Предъявление тестов осуществлялось с помощью компьютерной программы в оболочке «Butterfly» [20]. Стимулы предъявлялись на 15-дюймовом ЭЛ-дисплее («Samatron 55E», Тайвань), частота кадров которого составляла 75 Гц. В качестве устройства для регистрации двигательных ответов испытуемых использовали кнопки джойстика («Quick Shot X», Гонконг).

Стимулы и задача испытуемого. Тестовыми зрительными стимулами служили одиночные иерархически организованные черные буквы «Н», «Е» и «О» на сером фоне (рисунок 1). Каждый тестовый стимул представлял собой заглавную букву большего размера (6.4×2.4 угл. град. по вертикали и горизонтали соответственно), состоящую из заглавных букв маленького размера

(0.8 x 0.3 угл. Град.), расположенных в матрице 7x5. Буквы «Н» и «Е» были целевыми: испытуемые должны были определять, какая из этих двух букв появляется на глобальном либо локальном уровне. В ходе эксперимента предъявлялись три типа иерархических стимулов: конфликтный, совпадающий и нейтральный - с использованием нейтрального элемента «О». Всего использовалось восемь вариантов иерархических стимулов, включающих все возможные сочетания тестовых и нейтральных элементов (рисунок I). Для фиксации взора испытуемых в центре экрана помещался крестик размером 0.35 x 0.5 угл. град.

Ответная реакция испытуемого. При распознавании одной из двух целевых букв «Н» или «Е» испытуемые нажимали одну из двух кнопок находящегося перед ними ответного устройства указательными пальцами правой или левой руки. Для исключения систематического влияния разницы в скорости реагирования правой и левой рукой соответствие руки и целевой буквы чередовалось от испытуемого к испытуемому.

Процедура эксперимента. Испытуемые выполняли задание, сидя на расстоянии 45 см перед монитором компьютера. Стимулы предъявлялись в двух экспериментальных условиях, задаваемых предварительной инструкцией экспериментатора: при распознавании букв на глобальном уровне (А) и при распознавании букв на локальном уровне (Б). Экспериментальные условия в ходе эксперимента чередовались в порядке АББА. После каждой серии делался перерыв на 5-7 мин. Во всех четырех сериях стимуляции совпадающие, конфликтные и нейтральные иерархические стимулы чередовались в псевдослучайном порядке с равной вероятностью. Каждый тип стимула в каждой серии предъявлялся 20 раз, таким образом, в каждой серии использовалось 60 стимулов. В каждой пробе тестовому стимулу предшествовал звуковой предупреждающий сигнал. Пробы предъявлялись с переменным временным интервалом. Временная диаграмма событий одной пробы эксперимента демонстрируется на рисунке II.

До экспериментальных серий проводили ознакомление испытуемого со стимулами, которые предъявляли в бумажном варианте. Кроме этого, для овладения испытуемыми навыками двигательного ответа и распознавания букв проводили тренировочную серию, в ходе которой испытуемому показывали на экране буквы «Н» и «Е» (неиерархические) и просили их нажимать кнопки ответного устройства.

Анализируемые параметры и обработка данных. В ходе эксперимента автоматически регистрировались время двигательной реакции (ВР) и правильность ответа испытуемого. Из анализа были исключены импульсивные ответы (ВР менее 100 мс) и ответы с ВР более 2.500 мс. ВР при правильном распознавании буквы и процент правильных ответов усреднялись для каждого испытуемого в двух экспериментальных условиях (распознавание глобального аспекта стимула, распознавание локального аспекта стимула) при предъявлении трех типов стимулов (совпадающих, конфликтных и нейтральных). Статистическая обработка результатов проводилась с помощью дисперсионного анализа по схеме повторных измерений (Repeated Measures ANOVA), попарные сравнения осуществлялись с помощью t-критерия Стьюдента или *Post-hoc* сравнения основных эффектов с коррекцией Бонферрони.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

I. Особенности распознавания иерархических зрительных стимулов у детей 5-6 лет

В младшей группе испытуемых был выявлен существенный индивидуальный разброс психометрических показателей. Анализ распределения процентов правильных ответов при распознавании иерархических букв позволил обнаружить, что часть детей в младшей группе (7 детей из 37) демонстрировали трудности распознавания глобального аспекта стимула: процент правильных ответов при восприятии большой буквы у этих детей был ниже среднего показателя для младшей группы более чем на одно стандартное отклонение. Такие особенности распознавания иерархических стимулов могут быть связаны с

возрастной незрелостью процессов опознания целостного образа, состоящего из деталей (см. введение). В связи с этим представляло интерес выделить этих детей в отдельную группу и сопоставить их данные с результатами исследования остальных детей младшей группы. Было образовано дополнительно две подгруппы испытуемых младшего возраста: дети с трудностями опознания иерархического стимула на глобальном уровне (группа 1А, 7 детей, 5.52 ± 0.29 , 4 мальчика, 3 девочки) и остальные дети младшей группы (группа 1Б, 30 детей, 5.56 ± 0.31 , 13 мальчиков, 17 девочек). Группы 1А и 1Б не различались по возрасту испытуемых ($t(37) = -0.245$, $p = 0.808$). В табл. 1 представлены средние значения и стандартные отклонения анализируемых психометрических показателей в выделенных подгруппах. Для этих параметров был проведен дисперсионный анализ по схеме повторных измерений: УСЛОВИЕ (опознание глобального аспекта/опознание локального аспекта) X СТИМУЛ (совпадающий/конфликтный/нейтральный) X ГРУППА (Группа 1А/Группа 1Б).

