

УДК 159.922

ТРАЕКТОРИИ РАЗВИТИЯ СКОРОСТИ ПЕРЕРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ В МЛАДШЕМ ШКОЛЬНОМ ВОЗРАСТЕ: ЛОНГИТЮДНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ¹

© 2020 г. Т. Н. Тихомирова^{1,2,*}, Ю. В. Кузьмина^{2,**}, С. Б. Малых^{1,***}

¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования “Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова”, факультет психологии; 125009, г. Москва, ул. Моховая, д. 11, стр. 9, Россия.

²Федеральное государственное бюджетное научное учреждение “Психологический институт РАО”; 125009, г. Москва, ул. Моховая, д. 9, стр. 4, Россия.

*Член-корреспондент РАО, доктор психологических наук, профессор.

E-mail: tikho@mail.ru

**Научный сотрудник. E-mail: papushka@mail.ru

***Академик РАО, доктор психологических наук, профессор, зав. лабораторией.

E-mail: malykhsb@mail.ru

Поступила 14.08.2019

Аннотация. Представлены результаты четырехлетнего лонгитюдного исследования развития скорости переработки информации на всем протяжении младшего школьного возраста. Проанализирована средняя траектория развития скорости переработки информации в младшем школьном возрасте, оценены индивидуально-специфические отклонения от средней траектории для каждого участника исследования, а также выявлены половые различия в средних значениях, траектории развития скорости переработки информации и группах детей с различным уровнем выраженности времени реакции — медленных и быстрых. Выборку составили 224 ученика (46% девочек) начальных классов общеобразовательного учреждения (в 1-м классе $M_{\text{возраст}} = 7.85$, $\sigma = 0.34$; в 4-м классе $M_{\text{возраст}} = 10.77$, $\sigma = 0.36$). Участники выполняли компьютеризированное задание “Время реакции выбора” в конце каждого учебного года на протяжении всего периода начального обучения. Показано, что в ходе младшего школьного возраста происходит снижение значения времени реакции, а скорость переработки информации, соответственно, возрастает. При этом траектория снижения времени реакции характеризуется нелинейным характером изменений. Выявлено, что мальчики опережают девочек по средним значениям скорости переработки информации на каждом году начального обучения, но при этом темп и характер изменения скорости переработки информации статистически значимо не различаются у мальчиков и девочек на протяжении младшего школьного возраста. Доказано, что девочки и мальчики не различаются по скорости переработки информации в группах “быстрых” и “медленных” младших школьников.

Ключевые слова: скорость переработки информации, развитие, младший школьный возраст, модели роста со смешанными эффектами, половые различия, квантильный регрессионный анализ.

DOI: 10.31857/S020595920008507-3

Скорость переработки информации является базовой способностью и лежит в основе индивидуальных различий в когнитивных способностях более высокого порядка [2; 7; 9], академической успешности [21], социального благополучия [6]. Известно также, что индивидуальные изменения в траектории развития скорости переработки информации влекут за собой изменения в эффективности

функционирования всей когнитивной сферы человека на протяжении жизни [10; 29]. Зафиксированное в исследованиях значительное снижение скорости обработки информации с возрастом и высокая корреляционная связь с общими когнитивными способностями дают возможность рассматривать этот когнитивный показатель, измеренный как время реакции выбора, в качестве потенциального биомаркера когнитивного возраста и, возможно, биологического возраста в целом (цит. по: [11, с. 19]).

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 17-78-30028.

Данные о траекториях развития скорости переработки информации представлены в лонгитюдных исследованиях, в ходе которых измерение этого когнитивного показателя происходит несколько раз у одних и тех же респондентов на протяжении определенного возрастного периода. В лонгитюдных исследованиях открывается возможность контроля внутрииндивидуальных различий во времени, а также эффектов когорты и возраста [3; 27]. Эти исследования являются немногочисленными, в том числе из-за трудоемкости сбора данных и сложности статистической обработки, и сфокусированы в основном на изучении клинических групп, связанных, например, с синдромом дефицита внимания и гиперактивности (см. [26]).

В лонгитюдных исследованиях возрастные изменения скорости переработки информации на протяжении всей жизни описываются нелинейным профилем развития: резкое увеличение на протяжении детского возраста, сменяющееся плато в подростковом и юношеском возрастах с достижением асимптотических значений и затем постепенное снижение скорости переработки информации в течение всего периода взрослой жизни [16]. Снижение скорости переработки информации с возрастом было показано и в более позднем популяционном исследовании на выборке взрослых людей от 20 до 80 лет [12]. При этом особо подчеркивается значение метода измерения скорости переработки информации. В частности, для скорости переработки информации, измеренной как время реакции выбора, где требуется нажать на клавишу с появляющимся на экране определенным числом, обнаружено постепенное снижение на всем возрастном интервале от 20 до 50 лет. А скорость переработки информации, измеренная простым временем реакции, где требуется лишь нажать на клавишу при появлении любого стимула на экране, начинает снижаться лишь в возрасте около 50 лет [12]. В пожилом возрасте скоростные характеристики переработки информации заметно ухудшаются: наблюдается существенное замедление по сравнению не только с молодыми людьми, но и с менее пожилыми взрослыми людьми в возрасте от 55 до 87 лет [18]. Такая траектория возрастных изменений скорости переработки информации наблюдается независимо от выраженности времени реакции: в группах и “быстрых”, и “медленных” взрослых людей [23].

В целом делаются выводы о нелинейном характере изменения этого когнитивного показателя на протяжении всей жизни, но не на конкретных возрастных периодах. Вместе с тем паттерн изменений, наиболее подходящий для описания

групповых данных, может оказаться непригодным для характеристики индивидуальных траекторий развития скорости переработки информации у отдельных респондентов в определенный возрастной период [19].

Наиболее чувствительным в контексте изучения изменений в развитии скорости переработки информации можно считать младший школьный возраст: период, когда, согласно нейрофизиологическим исследованиям, наиболее интенсивно происходит процесс миелинизации, участвующий в формировании различных аспектов внимания [26]. Кроме того, в этот возрастной период, как правило, начинается процесс обучения в школе, что актуализирует развитие скорости переработки информации в условиях активного усвоения новых знаний, правил и понятий. Лонгитюдные исследования развития скорости переработки информации на протяжении младшего школьного возраста являются единичными и выполнены на выборках США и Западной Европы.

