

Семенова Е.Ю.¹, Линд К.В.¹, Логвиненко Т.И.², Григоренко Е.Л.¹
Использование технологий виртуальной реальности как метода
оценки исполнительных функций билингвов в экологически валидных
условиях

*Semenova E.Yu.¹, Lind K.V.¹, Logvinenko T.I.², Grigorenko E.L.¹ Using virtual re-
ality technology as a method for assessing executive functions of bilinguals in eco-
logical settings*

¹ Научно-технологический университет «Сириус», пгт. Сириус, Федеральная территория
«Сириус», Российская Федерация

² Мюнхенский университет имени Людвига и Максимилиана, Мюнхен, Германия

Согласно гипотезе билингвального преимущества опыт использования двух и более языков приводит к более эффективной работе исполнительных функций. Однако систематические обзоры и мета-анализы последних лет указывают на неоднородность существующих результатов. Считается, что одной из причин подобной неоднородности являются задания, используемые для измерения исполнительных функций. В данной работе описывается опыт применения технологии виртуальной реальности (VR) как инструмента, позволяющего измерять исполнительные функции в условиях, приближенных к экологически валидным. Выборка исследования состояла из 114 билингвов (24,6% – мужчины) в возрасте от 18 до 33 лет ($M = 20,40$; $SD = 2,94$), говорящих на адыгейском ($N = 48$) и татарском языках ($N = 66$) в дополнение к русскому. Компоненты исполнительных функций, а именно: когнитивная гибкость, рабочая память и планирование, измерялись с помощью тестовой системы «Ice Cream» (Nesplora) в виртуальной реальности. Для оценки билингвального языкового опыта был применен метод языковой энтропии. Данное исследование является одним из первых, демонстрирующих возможность применения VR-инструментов для оценки исполнительных функций билингвов в условиях, приближенных к естественным. Ввиду новизны инструмента необходимо продолжить исследования с его применением для определения его валидности и надежности.

Ключевые слова: билингвизм, исполнительные функции, VR-технологии, языковая энтропия, когнитивная гибкость, рабочая память, планирование

Введение

Исполнительные функции (ИФ, также известные как регуляторные функции, функции когнитивного контроля) – это система высокоуровневых когнитивных процессов, позволяющих человеку контролировать свое поведение согласно заданным целям и изменяющимся условиям среды. Согласно модели ИФ Мияке и коллег [Miyake et al., 2012] к ним относят компоненты когнитивной гибкости, рабочей памяти и ингибиторного контроля. В дополнение Даймонд [Diamond, 2013] выделяет ИФ более высокого порядка, а именно: планирование, логическое рассуждение и навыки решения проблем. ИФ играют важную роль в повседневной жизни и академической деятельности, так как они позволяют концентрировать внимание на конкретных задачах, успешно решать проблемы и планировать будущее [Ferguson et al., 2021; Poncet et al., 2017; Spiegel et al., 2021]. Например, было показано, что в школьном возрасте именно ИФ имеют даже большее значение для академической успеваемости, чем коэффициент общего интеллекта [Blair, Razza, 2007]. Утверждается также, что в пожилом возрасте более эффективные ИФ способствуют задержке симптомов деменции [Ayenigbara, 2022; Guarino et al., 2019]. Среди факторов, способствующих повышению эффективности работы ИФ, выделяют билингвальный опыт, то есть владение двумя или несколькими языками [Bialystok, 2001; 2007; Degirmenci et al., 2022].

Однако на протяжении десятков лет ведутся оживленные дебаты исследователей о влиянии билингвизма на ИФ. Было многократно показано, что билингвы успешнее монолингвов справляются с заданиями на ИФ [например, Martin-Rhee, Bialystok, 2008; Poarch, van Hell, 2012; Wiseheart et al., 2016]. Подобное превосходство известно как гипотеза билингвального преимущества [Bialystok, 2001; 2007]. Предполагается, что переключение между языками способствует более эффективной работе процессов, связанных с когнитивной гибкостью и мониторингом конфликтов [Alrwaita et al., 2023], а необходимость подавления одного языка при коммуникации на втором языке повышает эффективность ингибиторного контроля [Blumenfeld, Marian, 2011; Hartanto, Yang, 2019]. Однако систематические обзоры и мета-анализы последних лет подвергли сомнению существование подобного преимущества [Giovannoli et al., 2020; Grundy et al., 2020; Gunnerud et al., 2020; Lehtonen et al., 2018; Lowe et al., 2021]. Отмечается, что в основе противоречивых результатов могут лежать и серьезные методологические различия. В связи с этим ученые предлагают пересмотреть, во-первых, подходы к количественной оценке билингвального опыта [de Bruin, 2019; Luk, 2023; Paap et al., 2015], и во-вторых, подходы к измерению ИФ [Bialystok, Craik, 2022; Kałamała et al., 2020;

Паар, Sawi, 2016]. В данном эксплораторном исследовании мы рассматриваем вопрос измерения ИФ в исследованиях билингвизма.