Согласно результатам дисперсионного анализа фактор УСЛОВИЕ изолированно не оказывал влияния на показатели точности распознавания иерархического стимула в данной выборке детей 5-6 лет ($F_{1,70} = 0.405$, $p = 0.529$). Другой повторяющийся фактор - СТИМУЛ, напротив, значимо влиял на точность выполнения задания ($F_{2,70} = 8.259$, $p = 0.001$): в целом по группе конфликтные стимулы опознавались менее точно, чем совпадающие и нейтральные. Этот эффект был больше выражен для локального аспекта стимула, что отразилось в значимом взаимодействии факторов СТИМУЛ X УСЛОВИЕ ($F_{2,70} = 5.228$, $p = 0.002$). Подобные значимые эффекты обнаружены и для других возрастных групп в настоящем исследовании (см. результаты ниже). Было обнаружено значимое влияние фактора ГРУППА ($F_{1,35} = 862.22$, $p < 0.001$) - успешность распознавания в среднем для всех типов стимулов и обоих условий эксперимента была выше в группе 1Б -, а также значимое взаимодействие факторов ГРУППА X УСЛОВИЕ ($F_{1,35} = 3.938$, $p = 0.045$). Хотя эти эффекты и являются ожидаемыми, учитывая принцип формирования подгрупп 1А и 1Б, попарное сравнение точности

распознавания стимулов на глобальном и локальном уровнях в этих подгруппах позволило обнаружить неочевидные и представляющие интерес с точки зрения анализа эффекта преимущества глобального уровня групповые различия. Так, в группе 1А средняя точность распознавания маленькой буквы была выше, чем большой ($60.95 \pm 15.699\%$ и $56.66 \pm 15.633\%$ соответственно), хотя эти различия не были статистически значимы ($t_6 = 0.808$, $p = 0.450$). В группе 1Б наблюдалось обратное соотношение точности распознавания маленькой и большой буквы ($77.89 \pm 16.803\%$ и $86.22 \pm 8.361\%$ соответственно), и эти различия были значимы ($t_{29} = -2.970$, $p = 0.006$). Такой результат свидетельствует о том, что в отличие от большинства детей этого возраста и испытуемых других групп (см. результаты ниже) дети в группе 1А не демонстрировали преимущество глобального уровня в точности распознавания.

Особенности восприятия зрительных иерархических букв в группе 1А по сравнению с группой 1Б были выявлены и при анализе скорости правильного распознавания стимулов. Дисперсионный анализ времени реакции (ВР), по той же схеме повторных измерений, которая использовалась для показателей точности распознавания, выявил значимый эффект факторов УСЛОВИЕ ($F_{1,35} = 16.743$, $p < 0.0001$) и СТИМУЛ ($F_{2,70} = 7.937$, $p = 0.001$). Влияние типа стимула на скорость распознавания иерархического паттерна в анализируемой выборке детей отличалось от описанного в большинстве исследований взрослых (см. введение) и наблюдаемого в более старших возрастных группах в настоящем исследовании (см. результаты ниже): ВР было минимально при предъявлении совпадающего типа стимула и максимально – при предъявлении нейтрального. Этот эффект будет более подробно описан ниже при сопоставлении данных младших групп с другими возрастными группами. Что касается фактора УСЛОВИЕ, то для данной группы детей в целом было характерно более короткое время распознавания глобального аспекта стимула, чем локального, что свойственно и другим возрастным группам (см. результаты ниже) и было описано нами ранее у детей 7-8 и 9-10 лет [5]. Вместе с тем выявлен значимый эффект взаимодействия

УСЛОВИЕ X ГРУППА ($F_{1,35} = 8.788$, $p = 0.005$): в группе 1Б скорость распознавания глобального аспекта стимула была выше (ВР короче), чем локального (853.32 ± 31.636 мс и 1199.67 ± 57.226 мс соответственно), и эти различия были значимы ($t_{29} = -8.616$, $p < 0.001$). В группе 1А ВР распознавания большой и маленькой буквы (901.33 ± 33 мс и 956.667 ± 118.469 мс соответственно) практически не различалось ($t_7 = -0.503$, $p = 0.633$). Более того, была обнаружена тенденция ($t_{35} = -1.847$, $p = 0.073$) к более быстрому распознаванию локального аспекта стимула в группе 1А (ВР = 956.66 ± 101.993 мс), по сравнению с группой 1Б (ВР = 1199 ± 184.621 мс). Таким образом, анализ ВР, так же как анализ точности выполнения задания, говорит о том, что у детей группы 1А отсутствовало преимущество при распознавании глобального уровня иерархического стимула.