В лонгитюдном исследовании скорости переработки информации в детском и подростковом возрастах было установлено, что траектория развития наилучшим образом описывается квадратичной функцией, демонстрируя резкое увеличение скоростных показателей в возрасте от 5 до 18 лет [17]. Однако в этой работе траектория развития скорости переработки информации была рассчитана на данных измерений, выполненных на разных группах респондентов с использованием двух различных тестов, что ограничивает понимание периодов наиболее интенсивного развития на протяжении детского и подросткового возрастов. В лонгитюдном исследовании с включением типично развивающихся детей 7–12 лет и их сверстников с синдромом дефицита внимания и гиперактивности показано, что развитие скорости переработки информации, измеренной временем реакции выбора, характеризуется нелинейным паттерном изменения [26]. При этом на обеих анализируемых выборках детей с типичным и атипичным развитием скорость переработки информации наиболее интенсивно растет с 7 до 9 лет.

В этих исследованиях акцент делается на изучении средних для анализируемой выборки траекторий развития скорости переработки информации, но не описаны индивидуальные траектории. При этом одновременный анализ средних и индивидуальных траекторий развития открывает возможность понимания того, отличаются ли темпы изменения скорости переработки информации между участниками исследования или, напротив, эти изменения носят ярко выраженный групповой

характер возрастных изменений. Дополнительно становится возможным показать, различается ли скорость переработки информации между участниками исследования в каждый момент измерения или, напротив, в большей степени различается у одного участника на протяжении определенного временного интервала.

Скорость переработки информации как базовая когнитивная способность подтверждена влиянию образования, хотя и в меньшей мере, чем, например, интеллект [2; 22]. В частности, показано, что на протяжении общего образования происходит сужение диапазона вариативности скорости переработки информации; при этом степень сужения прямо пропорционально связана с эффективностью функционирования системы образования [2]. Таким образом, результаты анализа траекторий развития скорости переработки информации на протяжении младшего школьного возраста необходимо верифицировать в различных социальных условиях.

Анализ половых различий в скорости переработки информации сконцентрирован преимущественно на изучении показателей времени реакции, измеренных на определенном возрастном этапе, например в период начального школьного обучения [4]. В исследованиях с использованием разнообразных тестов на определение скорости переработки информации показано, что в среднем у мужчин ниже значение времени реакции, чем у женщин, что свидетельствует о более высоких скоростных характеристиках мужчин (например, [12]). При этом наибольшие половые различия были получены для теста “Время реакции выбора” с четырехальтернативным выбором числа [12]. Напротив, в метааналитическом исследовании были обнаружены половые различия в пользу мужчин только для теста простой времени реакции, однако сообщается, что с возрастом эти различия сильно сокращаются [25].

В целом большинство исследователей сходятся во мнении о том, что проявление половых различий в показателях скорости переработки информации зависит от возраста, а преимущество женщин или мужчин определяется типом и стимулами тестового задания: время реакции выбора или простое время реакции, тесты с числами, буквами или произношением слов [8; 20]. Так, преимущество женщин в скоростных показателях обработки информации было получено в тестовых ситуациях с использованием буквенных стимулов, а мужчин — в тестах с простым нажатием клавиши на стимул [20]. Наибольшие половые различия получены на выборке подросткового возраста [8].

В ряде исследований сообщается, что половые различия в когнитивном функционировании вероятнее всего проявляются лишь в крайних группах по степени выраженности признака, например в “низкой” или “высокой” группе по интеллекту [13]. Несмотря на то что данный факт в ряде исследований объясняется большей вариативностью общего интеллекта у мужчин по сравнению с женщинами [15], в более поздних работах регулярно сообщается о половых различиях в пользу мужчин, например в тестах интеллекта повышенной сложности (например, “Продвинутые прогрессивные матрицы”), или, напротив, зафиксированное в эпидемиологических исследованиях преобладание лиц мужского пола среди пациентов с умственной отсталостью легкой степени [1]. Для показателей скорости переработки информации таких данных не представлено, но, учитывая высокую корреляционную связь с интеллектом (до 0.65, метаанализ [24]), сходные тенденции могут быть получены для показателя времени реакции выбора.

Исследований, посвященных анализу половых различий в траекториях развития скорости переработки информации, не так много. В лонгитюдном исследовании с участием взрослых людей от 20 до 80 лет сообщается о половых различиях в темпе изменения скорости переработки информации, измеренной с помощью как теста времени реакции выбора, так и простого времени реакции [12]. При этом половые различия в темпе изменения времени реакции выбора являются наименее слабыми и наиболее изменчивыми [12]. Выраженные половые различия в траекториях развития скорости переработки информации на протяжении младшего школьного возраста обнаружены в лонгитюдном исследовании с участием испанских детей 7–12 лет [26]. Показано, что в каждый момент измерения с 7 до 10 лет мальчики превосходили девочек по скорости переработки информации. При этом, однако, за счет более интенсивного темпа развития скорости переработки информации на протяжении младшего школьного возраста девочки к 11 годам достигают скоростных показателей мальчиков. По результатам данного исследования в период с 11 до 12 лет половых различий в скорости переработки информации уже не было выявлено [26].

Основной целью настоящей работы является изучение развития скорости переработки информации на протяжении младшего школьного возраста. Для построения средней траектории и описания индивидуальных траекторий развития скорости переработки информации впервые использованы данные четырехлетнего лонгитюдного исследования современных российских

школьников. Наряду с основной целью будут проанализированы половые различия в траекториях развития скорости переработки информации на протяжении начального обучения. Кроме того, на российской выборке младших школьников будет проверена гипотеза о возможности существования половых различий по скорости переработки информации у респондентов с различной выраженностью данного когнитивного показателя: в группах “быстрых” и “медленных” детей младшего школьного возраста.

МЕТОДИКА

Участники исследования. Выборку исследования составили ученики начальных классов одного общеобразовательного учреждения, участвующие в Российском лонгитюдном исследовании академической успешности школьников [2; 27]. Анализ траекторий развития скорости переработки информации был проведен на данных тех учеников, которые на протяжении обучения в начальной школе выполнили задание трижды (29% участников) или четырежды (71%). Таким образом, выборка составила 224 ученика (46% девочек). Средний возраст участников исследования составил 7.85 года в 1-м классе (стандартное отклонение = 0.34), во 2-м классе — 8.84 года (стандартное отклонение = 0.35), в 3-м классе — 9.78 года (стандартное отклонение = 0.36) и 10.77 года — в 4-м классе (стандартное отклонение = 0.36).

Методика и процедура исследования. На участие детей в исследовании получены письменные информированные согласия их родителей. Анализ результатов осуществлялся на базе обезличенных персональных данных.

На всем протяжении начального обучения каждому участнику исследования предлагалось выполнить задание “Время реакции выбора” в конце каждого учебного года (четырежды на протяжении четырех лет). Выполнение задания проходило в одинаковых для всех участников условиях (кабинет информатики в школе) под наблюдением экспериментатора.

В компьютеризированном тесте “Время реакции выбора” на экране монитора числа 1, 2, 3 и 4 появляются 40 раз в случайном порядке со случайным временным интервалом между 1-й и 3-й секундами [2; 28]. Задача участника состоит в быстром и точном нажатии на клавишу, соответствующую появляющемуся на экране числу. В статистическом анализе используется показатель времени реакции на правильные ответы в секундах.