Учитывая особенности процессов восприятия иерархического стимула у детей группы 1А и тот факт, что эти дети составляли только 18% от общего числа исследованных детей 5-6 лет, для дальнейшего анализа возрастной динамики распознавания иерархического стимула были использованы только данные детей группы 1Б.

II. Возрастная динамика точности распознавания иерархических стимулов

Для статистической оценки возрастной динамики показателей точности распознавания иерархических стимулов использовался дисперсионный анализ RM ANOVA по схеме представленной выше с межиндивидуальным фактором ГРУППА (5-6 лет / 6-7 лет / 7-8 лет / 9-10 лет / взрослые). Средние значения процента правильных ответов и их стандартные отклонения представлены в табл. 2 (I).

Были выявлены общие для всех возрастных групп закономерности распознавания иерархических букв. Значимым оказался фактор УСЛОВИЕ ($F_{1,83} = 4.662$, $p = 0.034$): для всех испытуемых независимо от возраста точность распознавания была выше при опознании глобального уровня стимула. Так же было выявлено значимое влияние фактора СТИМУЛ как изолированно ($F_{2,166} =$

18.042, $p < 0.001$) - все испытуемые хуже распознавали конфликтные стимулы по сравнению с совпадающими и нейтральными -, так и во взаимодействии с УСЛОВИЕМ ($F_{2,166} = 5.471$, $p = 0.005$) - снижение точности распознавания при предъявлении конфликтных стимулов было больше выражено при внимании к локальному аспекту иерархических букв.

На точность распознавания иерархических букв значимо влиял межиндивидуальный фактор ГРУППА ($F_4 = 6.652$, $p < 0.001$). При этом отмечался нелинейный характер прогрессивного нарастания точности выполнения задания с возрастом. Как свидетельствуют результаты попарного сравнения процента правильных ответов в разных возрастных группах (табл. 3), значимые возрастные различия точности распознавания иерархических букв отмечались между детьми 6-7 и 7-8 лет, а также детьми 9-10 лет и взрослыми. Различия же между двумя младшими возрастными группами и детьми 7-8 и 9-10 лет не были выявлены.

Возрастная динамика точности выполнения задачи не зависела от того, на каком уровне - локальном или глобальном, распознавался иерархический стимул и от того, какой тип стимула предъявлялся испытуемому. Об этом свидетельствует отсутствие значимого взаимодействия фактора ГРУППА и повторяющихся факторов УСЛОВИЕ и СТИМУЛ.

III. Возрастная динамика скорости распознавания иерархических стимулов

Анализ возрастной динамики скорости распознавания иерархической буквы осуществлялся с помощью схемы RM ANOVA, описанной в предыдущем разделе. Средние значения ВР и стандартные отклонения представлены в табл. 2 (II).

Результаты дисперсионного анализ ВР указывают на общие для всех возрастных групп закономерности скорости распознавания иерархических букв. Обнаружено значимое влияние факторов УСЛОВИЕ ($F_{1,83} = 259.815$, $p < 0.001$) и СТИМУЛ ($F_{2,166} = 25.227$, $p < 0.001$) а также их значимое взаимодействие ($F_{2,166} = 15.123$, $p < 0.001$). Средние значения ВР, представленные в табл. 2 (II), свидетельствуют о том, что ВР у всех групп при опознании локального аспекта

стимула было больше, чем при опознании глобального, что особенно отчетливо проявляется при восприятии конфликтных стимулов. Сходные закономерности были выявлены в наших предыдущих исследованиях детей 7-8 и 9-10 лет с применением той же экспериментальной модели [5]. Они соответствуют описанным в литературе эффектам преимущества глобального уровня иерархического стимула и связанному с ним эффекту интерференции глобального уровня [13, 16].

Межиндивидуальный фактор ГРУППА также оказался значимым ($F_4 = 36.271, p < 0.001$). По мере взросления испытуемых отмечается уменьшение ВР. Значимые различия не выявлены только между двумя младшими группами (табл. 3 II). Прогрессивная возрастная динамика этого параметра деятельности отличается от динамики показателя точности: если процент правильных ответов значимо возрастал только при переходе от 6-7 к 7-8 годам и затем у взрослых по сравнению с детьми 9-10 лет, то ВР значимо уменьшается, начиная с возраста 6-7 лет в каждой следующей возрастной группе ВР.

При наличии общей возрастной тенденции изменения ВР обнаружено значимое взаимодействие факторов ГРУППА и УСЛОВИЕ ($F_{4,83} = 10.521, p < 0.001$). Это взаимодействие отражает неодинаковую возрастную динамику скорости распознавания глобальных и локальных аспектов иерархических букв. В табл. 4 представлены результаты попарных межгрупповых сравнений ВР отдельно в ситуации распознавания локального (А) и глобального (Б) аспектов стимула.

Видно, что особенности возрастной динамики скорости распознавания цели в этих двух экспериментальных ситуациях касаются средних возрастных групп (7-8 и 9-10 лет). В ситуации распознавания большой буквы различия между этими группами не выявлены, тогда как в ситуации распознавания маленькой буквы дети 9-10 лет демонстрируют значимое уменьшение ВР по сравнению с детьми 7-8 лет. Отсутствие значимых различий ВР при распознавании глобального аспекта стимула не означает, что скорость опознания большой буквы не увеличивается на

следующих возрастных этапах. Напротив, ВР значимо снижается у взрослых по сравнению с детьми 9-10 лет.

При анализе результатов RM ANOVA для ВР было обнаружено также значимое взаимодействие факторов СТИМУЛ X ГРУППА ($F_{8,166} = 2.628$, $p = 0.010$). Попарное сравнение фактора СТИМУЛ в каждой группе (табл. 5) выявило особенности влияния этого фактора на скорость распознавания иерархического стимула у детей младших возрастных групп.

Так, у детей 5-6 и 6-7 лет ВР как при предъявлении конфликтных, так и при предъявлении нейтральных стимулов было значимо больше, чем при предъявлении совпадающих, при этом скорость распознавания конфликтных и нейтральных стимулов не различалась. Начиная с 7-8 лет, наблюдалась другая картина - реакция на конфликтные стимулы была значимо медленнее, чем на совпадающие и нейтральные, последние же стимулы распознавались с одинаковой скоростью. Выявленные различия указывают на то, что несовпадение локального и глобального уровней стимула у детей младших групп вызывает трудности распознавания независимо от того, являются ли составляющие иерархического стимула целевыми или нейтральными. Необходимо отметить, что возраст, в котором нейтральный элемент перестает оказывать интерферирующий эффект на ВР, совпадает с возрастом значимых прогрессивных изменений в точности распознавания иерархического стимула (см. раздел II).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Анализа ВР и процента правильных ответов при распознавании иерархических стимулов на локальном и глобальном уровнях у детей 5-6 лет указывает на особенности выполнения данной когнитивной операции в дошкольном возрасте. У большинства детей 5-6 лет соотношения этих параметров зрительного восприятия аналогичны выявленным в рамках настоящего исследования у взрослых и детей более старшего возраста: глобальные составляющие сложного стимула опознаются точнее и быстрее, чем локальные, а наиболее выраженное замедление ВР отмечается для конфликтных

стимулов, если целевой сигнал находится на локальном уровне. Подобные закономерности распознавания иерархических стимулов обнаружены в большинстве аналогичных работ на взрослых (обзоры [13, 17]) и были выявлены нами ранее у детей 7-8 и 9-10 лет [5]. У части же детей 5-6 лет эффект интерференции глобального уровня не наблюдался. Этот факт согласуется с данными о постепенном и длительном формировании механизмов синтеза целостного зрительного образа в онтогенезе [14, 15, 19-21]. Можно предположить, что полученные нами результаты обусловлены значительной индивидуальной вариабельностью темпов созревания зрительно-пространственных функций и относительной незрелостью механизмов интеграции элементов изображения в дошкольном возрасте.

Другая особенность распознавания иерархического стимула у детей 5-6 лет, а также у детей следующей возрастной группы (6-7 лет) состоит в том, что нерелевантная составляющая иерархического стимула оказывает негативный интерферирующий эффект на ВР не только в том случае, когда в этом качестве используется один из целевых сигналов (конфликтные стимулы), но и тогда, когда нерелевантный элемент является нейтральным. Можно предположить, что этот эффект обусловлен относительной трудностью выделения значимых признаков сигнала у детей 5-7 лет в связи с незрелостью фронтальных механизмов эндогенного селективного внимания и избирательной регуляции действий [7] и, напротив, привлечением экзогенного зрительного внимания к нерелевантному уровню иерархического стимула независимо от того, является ли элемент нерелевантного уровня целевым или нейтральным. О незрелости мозговых механизмов выделения значимых признаков сигналов в дошкольном возрасте говорят данные исследования [3], в котором показано, что трудности правильного распознавания целевых стимулов после выработанной когнитивной установки (регидность установки) у детей 5-7 лет связаны с недостаточной активностью лобных отделов коры головного мозга.