Статистический анализ. Для оценки индивидуальных траекторий развития и половых различий в траекториях развития использовался метод анализа роста со смешанными эффектами. Модели роста со смешанными эффектами могут быть рассмотрены как многоуровневые регрессионные модели, в которых переменная времени включается в качестве предиктора. Метод анализа роста со смешанными эффектами позволяет оценить среднюю траекторию развития психологического признака для всей выборки и индивидуально-специфические отклонения от средней траектории для каждого человека. Многоуровневые модели роста также позволяют оценить, насколько траектория развития того или иного психологического признака соответствует линейному или, напротив, нелинейному паттерну. Кроме того, в рамках данного анализа становится возможным оценить как эффект предикторов, которые изменяются во времени, так и эффект не изменяющихся во времени переменных.

В качестве зависимой переменной рассматривалось время реакции, значение которого перед включением в статистический анализ было трансформировано в Z-баллы.

Для решения поставленных исследовательских задач было оценено соответствие данным следующих теоретических моделей:

Базовая модель, оценивающая средний предсказанный показатель в каждый момент времени, а также межиндивидуальную дисперсию (различия между индивидами по показателю в каждый момент времени) и внутрииндивидуальную дисперсию (стабильность или нестабильность показателя во времени для конкретного индивида). На основе этой модели становится возможным рассчитать коэффициент интраклассовой корреляции, показывающий, насколько зависимая переменная различается между индивидами или, наоборот, в большей степени различается для одного индивида на протяжении определенного периода времени. Значение коэффициента интраклассовой корреляции может варьироваться от нуля до единицы: чем ближе к единице, тем более стабильна зависимая переменная во времени и в большей мере различается между индивидами.

Модель 1 с включенным предиктором “Класс” (0 = 1-й класс, 1 = 2-й класс, 2 = 3-й класс, 3 = 4-й класс) и его фиксированным коэффициентом, оценивающая среднюю по выборке траекторию изменений времени реакции от 1-го к 4-му классу и предполагающая, что скорость изменения времени реакции статистически значимо не отличается между индивидами.

Модель 2 с включенным квадратом предиктора “Класс” и его фиксированным коэффициентом, оценивающая, лучше ли нелинейный паттерн изменений времени реакции описывает данные по сравнению с линейной траекторией развития.

Модель 3 с изменяющимся коэффициентом предиктора “Класс”, оценивающая, насколько темпы изменений времени реакции отличаются между индивидами.

Модель 4 с добавлением предиктора “Пол” (1 = девочки), оценивающая, насколько значимы различия между мальчиками и девочками во времени реакции. При этом допускается, что темпы изменений времени реакции значимо не различаются у мальчиков и девочек.

Модель 5 с включением переменной взаимодействия между предикторами “Класс” и “Пол”, оценивающая, отличаются ли темпы изменения времени реакции у мальчиков и девочек. Предполагается, что в случае если коэффициент этой переменной значим, то между мальчиками и девочками существуют значимые различия в изменении времени реакции от 1-го к 4-му классу.

Сравнение моделей производилось с помощью теста отношения правдоподобия (*Likelihood ratio test, LR test*). Если этот тест оказывается значимым на уровне 0.05, то можно считать, что модель с большим числом оцениваемых параметров значимо лучше описывает данные.

Для оценки половых различий во времени реакции в группах быстрых (25-й перцентиль) и медленных (75-й перцентиль) по скорости переработки информации детей использовался метод квантильного регрессионного анализа [14]. Квантильная регрессия является частным случаем модели линейной регрессии, предназначенной для моделирования связи изменений предиктора и зависимой переменной в выбранном квантиле. Оценивая связь предиктора с зависимой переменной в одном выбранном или нескольких квантилях, становится возможным учесть как отклонения от нормального распределения в зависимой переменной, так и оценить различия в связях на разных концах распределения.

Таблица 1. Описательные статистики для скорости переработки информации в младшем школьном возрасте

Класс	Среднее значение	Стандартное отклонение	Минимум	Максимум
1-й	1.00	0.24	0.33	1.80
2-й	0.85	0.18	0.52	1.65
3-й	0.80	0.23	0.48	1.83
4-й	0.73	0.22	0.43	2.31

РЕЗУЛЬТАТЫ

В табл. 1 представлены **описательные статистики** по показателю скорости переработки информации, измеренной временем реакции в секундах.

Согласно табл. 1, среднее значение времени реакции последовательно снижается от 1-го к 4-му году обучения, что свидетельствует об увеличении скорости переработки информации в ходе младшего школьного возраста. При этом дисперсия этого показателя увеличивается за счет максимума (1.80 на первом году обучения, 2.31 — в 4-м классе).

Траектории изменения скорости переработки информации в ходе младшего школьного возраста

В табл. 2 отражены результаты оценки моделей роста со смешанными эффектами. Представлены показатели соответствия четырех тестируемых моделей, оценивающих траекторию развития скорости переработки информации, эмпирическим данным.

На основе базовой модели рассчитан коэффициент интраклассовой корреляции, равный 0.25, что говорит о том, что показатель скорости переработки информации нестабилен во времени и в меньшей мере различается между индивидами.

Согласно табл. 2, модель роста скорости переработки информации с нелинейным характером изменений лучше описывает эмпирические данные в сравнении с моделью линейного роста. Полученные результаты свидетельствуют о том, что для времени реакции характерно значительное снижение от первого ко второму году обучения, но затем снижение существенно замедляется, о чем свидетельствует положительное значение коэффициента переменной “Класс²”.

Несмотря на существование статистически значимых различий между индивидами по показателю скорости переработки информации в каждый момент времени, темпы и характер изменений этого когнитивного показателя не различаются между индивидами. Так, согласно табл. 2, модель с изменяющимся коэффициентом переменной “Класс” (Модель 3), оценивающая, насколько темпы изменений времени реакции отличаются между индивидами,

Таблица 2. Результаты анализа моделей роста со смешанными эффектами для скорости переработки информации на протяжении младшего школьного возраста

	Базовая модель	Модель 1	Модель 2	Модель 3
Интерцепт	–0.46*** (0.04)	–0.01 (0.05)	0.07 (0.05)	0.07 (0.06)
Класс (1-й класс = 0)		–0.29*** (0.02)	–0.52*** (0.07)	–0.52*** (0.07)
Класс ²			0.08*** (0.02)	0.08*** (0.02)
Дисперсия межиндивидуальная		0.20	0.20	0.29
Дисперсия внутрииндивидуальная		0.40	0.39	0.36
Дисперсия переменной “Время”				0.02
Ковариация (отклонения интерцепта и коэффициента переменной “Время”)				–0.04
LR test	–1004.99	–911.27	–905.24	–902.98
LR test (Δdf)		187.44*** (1)	12.05*** (1)	4.53 (2)

Примечание. *** $p < 0.001$.