На выраженные изменения в организации избирательного внимания после 7 лет указывает также тот факт, что значимое увеличение точности распознавания иерархической буквы независимо от уровня целевого сигнала и типа стимула отмечается при переходе от 6-7 к 7-8 годам, а также у взрослых по сравнению с детьми 9-10 лет. Отсутствие влияния уровня распознавания и типа иерархического стимула на возрастную динамику точности выполнения задания говорит о том, что выявленные возрастные изменения не связаны непосредственно с механизмами восприятия иерархических стимулов, а скорее с более общими изменениями характера когнитивной деятельности. Наличие значимых возрастных изменений точности распознавания стимулов при переходе от 6-7 к 7-8 годам может быть обусловлено прогрессивным формированием управляющих функций, в особенности избирательного произвольного внимания и избирательной регуляции действий [7]. При попарном сопоставлении процентов правильных ответов в разных возрастных группах (см. табл. 3) обращает на себя внимание отсутствие значимых различий между детьми 7-8 лет и взрослыми, а также между детьми 6-7 лет и детьми 9-10 лет. Это может быть обусловлено скачком в созревании произвольных форм познавательной деятельности в 7-8 лет [2] и некоторым снижением способности к избирательной произвольной регуляции действий у детей 9-10 лет по сравнению с детьми 7-8 лет. Последнее было обнаружено при сопоставлении показателей нейропсихологического обследования управляющих функций в этих возрастных группах [7]. Таким образом, анализ процента правильных ответов при распознавании локальных и глобальных аспектов иерархической буквы позволяет сделать вывод, что нелинейная возрастная динамика точности выполнения этой когнитивной операции в дошкольном и младшем школьном возрасте (от 5 до 10 лет) определяется преимущественно созреванием механизмов избирательной произвольной регуляции обработки информации.

При переходе от 6-7 к 7-8 годам происходят наиболее выраженные изменения не только в точности распознавания иерархических стимулов, но и в

скорости. При этом возрастная динамика скорости выполнения когнитивной задачи зависит от уровня, на котором предъявляется целевой сигнал. При распознавании локального аспекта сложного стимула ВР уменьшается, начиная с 6-7 лет в каждой следующей возрастной группе, а при распознавании глобального аспекта значимых изменений у детей 9-10 лет по сравнению с детьми 7-8 лет не происходит. Можно думать, что «замедление» прогрессивных изменений в скорости распознавания стимула на глобальном уровне в 9-10 лет обусловлено особенностями процессов зрительно-пространственного синтеза, эффективность которого в этом возрасте может быть несколько снижена в связи с качественными перестройками функциональной организации правого полушария [4].

Таким образом, результаты настоящего исследования свидетельствуют о том, что когнитивные операции выделения деталей сложного изображения и синтеза единого зрительного образа имеют своеобразные траектории развития в период от 5 до 10 лет. Нелинейная возрастная динамика параметров распознавания иерархических стимулов в предшкольном и младшем школьном возрасте определяется как созреванием механизмов обработки сенсорно-специфической информации на локальном и глобальном уровнях, так и формированием управляющих функций, прежде всего механизмов избирательного выделения значимых сигналов.

ВЫВОДЫ

1. В целом дети всех возрастных групп и взрослые точнее и быстрее распознают иерархические стимулы на глобальном, чем на локальном уровне (эффект преимущества глобального уровня) и демонстрируют замедление реакции при распознавании конфликтного стимула на локальном уровне (эффект интерференции глобального уровня).
2. В младшей возрастной группе (5-6 лет) выявлены значимые индивидуальные различия параметров распознавания иерархических букв – у части детей этого возраста (7 из 37) эффект преимущества глобального

уровня и связанный с ним эффект интерференции глобального уровня при распознавании конфликтных стимулов отсутствовали.

3. Значимые прогрессивные изменения точности распознавания иерархического стимула как на локальном, так и на глобальном уровнях выявлены при переходе от 6-7 к 7-8 годам, а также у взрослых по сравнению с детьми 9-10 лет
4. Обнаружена различная возрастная динамика скорости распознавания иерархических стимулов на локальном и глобальном уровнях: скорость распознавания маленькой буквы значительно увеличивается в каждой следующей возрастной группе, начиная с 6-7 лет, а при распознавании большой буквы не происходит существенного сокращения времени реакции у детей 9-10 лет по сравнению с детьми 7-8 лет.
5. В двух младших возрастных группах (5-6 и 6-7 лет) обнаружены особенности влияния типа иерархического стимула на скорость его распознавания: время реакции независимо от уровня распознавания значительно увеличивается как при использовании целевого (конфликтный тип стимула), так и при использовании нейтрального элемента на нерелевантном уровне.

Работа выполнена при поддержке Российского гуманитарного научного фонда (грант № 07-06-00374а).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бетелева Т.Г., Петренко Н.Е.* Отражение механизмов направленного внимания в вызванных потенциалах на предупреждающие стимулы у взрослых и детей. *Физиология человека.* 2006. 32(5): 15-23.
2. *Выготский Л.С.* Кризис семи лет. *Собрание сочинений в 6 томах. Т.4* *Детская психология.* М.: «Педагогика», 1984.:376-385.
3. *Костандов Э. А., Фарбер Д. А., Мачинская Р. И., Черемушкин Е. А., Ашкинази М. Л., Петренко Н. Е.* Пространственная синхронизация