описывает данные не точнее, чем модель с фиксированным коэффициентом (Модель 1).

Таким образом, модель с нелинейным паттерном изменений и неизменяющимся коэффициентом переменной “Класс” (Модель 2) была выбрана как оптимально соответствующая эмпирическим данным. На рис. 1 отображены индивидуальные траектории изменения скорости переработки информации с 1-го по 4-й год обучения.

На графике рис. 1 видно, что наиболее интенсивно время реакции сокращается в период с 1-го по 2-й класс обучения в школе, а затем темпы снижения замедляются.

Показано, таким образом, что в ходе младшего школьного возраста происходит снижение значения времени реакции и, соответственно, скорость

переработки информации возрастает. При этом на протяжении младшего школьного возраста траектория снижения времени реакции характеризуется нелинейным характером изменений.

Половые различия в траекториях изменения скорости переработки информации в младшем школьном возрасте

В табл. 3 представлены показатели соответствия двух тестируемых моделей с включением переменной “Пол”, оценивающих, есть ли половые различия в траекториях развития скорости переработки информации на протяжении всего периода начального обучения.

Результаты анализа модели, оценивающей, насколько значимы различия между мальчиками

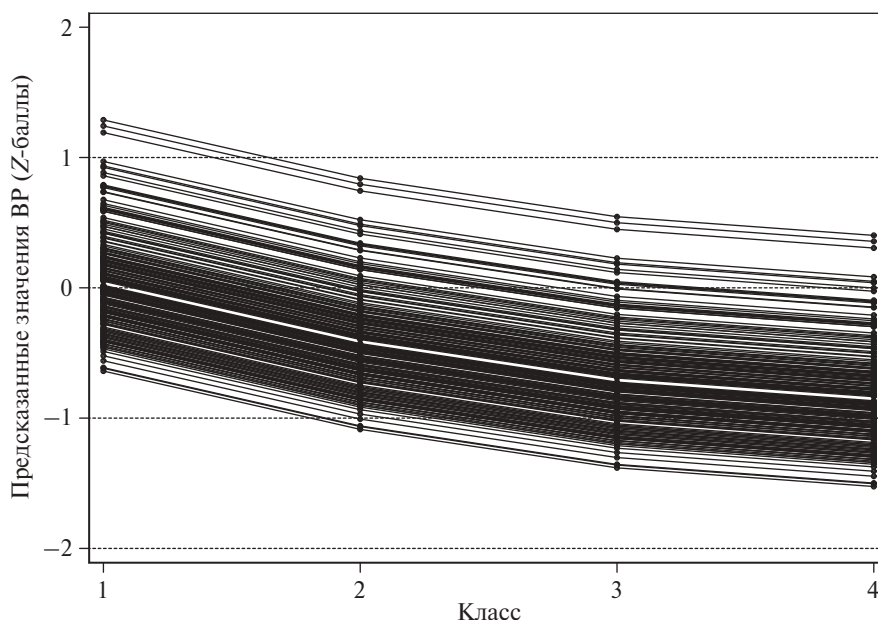
**Рис. 1.** Индивидуальные траектории изменения времени реакции от 1-го к 4-му классу

Таблица 3. Результаты моделей роста со смешанными эффектами для скорости переработки информации с переменными “Пол” и переменной взаимодействия

	Модель 4	Модель 5
Интерцепт	–0.01 (0.06)	–0.06 (0.07)
Класс (1-й класс = 0)	–0.52*** (0.07)	–0.49*** (0.07)
Класс ²	0.08*** (0.02)	0.07** (0.02)
Пол (1 = девочки)	0.16* (0.07)	0.26** (0.10)
Пол*Класс		–0.06 (0.04)
Дисперсия межиндивидуальная	0.19	0.19
Дисперсия внутрииндивидуальная	0.39	0.39
LR test	–902.87	–901.52
LR test (Δdf)	4.73* (1)	2.71 (1)

Примечание. *** $p < 0.001$, ** $p < 0.01$, * $p < 0.05$.

и девочками во времени реакции (Модель 4), свидетельствуют о более высокой скорости переработки информации у мальчиков по сравнению с девочками. При этом *темпы изменения* скорости переработки информации на протяжении младшего школьного возраста у мальчиков и девочек не различаются, что подтверждается статистически незначимой переменной взаимодействия между предикторами “Класс” и “Пол” (Модель 5). Эти результаты анализа половых различий на протяжении начального школьного обучения в скорости переработки информации отражены на графиках рис. 2 (средние траектории развития) и рис. 3 (индивидуальные траектории).

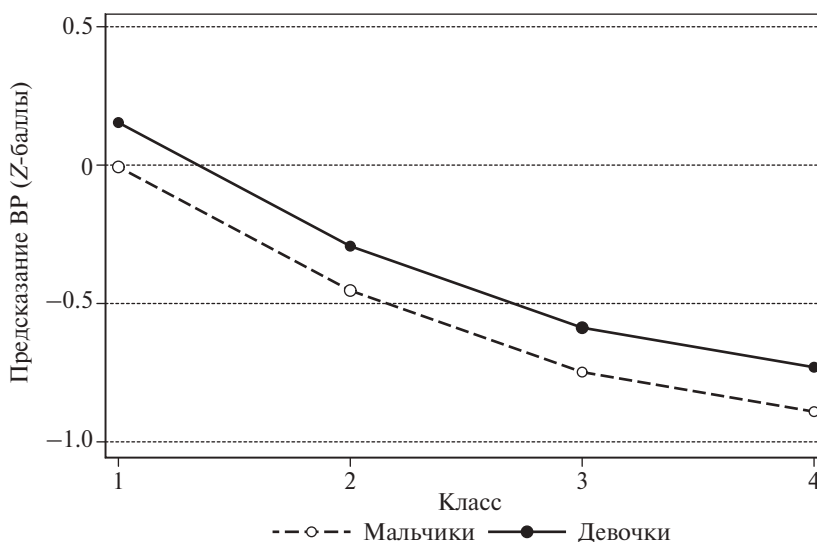
На рис. 2 средняя траектория развития скорости переработки у мальчиков представлена пунктирной линией, у девочек — сплошной. Траектории развития демонстрируют различия между мальчиками и девочками в каждый момент измерения

на всем протяжении школьного возраста: мальчики в среднем быстрее обрабатывают информацию (имеют более низкие показатели времени реакции), чем девочки.

На рис. 3 представлены индивидуальные траектории изменения времени реакции в младшем школьном возрасте в группах мальчиков и девочек.

Графики рис. 3 демонстрируют схожесть индивидуальных траекторий развития скорости переработки между группами мальчиков и девочек младшего школьного возраста.