- корковой электрической активности на разных стадиях зрительной установки у детей дошкольного возраста. Журн. высш. нерв. деят. 2006. 56(4): 472-480.
4. *Мачинская Р.И.* Функциональное созревание мозга и формирование нейрофизиологических механизмов избирательного произвольного внимания у детей младшего школьного возраста. Физиология человека. 2006. 32(1):26-36.
 5. *Мачинская Р.И., Крупская Е.В.* Созревание регуляторных структур мозга и организация внимания у детей младшего школьного возраста . Когнитивные исследования. Сб. науч. трудов. Вып. 2. (Под ред. Соловьева В.Д., Черниговской Т. В.). М.: Изд-во ин-та психологии РАН, 2008: 33-47.
 6. Развитие мозга и формирование познавательной деятельности ребенка. (Под. ред. Фарбер Д.А., Безруких М.М). М.: Изд-во Моск. психолого-социального ин-та, 2009. 432 с.
 7. *Семенова О.А., Кошельков Д.А., Мачинская Р.И.* Возрастные изменения произвольной регуляции деятельности в старшем дошкольном и младшем школьном возрасте. Культурно-историческая психология. 2007. (4): 39-49.
 8. *Фарбер Д.А.* Развитие зрительного восприятия в онтогенезе. Психофизиологический анализ. Мир психологии. 2003.2(34): 114-133.
 9. *Dukette D. , Stiles J.* The effects of stimulus density of children's analysis of hierarchical patterns. Dev. Sci. 2001. 4: 233-251.
 10. *Han Sh., Jiang Yi.* Neural correlates of within-level and across-level attention to multiple compound stimuli . Brain Res. 2006. 1076: 193-197.
 11. *Heinze H. J., Hinrichs H., Scholz M., Burchert W., Mangun G. R.* Neural Mechanisms of Global and Local Processing: A Combined PET and ERP Study. J. Cognit. Neurosci. 1998. V.10 (4): 485-498.
 12. *Hop J., Luck S., Boelmans K. , Schoenfeld M., Boehler C, Rieger J., Heinze H.* The neural site of attention matches the spatial scale of perception. J. Neurosci. 2006. 26: 3532-3540.

13. *Kimchi R.* Primary of Wholistic Processing and Global/Local Paradigm: A Critical Review. *Psychol. Bull.* 1992. 112 (1): 24-38.
14. *Kimchi R., Hadad B., Behrmann M., Palmer St. E.* Microgenesis and Ontogenesis of Perceptual Organization. Evidence From Global and Local Processing of Hierarchical Patterns. *Psychol. Sci.* 2005. 16(4): 282-290.
15. *Kimchi R., Razpurker-Apfeld I.* Perceptual grouping and attention: Not all groupings are equal. *Psychonom. Bull. Review.* 2004. 11 (4): 687-696.
16. *Navon D.* Forest before trees: The precedence of global features in visual perception. *Cognit. Psychol.* 1977. 9: 353-383.
17. *Navon D.* What does a compound letter tell the psychologist's mind. *Acta Psychol.* 2003. 114: 273–309.
18. *Poirel N., Mellet E., Houdé O. & Pineau A.* First came the trees, then the forest: developmental changes during childhood in the processing of visual local-global patterns according to the meaningfulness of the stimuli. *Dev. Psychol.* 2008. 44: 245-253.
19. *Porporino M., Iarocci G., Shore D., Burack J.* A developmental change in selective attention and global form perception. *Int. J. Behav. Dev.* 2004. 28: 358-364.
20. *Pulkin B.* Butterfly: programming without programming. System for professional psychology. *Behav. Res. Methods, Instruments & Computers.* 1996. 28: 577-583.
21. *Scherf K.S., Behrmann M., Kimchi R., Luna B.* Emergence of global shape processing continues through adolescence. *Child Dev.* 2009. 80 (1): 162 – 177.
22. *Stiles, J., Stern, C.* Developmental change in spatial cognitive processing: Complexity effects and block construction performance in preschool children. *J. Cogn. Dev.* 2001. 2 (2):157–187.
23. *Tada W. L., Stiles J.* Developmental change in children's analysis of spatial patterns. *Dev. Psychol.* 1996. 32(5): 951–970.

24. *Weissman D.H., Woldorff M.G.* Hemispheric asymmetries for different components of global/local attention occur in distinct temporo-parietal loci. *Cereb. Cortex.* 2005. 15: 870—876.
25. *Yamaguchi Sh., Yamagata Sh., Kobayashi Sh.* Cerebral asymmetry of the “top-down” allocation of attention to global and local features. *J. Neurosci.* 2000. 20(9): RC72:1-5.

Подпись к рисунку:

Рисунок. Зрительные иерархические стимулы: А – конфликтные, Б – совпадающие, В – нейтральные (I) и временная диаграмма одной пробы эксперимента (II).

Figure .Visual hierarchical stimuli: A – incongruent, Б – congruent, В – neutral (I) and the time diagram of an experimental probe (II).

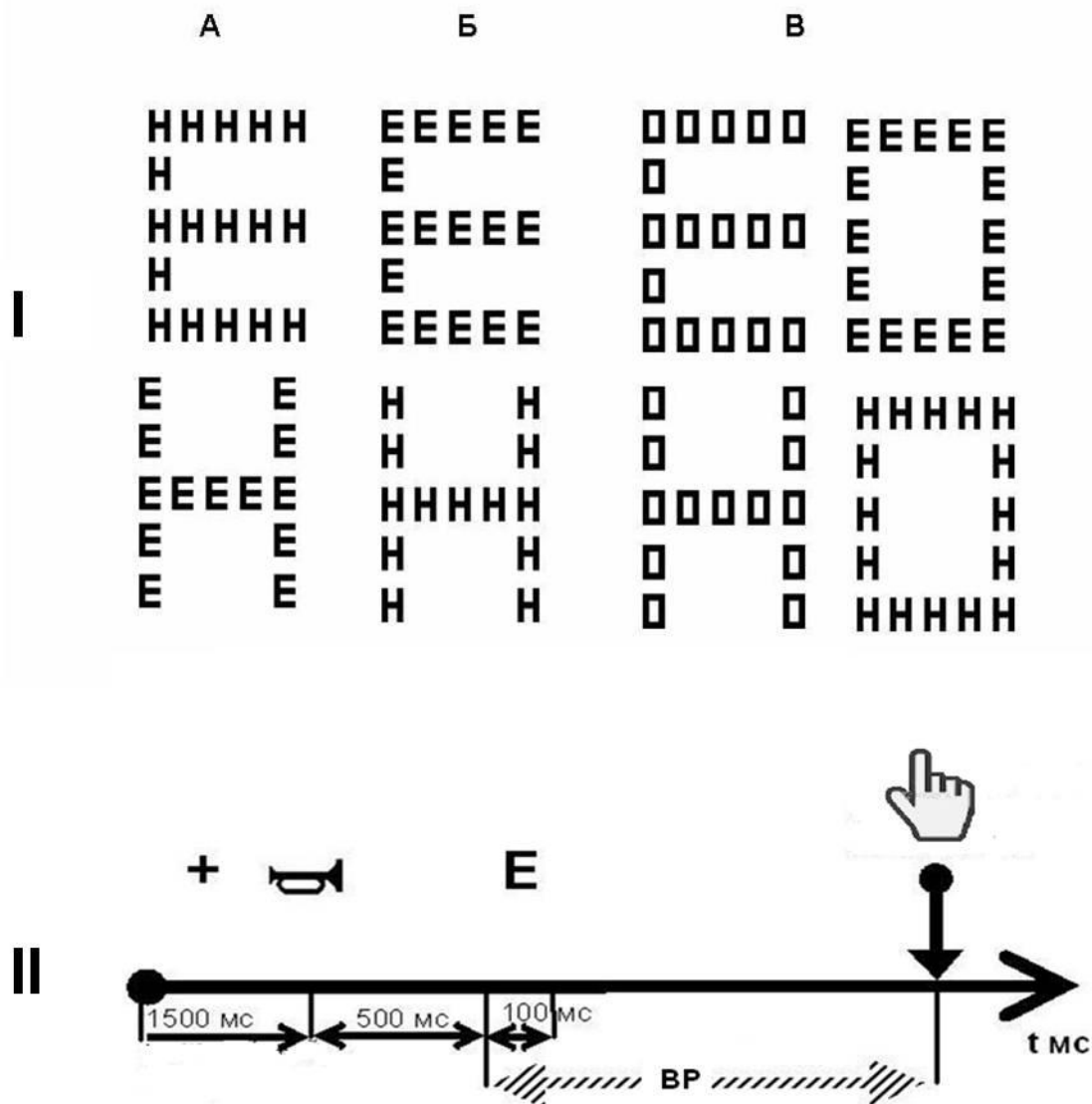


Таблица 1. Средние значения и стандартные отклонения процентов правильных ответов (I) и времени реакции (II) при распознавании иерархических стимулов у детей 5-6 лет, подгруппы 1А и 1Б

Table 1. Mean over group values and their standard deviations for the percentage (I) and reaction time (II) of correct recognitions of hierarchical stimuli in subgroups of 5-6-year-old children

	Группы	Параметры	Распознавание глобального аспекта			Распознавание локального аспекта		
			совпадающий	конфликтный	нейтральный	совпадающий	конфликтный	нейтральный
I	1А	Mean	51.42	55.71	62.86	65.71	52.86	64.28
		<i>SD</i>	11.251	12.051	15.767	15.660	14.970	13.363
	1Б	Mean	87.33	83.50	87.83	84.33	68.83	80.50
		<i>SD</i>	8.065	12.258	10.722	16.698	15.040	17.876
II	1А	Mean	855.43	901.71	946.86	875.43	972.14	1022.43
		<i>SD</i>	139.238	136.036	155.788	298.198	258.575	357.057
	1Б	Mean	820.30	865.83	873.83	1110.27	1277.60	1211.13
		<i>SD</i>	169.462	215.371	201.074	262.780	369.906	338.846

Таблица 2. Средние значения и стандартные отклонения процентов правильных ответов (I) и времени реакции (II) при распознавании иерархических стимулов у детей 5-6, 6-7, 7-8, 9-10 лет и взрослых

Table 2. Mean over group values and their standard deviations for the percentage (I) and reaction time (II) of correct recognitions of hierarchical stimuli in 5-6, 6-7, 7-8 and 9-10-year-old children and adults