Показано, таким образом, что мальчики опережают девочек по средним значениям скорости переработки информации на каждом из четырех лет начального обучения в школе. При этом, однако, темп и характер изменения скорости переработки информации статистически значимо не различаются у мальчиков и девочек младшего школьного возраста.

**Рис. 2.** Средние траектории изменения времени реакции у мальчиков и девочек от 1-го к 4-му классу

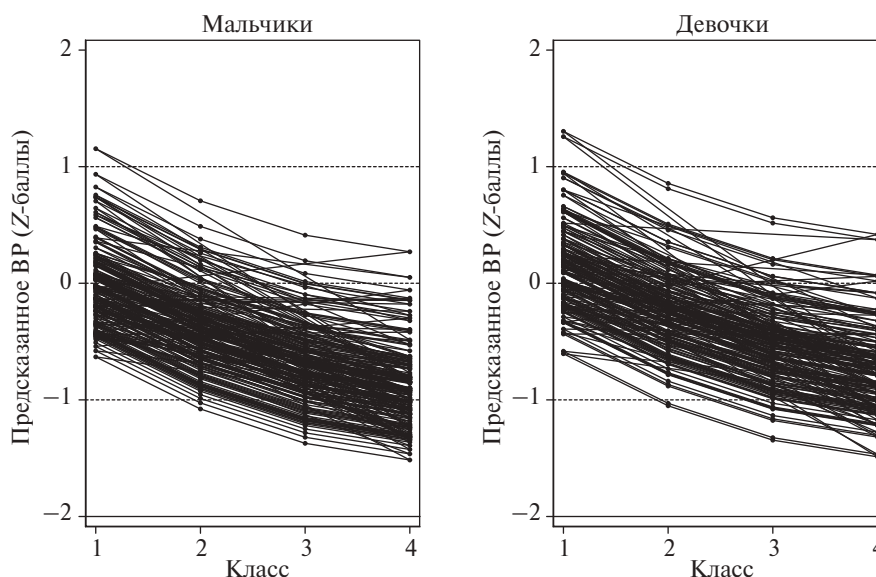


Рис. 3. Индивидуальные траектории изменения времени реакции от 1-го к 4-му классу у мальчиков и девочек младшего школьного возраста

Половые различия в скорости переработки информации в группах младших школьников с разным временем реакции

Для изучения половых различий в скорости переработки информации в группах младших школьников с разным временем реакции — быстрых (25-й процентиль) и медленных (75-й процентиль) — использовался квантильный регрессионный анализ, позволяющий оценить различия на противоположных концах распределения переменной.

В табл. 4 представлены результаты квантильной регрессии для скорости переработки информации.

Сравнение коэффициентов переменной “Пол” для разных групп младших школьников, представленных в табл. 4, указывает на отсутствие половых различий среди “быстрых” и “медленных” школьников. Несмотря на более высокое значение коэффициента переменной “Пол” в группе “медленных” младших школьников, наблюдается существенное перекрытие 95%-х доверительных интервалов. В частности, разница между коэффициентом переменной “Пол” в 25-м и 75-м процентилях составляет 0.13 ($p = 0.076$; 95%-е доверительные

интервалы: $-0.01, 0.28$). Этот результат представлен на рис. 4, где изображен график изменения переменной “Пол” в группах 25-го, 50-го и 75-го процентилях.

Следовательно, в группах “медленных” и “быстрых” младших школьников не обнаружено половых различий в скорости переработки информации, как и на всей выборке детей младшего школьного возраста.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В настоящей работе впервые на российской выборке младших школьников методом анализа роста со смешанными эффектами была проанализирована средняя траектория развития скорости переработки информации, а также оценены индивидуально-специфические отклонения от средней траектории для каждого участника исследования. В результате анализа показано, что в ходе младшего школьного возраста происходит снижение значения времени реакции, что соответствует росту скорости переработки информации. При этом траектория снижения времени реакции характеризуется нелинейным характером изменений: наиболее

Таблица 4. Результаты квантильной регрессии для скорости переработки информации в младшем школьном возрасте

Предикторы	25-й процентиль	50-й процентиль	75-й процентиль
Интерцепт	-0.65^{***} (0.06)	-0.22^{***} (0.04)	0.32^{***} (0.05)
Класс	-0.24^{***} (0.02)	-0.30^{***} (0.02)	-0.38^{***} (0.02)
Пол	0.13^{**} (0.04)	0.16^{**} (0.05)	0.26^{***} (0.06)
Псевдо R^2	0.11	0.13	0.13

Примечание. $*** p < 0.001$, $** p < 0.01$.

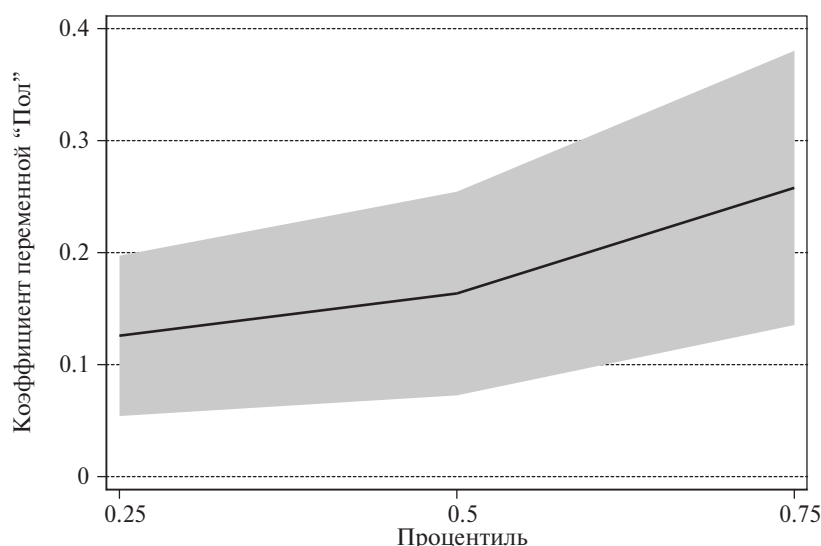


Рис. 4. Коэффициент переменной "Пол" для групп с разным временем реакции с 95%-м доверительным интервалом

интенсивное снижение наблюдается с 1-го по 2-й год обучения в начальной школе (в возрасте с 7.85 до 8.84 года), далее до 4-го года обучения (до 10.77 года) темп снижения замедляется, но остается статистически достоверным. Эти результаты точно соответствуют данным исследования траектории изменения времени реакции, полученным на выборке испанских детей в возрасте 7–12 лет, косвенно подтверждая культурную универсальность развития этого когнитивного показателя [26]. Полученные в настоящем исследовании данные об интенсивном росте скоростных характеристик между семью и девятью годами согласуются с данными нейрофизиологических исследований об увеличении длины и диаметра аксонов и продолжении процесса миелинизации, повышающие скорость и эффективность проведения нервных импульсов [5]. При этом важно подчеркнуть, что при существовании значимых различий в показателях времени реакции на каждом из четырех измерений траектории развития на всем протяжении младшего школьного возраста статистически не различаются ни по темпу, ни по характеру развития. Иными словами, в младшем школьном возрасте динамика скорости переработки информации носит ярко выраженный групповой характер возрастных изменений.