	Группы	Пара метры	Распознавание глобального аспекта			Распознавание локального аспекта		
			совпадающий	конфликтный	нейтральный	совпадающий	конфликтный	нейтральный
I	5-6 лет	Mean	84.33	81.33	87.67	84.83	71.50	81.00
		SD	12.369	14.499	11.943	16.425	23.124	18.165
	6-7 лет	Mean	87.69	87.69	86.54	88.08	79.62	86.15
		SD	8.567	6.329	12.312	8.301	21.838	10.032
	7-8 лет	Mean	92.63	91.32	94.21	89.74	86.84	93.42
		SD	8.719	9.978	8.860	21.439	12.042	8.002
	9-10 лет	Mean	91.25	88.44	92.19	94.06	88.13	90.00
		SD	6.454	7.004	5.764	7.576	7.932	7.071
	взрослые	Mean	97.00	94.5	97.5	99.00	84.00	97.00
		SD	6.324	4.378	3.535	15.063	11.972	4.830
II	5-6 лет	Mean	803.03	850.48	831.34	1140.00	1333.34	1231.45
		SD	163.74	203.302	177.405	241.229	342.185	305.577
	6-7 лет	Mean	819.15	832.46	790.08	1164.15	1245.54	1172.85
		SD	152.23	146.865	179.802	259.835	265.112	212.488
	7-8 лет	Mean	632.72	636.00	608.78	884.44	992.72	885.06
		SD	141.323	141.487	126.182	201.550	194.537	178.316
	9-10 лет	Mean	571.88	562.88	550.25	739.50	832.31	733.69
		SD	102.404	102.681	104.768	144.853	152.961	167.320
	Взрослые	Mean	336.50	372.10	365.30	439.80	521.00	430.00
		SD	38.656	45.007	35.808	61.006	52.183	45.831

Таблица 3. Результаты попарных сравнений влияния фактора ГРУППА на процент правильных ответов (I) и время реакции (II) при распознавании иерархических стимулов

Table 3. Results of pairwise comparison of GROUP effect on the percentage (I) and reaction time (II) of correct recognitions of hierarchical stimuli

I	Группы	5-6 лет			6-7 лет			7-8 лет			9-10 лет		
		t	df	p	t	df	p	t	df	p	t	df	p
I	6-7 лет	-1.164	41	0.251									
	7-8 лет	-3.227	47	0.002	-1.993	30	0.049						
	9-10 лет	-2.881	44	0.006	-1.81	27	0.081	0.317	33	0.753			
	взрослые	-3.473	38	0.001	-3.121	21	0.005	-1.482	27	0.150	-2.184	24	0.039
II	6-7 лет	0.463	41	0.646									
	7-8 лет	4.783	47	<0.0001	3.994	30	<0.0001						
	9-10 лет	6.603	44	<0.0001	6.101	27	<0.0001	2.599	33	0.014			
	взрослые	9.289	38	<0.0001	9.850	21	<0.0001	8.051	27	<0.0001	6.698	24	<0.0001

Таблица 4. Результаты попарных сравнений влияния фактора ГРУППА на время реакции при распознавании иерархических стимулов на локальном (А) и глобальном (Б) уровнях

Table 4. Results of pairwise comparison of GROUP effect on RT of correct recognitions of hierarchical stimuli at local (A) and global (Б) levels

А	Группы	5-6 лет			6-7 лет			7-8 лет			9-10 лет		
		t	df	p	t	df	p	t	df	p	t	df	p
А	6-7 лет	0.497	41	0.622									
	7-8 лет	4.346	47	<0.0001	3.559	30	0.001						
	9-10 лет	6.377	44	<0.0001	5.881	27	<0.0001	2.788	33	0.009			
	взрослые	8.876	38	<0.0001	9.525	21	<0.0001	7.774	27	<0.0001	6.149	24	<0.0001
Б	6-7 лет	0.340	41	0.735									
	7-8 лет	4.570	47	<0.0001	3.801	30	0.001						
	9-10 лет	5.843	44	<0.0001	5.375	27	<0.0001	1.613	33	0.116			
	взрослые	8.503	38	<0.0001	8.961	21	<0.0001	6.175	27	<0.0001	5.906	24	<0.0001

Таблица 5. Результаты попарного сопоставления влияния фактора СТИМУЛ на время реакции при правильном распознавании иерархических стимулов у детей 5-6, 6-7, 7-8 и 9-10 лет и взрослых (Post Hoc Bonferroni Test для множественных сравнений)

Table 5. Results of pairwise comparison of STIMULUS effect on reaction time of correct recognitions of hierarchical stimuli in 5-6, 6-7, 7-8 and 9-10-year-old children and adults

Группы	Совпадающие vs. конфликтные	Совпадающие vs. нейтральные	Конфликтные vs. нейтральные
5-6 лет	<0.0001	0.006	0.104
6-7 лет	0.003	0.008	0.087
7-8 лет	0.001	1.000	0.013
9-10 лет	0.002	0.876	0.006
Взрослые	<0.0001	0.996	<0.0001