Половые различия по средним значениям каждого года обучения и в траекториях изменения скорости переработки информации у российских детей младшего школьного возраста оценивались методом анализа роста со смешанными эффектами через включение в теоретическую модель переменной взаимодействия между предикторами пола и года обучения. В результате анализа показано, что среднее значение времени реакции

у мальчиков ниже, чем у девочек, на каждом году начального обучения в школе, с 1-го по 4-й класс. Иными словами, мальчики в среднем быстрее, чем девочки, обрабатывают поступающую к ним информацию. Эти различия являются стабильными на всем протяжении младшего школьного возраста. При этом важно подчеркнуть, что в младшем школьном возрасте развитие скорости переработки информации и у мальчиков, и у девочек происходит одинаково.

Данные о преимуществе мужчин в средних значениях скорости переработки информации в различных возрастных периодах часто встречаются в исследованиях когнитивного развития методом поперечных срезов [12; 20]. На выборке российских детей младшего школьного возраста получены слабые, но статистически значимые различия по времени реакции выбора между девочками и мальчиками в пользу последних [4], а на выборке испанских детей младшего школьного возраста зафиксировано выраженное преимущество мальчиков [26]. Однако полученные в настоящем исследовании результаты о преимуществе мальчиков по тесту времени реакции выбора не согласуются с данными метаанализа, в котором утверждается о преимуществе мужчин только по тесту простой времени реакции [20]. Это расхождение в результатах двух исследований можно объяснить различиями в возрастных характеристиках респондентов: от 7.85 до 10.77 года в настоящей работе и от 20 до 80 лет в метаанализе 2011 г.

При этом исследования половых различий в траекториях развития скорости переработки информации на протяжении младшего школьного возраста практически отсутствуют. Исключением

является лонгитюдное исследование младших школьников, в котором показано, что для девочек характерен более интенсивный рост скорости переработки информации по сравнению с мальчиками, за счет чего к 11 годам исчезают половые различия в показателях времени реакции [26]. В настоящем исследовании, напротив, не выявлено половых различий в траекториях развития скорости переработки информации: темп и характер изменений являются одинаковыми и у мальчиков, и у девочек. Эти расхождения в результатах с участием российских и испанских детей младших школьников связано, скорее всего, с различиями в дизайне исследования и сборе данных.

Тестирование гипотезы о возможности существования половых различий в скорости переработки информации в группах “медленных” и “быстрых” детей младшего школьного возраста осуществлялось методом квантильного регрессионного анализа. В ходе анализа показано, что на всем протяжении младшего школьного возраста российские девочки и мальчики не различаются по скорости переработки информации вне зависимости от того, к какой группе — “быстрой” или “медленной” — они относятся. Этот полученный в данном исследовании результат не подтверждает идею о существовании половых различий в когнитивном функционировании в крайних группах по степени выраженности скорости переработки информации.

В целом результаты настоящего лонгитюдного исследования позволили оценить среднюю траекторию развития скорости переработки информации на протяжении младшего школьного возраста, которая характеризуется нелинейным характером изменений с наиболее интенсивным ростом с 1-го по 2-й год обучения в школе и у мальчиков, и у девочек. Эта траектория развития носит ярко выраженный характер возрастных изменений на протяжении начального обучения в школе. В данном исследовании наряду со средней траекторией описаны индивидуальные траектории развития скорости переработки информации для каждого ребенка, которые статистически не различаются ни по темпу, ни по характеру развития на протяжении младшего школьного возраста.

Дальнейшее направление изучения данной проблематики должно быть связано с пониманием механизмов развития скорости переработки информации на всем протяжении школьного возраста в междисциплинарных исследовательских проектах с включением психофизиологических и нейробиологических переменных.

ВЫВОДЫ

Несмотря на статистически значимые различия между детьми младшего школьного возраста по показателю скорости переработки информации, обнаруженные на каждом году начального обучения в школе, индивидуальные траектории развития этого когнитивного показателя в ходе младшего школьного возраста значимо не различаются, а траектории развития скорости переработки информации носят ярко выраженный характер возрастных изменений.

На протяжении младшего школьного возраста происходит рост скорости переработки информации. При этом траектория развития скорости переработки информации характеризуется нелинейным характером изменений: наиболее интенсивный рост наблюдается с 1-го по 2-й год обучения в начальной школе, далее до 4-го класса темп роста замедляется, но остается статистически достоверным.

Стабильные половые различия по показателю скорости переработки информации наблюдаются на каждом году начального обучения в школе: в среднем мальчики оказываются быстрее девочек. Но при этом темп и характер изменения скорости переработки информации статистически значимо не различаются у мальчиков и девочек младшего школьного возраста.

Не обнаружено половых различий в скорости переработки информации в группах “быстрых” и “медленных” детей на всем протяжении младшего школьного возраста.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Михейкина О.В.* Эпидемиология умственной отсталости (обзор литературы) // Обозрение психиатрии и медицинской психологии. 2012. № 3. С. 24–33.
2. *Тихомирова Т.Н., Малых С.Б.* Когнитивные основы индивидуальных различий в успешности обучения. М.; СПб.: Нестор-История, 2017.
3. *Тихомирова Т.Н., Малых С.Б.* Чувство числа и успешность в обучении математике в младшем школьном возрасте: перекрестно-лонгитюдный анализ // Психологический журнал. 2018. Т. 39. № 6. С. 47–58.
4. *Тихомирова Т.Н., Модяев А.Д., Леонова Н.М., Малых С.Б.* Факторы успешности в обучении на начальной ступени общего образования: половые различия // Психологический журнал. 2015. Т. 36. № 5. С. 43–54.
5. *Фарбер Д.А., Мачинская Р.И., Курганский А.В., Петренко Н.Е.* Функциональная организация коры больших полушарий при подготовке к опознанию

- неполных изображений у детей 7–8 лет и взрослых // Физиология человека. 2014. № 40 (5). С. 5–13.
6. *Beaudreau S.A., O'Hara R.* Late-life anxiety and cognitive impairment: A review // *The American Journal of Geriatric Psychiatry*. 2008. V. 16 (10). P. 790–803.
 7. *Brown L.A., Brockmole J.R., Gow A.J., Deary I.J.* Processing speed and visuospatial executive function predict visual working memory ability in older adults // *Experimental Aging Research*. 2012. V. 38 (1). P. 1–19.
 8. *Camarata S., Woodcock R.* Sex differences in processing speed: Developmental effects in males and females // *Intelligence*. 2006. V. 34 (3). P. 231–252.
 9. *Chen T., Li D.* The roles of working memory updating and processing speed in mediating age-related differences in fluid intelligence // *Aging, Neuropsychology, and Cognition*. 2007. V. 14 (6). P. 631–646.
 10. *Coyle T.R., Pillow D.R., Snyder A.C., Kochunov P.* Processing speed mediates the development of general intelligence (g) in adolescence // *Psychol. Sci*. 2011. V. 22 (10). P. 1265–1269.
 11. *Deary I.J., Johnson W., Starr J.* Are processing speed tasks biomarkers of cognitive aging? // *Psychology and Aging*. 2010. V. 25 (1). P. 219–228.
 12. *Der G., Deary I.J.* Age and sex differences in reaction time in adulthood: Results from the United Kingdom Health and Lifestyle Survey // *Psychology and Aging*. 2006. V. 21 (1). P. 62–73.
 13. *Halpern D.F., Beninger A.S., Straight C.A.* Sex differences in intelligence // *The Cambridge Handbook of Intelligence*. 2011. P. 253–272.
 14. *Hao L., Naiman D.Q.* Quantile regression. Sage, 2007.
 15. *Johnson W., Carothers A., Deary I.J.* Sex differences in variability in general intelligence: A new look at the old question // *Perspectives on Psychological Science*. 2008. V. 3 (6). P. 518–531.
 16. *Kail R.* Processing time declines exponentially during childhood and adolescence // *Developmental Psychology*. 1991. V. 27 (2). P. 259–266.
 17. *Kail R.V., Ferrer E.* Processing speed in childhood and adolescence: Longitudinal models for examining developmental change // *Child development*. 2007. V. 78 (6). P. 1760–1770.
 18. *Kerchner G.A., Racine C.A., Hale S., Wilhelm R., Laluz V., Miller B.L., Kramer J.H.* Cognitive processing speed in older adults: Relationship with white matter integrity // *PloS one*. 2012. V. 7 (11). P. e50425.
 19. *McArdle J.J., Ferrer-Caja E., Hamagami F., Woodcock R.W.* Comparative longitudinal structural analyses of the growth and decline of multiple intellectual abilities over the life span // *Developmental psychology*. 2002. V. 38 (1). P. 115–142.
 20. *Roivainen E.* Gender differences in processing speed: A review of recent research // *Learning and Individual differences*. 2011. V. 21 (2). P. 145–149.
 21. *Rose S.A., Feldman J.F., Jankowski J.J.* Modeling a cascade of effects: The role of speed and executive functioning in preterm/full-term differences in academic achievement // *Developmental Science*. 2011. V. 14 (5). P. 1161–1175.
 22. *Rushton J.P., Jensen A.R.* Thirty years of research on race differences in cognitive ability // *Psychology, Public Policy, and Law*. 2005. V. 11 (2). P. 235–294.
 23. *Salthouse T.* A theory of cognitive aging. Elsevier, 2000.
 24. *Sheppard L.D., Vernon P.A.* Intelligence and speed of information-processing: A review of 50 years of research // *Personality and Individual Differences*. 2008. V. 44 (3). P. 535–551.
 25. *Silverman I.W.* Sex differences in simple visual reaction time: A historical meta-analysis // *Sex roles*. 2006. V. 54 (1–2). P. 57–68.
 26. *Suades-González E., Forns J., García-Esteban R., López-Vicente M., Esnaola M., Álvarez-Pedrerol M., Sunyer J. et al.* A longitudinal study on attention development in primary school children with and without teacher-reported symptoms of ADHD // *Frontiers in Psychology*. 2017. V. 8. P. 655.
 27. *Tikhomirova T., Kuzmina Y., Lysenkova I., Malykh S.* Development of approximate number sense across the elementary school years: a Cross-cultural longitudinal study // *Developmental Science*. 2019. V. 22 (4). P. e12823.
 28. *Tosto M.G., Tikhomirova T., Galajinsky E., Akimova K., Kovas Y.* Development and validation of a mathematics-number sense web-based test battery // *Procedia — Social and Behavioral Sciences*. 2013. V. 86. P. 423–428.
 29. *Zimprich D., Martin M.* Can longitudinal changes in processing speed explain longitudinal age changes in fluid intelligence? // *Psychology and Aging*. 2002. V. 17 (4). P. 690–695.

TRAJECTORIES OF PROCESSING SPEED DEVELOPMENT ACROSS PRIMARY SCHOOL YEARS: LONGITUDINAL STUDY²

T. N. Tikhomirova^{1,*}, Y. V. Kuzmina^{2,**}, S. B. Malykh^{1,***}

¹*Federal State Budget Educational Institution of Higher Education "M.V. Lomonosov Moscow State University";
125009, Moscow, Mokhovaya str., 9/4, Russia.*

²*Federal State Budget Scientific Institution "Psychological Institute of Russian Academy of Education";
125009, Moscow, Mokhovaya str., 9/4, Russia.*

^{*}*Corresponding member of Russian Academy of Education, ScD (Psychology),
Professor, Leading Researcher. E-mail: tikho@mail.ru*

^{**}*Researcher. E-mail: papushka@mail.ru*

^{***}*Member of Russian Academy of Education, ScD (Psychology),
Professor, Director of Laboratory. E-mail: malykhsb@mail.ru*

Received 14.08.2019

Abstract. The results of a four-year longitudinal study of the development of processing speed throughout primary school years are presented. The task of the study is to analyze the average path of development of the processing speed at primary school age, to assess individual-specific deviations from the average path for each participant in the study, as well as to identify gender differences in average values, the path of development of the speed of information processing and groups of children with different severity reaction times — slow and fast. The sample consisted of 224 schoolchildren (46% of girls) of grades 1–4 of the educational institution participating in the Russian longitudinal study of the academic success of schoolchildren. The average age of schoolchildren during the first measurement (first grade) was 7.85 years (standard deviation = 0.34) and 10.77 years (standard deviation = 0.36) during the fourth measurement (fourth grade). Participants completed the computerized task, "The Response Time of Choice," at the end of each school year throughout the entire period of primary education. To study the developmental trajectory of the processing speed, we used the growth analysis method with mixed effects, which allows us to estimate the average trajectory for the entire sample and individually-specific deviations from the average trajectory for each person. It is shown that across primary school years, the reaction time decreases, and the speed of processing, respectively, increases. At the same time, the trajectory of the reaction time changes nonlinearly: the most intense decline is observed from the first to second year of education in elementary school, then — until the fourth grade, the rate of decline slows down. Boys are ahead of girls in average processing speeds for each year of primary school education. However, the pace and nature of changes in the speed of processing are not statistically significantly different for boys and girls during across primary school years. To analyze gender differences in the processing speed in groups of schoolchildren with different reaction times, a quantile regression analysis was used to evaluate differences at opposite ends of the distribution of the variable. It is shown that girls and boys do not differ in the speed of information processing in groups of fast and slow primary school children.

Keywords: processing speed, developmental trajectories, primary school years, mixed effect growth models, gender differences, quantile regression.

REFERENCES

1. Mikhajkina O.V. Epidemiologiya umstvennoj otstalosti (obzor literatury). Obozrenie psikiatrii i medicinskoj psichologii. 2012. № 3. P. 24–33. (in Russian)
2. Tikhomirova T.N., Malykh S.B. Kognitivnye osnovy individual'nykh razlichij v uspekhakh obucheniya. Moscow; Saint Petersburg: Nestor-Istoriya, 2017. (in Russian)
3. Tikhomirova T.N., Malykh S.B. Chuvstvo chisla i uspehnost' v obuchenii matematike v mladshem shkol'nom vozraste: perekrestno-longitudynnyj analiz. Psikhologicheskii zhurnal. 2018. V. 39. № 6. P. 47–58. (in Russian)
4. Tikhomirova T.N., Modyaev A.D., Leonova N.M., Malykh S.B. Faktory uspehnosti v obuchenii na nachal'noj stupeni obshhego obrazovaniya: polovye razlichiya. Psikhologicheskii zhurnal. 2015. V. 36. № 5. P. 43–54. (in Russian)
5. Farber D.A., Machinskaya R.I., Kurganskij A.V., Petrenko N.E. Funkcional'naya organizatsiya kory bol'shih polusharij pri podgotovke k opoznaniyu nepolnykh

² Study was supported by Russian Science Foundation, project № 17-78-30028.

- izobrazhenij u detej 7–8 let i vzroslyh. Fiziologiya cheloveka. 2014. № 40 (5). P. 5–13. (in Russian)
6. *Beaudreau S.A., O'Hara R.* Late-life anxiety and cognitive impairment: a review. *The American Journal of Geriatric Psychiatry*. 2008. V. 16 (10). P. 790–803.
 7. *Brown L.A., Brockmole J.R., Gow A.J., Deary I.J.* Processing speed and visuospatial executive function predict visual working memory ability in older adults. *Experimental aging research*. 2012. V. 38 (1). P. 1–19.
 8. *Camarata S., Woodcock R.* Sex differences in processing speed: Developmental effects in males and females. *Intelligence*. 2006. V. 34 (3). P. 231–252.
 9. *Chen T., Li D.* The roles of working memory updating and processing speed in mediating age-related differences in fluid intelligence. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*. 2007. V. 14 (6). P. 631–646.
 10. *Coyle T.R., Pillow D.R., Snyder A.C., Kochunov P.* Processing speed mediates the development of general intelligence (g) in adolescence. *Psychol. Sci*. 2011. V. 22 (10). P. 1265–1269.
 11. *Deary I.J., Johnson W., Starr J.* Are processing speed tasks biomarkers of cognitive aging? *Psychology and Aging*. 2010. V. 25 (1). P. 219–228.
 12. *Der G., Deary I.J.* Age and sex differences in reaction time in adulthood: results from the United Kingdom Health and Lifestyle Survey. *Psychology and aging*. 2006. V. 21 (1). P. 62–73.
 13. *Halpern D.F., Beninger A.S., Straight C.A.* Sex differences in intelligence. *The Cambridge handbook of intelligence*. 2011. P. 253–272.
 14. *Hao L., Naiman D.Q.* Quantile regression. Sage, 2007.
 15. *Johnson W., Carothers A., Deary I.J.* Sex differences in variability in general intelligence: A new look at the old question. *Perspectives on Psychological Science*. 2008. V. 3 (6). P. 518–531.
 16. *Kail R.* Processing time declines exponentially during childhood and adolescence. *Developmental Psychology*. 1991. V. 27 (2). P. 259–266.
 17. *Kail R.V., Ferrer E.* Processing speed in childhood and adolescence: Longitudinal models for examining developmental change. *Child development*. 2007. V. 78 (6). P. 1760–1770.
 18. *Kerchner G.A., Racine C.A., Hale S., Wilhelm R., Laluz V., Miller B.L., Kramer J.H.* Cognitive processing speed in older adults: relationship with white matter integrity. *PLoS one*. 2012. V.7 (11). P. e50425.
 19. *McArdle J.J., Ferrer-Caja E., Hamagami F., Woodcock R.W.* Comparative longitudinal structural analyses of the growth and decline of multiple intellectual abilities over the life span. *Developmental psychology*. 2002. V. 38 (1). P. 115–142.
 20. *Roivainen E.* Gender differences in processing speed: A review of recent research. *Learning and Individual differences*. 2011. V. 21 (2). P. 145–149.
 21. *Rose S.A., Feldman J.F., Jankowski J.J.* Modeling a cascade of effects: The role of speed and executive functioning in preterm/full-term differences in academic achievement. *Developmental science*. 2011. V. 14 (5). P. 1161–1175.
 22. *Rushton J.P., Jensen A.R.* Thirty years of research on race differences in cognitive ability. *Psychology, public policy, and law*. 2005. V. 11 (2). P. 235–294.
 23. *Salthouse T.* A theory of cognitive aging. Elsevier, 2000.
 24. *Sheppard L.D., Vernon P.A.* Intelligence and speed of information-processing: A review of 50 years of research. *Personality and Individual Differences*. 2008. V. 44 (3). P. 535–551.
 25. *Silverman I.W.* Sex differences in simple visual reaction time: A historical meta-analysis. *Sex roles*. 2006. V. 54 (1–2). P. 57–68.
 26. *Suades-González E., Forns J., García-Esteban R., López-Vicente M., Esnaola M., Álvarez-Pedrerol M., Sunyer J. et al.* A longitudinal study on attention development in primary school children with and without teacher-reported symptoms of ADHD. *Frontiers in psychology*. 2017. V. 8. P. 655.
 27. *Tikhomirova T., Kuzmina Y., Lysenkova I., Malykh S.* Development of Approximate Number Sense across the Elementary School Years: a Cross-cultural Longitudinal Study. *Developmental Science*. 2019. V. 22 (4). p. e12823.
 28. *Tosto M.G., Tikhomirova T., Galajinsky E., Akimova K., Kovas Y.* Development and Validation of a Mathematics-number sense Web-based Test Battery. *Procedia — Social and Behavioral Sciences*. 2013. V. 86. P. 423–428.
 29. *Zimprich D., Martin M.* Can longitudinal changes in processing speed explain longitudinal age changes in fluid intelligence? *Psychology and aging*. 2002. V. 17 (4). P. 690–695.