Целью данной статьи является изучение взаимосвязи между билингвальным опытом и ИФ. Новизной исследования является применение тестовой системы «Ice Cream» в очках виртуальной реальности (VR) в качестве инструмента оценки ИФ в условиях, приближенных к экологически валидным. В статье мы описываем опыт применения данной системы в контексте современных дебатов о подходах к измерению ИФ.

Измерение исполнительных функций

ИФ традиционно оцениваются с помощью лабораторных заданий, нейропсихологических тестов или самоотчетов [Chan et al., 2008]. В контексте изучения ИФ билингвов, чаще всего применяются лабораторные задания, оценивающие поведенческие реакции в режиме реального времени. Например, для измерения ингибиторного контроля используются задачи Фланкера (Flanker), Струпа (Stroop), Саймона (Simon) [Friedman, Robbins, 2022; Gullifer et al., 2023]. Для оценки когнитивной гибкости применяют задачу на переключение «Цвет – форма» (Color-shape switching task) [Prior, MacWhinney, 2010; van den Berg et al., 2022]. Рабочую память принято измерять с помощью задачи «n шагов назад» (n-back) и ее вариаций [Soveri et al., 2017]. Однако несмотря на широкое применение таких задач, можно выделить, как минимум, две проблемы, связанные с их использованием.

Во-первых, исследователи указывают на низкую корреляцию между задачами, измеряющими один и тот же компонент ИФ. Например, в работе Шиллинг и коллег [Shilling et al., 2002] было показано отсутствие корреляции между двумя версиями задачи Струпа, которые отличались только используемыми стимулами. Аналогично, Солтхаус [Salthouse, 2010] продемонстрировал отсутствие корреляции между двумя версиями задачи Фланкера (со стрелками и буквами в качестве стимулов). Это может говорить о том, что задействуются не общие, а специфические механизмы когнитивного контроля, необходимые для решения каждой конкретной задачи [Friedman, Robbins, 2022]. В контексте гипотезы билингвального преимущества это означает, что, выполняя различные задачи, которые должны оценивать один и тот же компонент ИФ, билингвы могут показывать разные результаты в зависимости от задачи. В качестве одного из решений данной проблемы предлагается применение подхода анализа латентных переменных [Kałamała et al., 2020; Paar, Sawi, 2016]. При таком подходе используются показатели нескольких задач, которые измеряют один и тот же конструкт. Для

них рассчитывается их общая дисперсия и вычисляется так называемая латентная (скрытая) переменная, которая объясняет эту дисперсию. Например, в работе Каламала и коллег [Kałamała et al., 2020] ингибиторный контроль оценивался как латентная переменная с помощью антисаккадной задачи (Antisaccade task), задачи Go/no-go, задач Струпа и Stop-signal. Интересно, что при таком подходе значимых взаимосвязей между билингвизмом и ингибиторным контролем не было обнаружено [Kałamała et al., 2020; Раар et al., 2021]. Принимая во внимание также и то, что гипотеза билингвального преимущества чаще всего подтверждалась в исследованиях, где билингвы выполняли одну задачу на измерение одного компонента ИФ [Privitera, Weekes, 2023], очевидна необходимость изменить подход с «один компонент – одна задача» на более холистический.

Во-вторых, лабораторные инструменты не всегда способны отражать то, насколько эффективны ИФ в ситуациях реальной жизни [Borgnis et al., 2022; Chen, Hsieh, 2018; Fernandez et al., 2023]. В то время как лабораторные задания требуют однозначной реакции на относительно простые стимулы, для повседневных задач зачастую требуются более сложные наборы реакций. Другими словами, лабораторные задания недостаточно репрезентативны относительно реальных жизненных ситуаций. Поэтому исследователи выступают за использование инструментов, которые способны измерять ИФ в более экологических условиях [Chan et al., 2008; Sörman et al., 2019]. Одним из возможных решений является применение VR-технологий. VR-технологии – это человеко-машинный интерфейс, позволяющий проектировать реалистичные пространственные ситуации. Они воспроизводят сценарии повседневной жизни, давая возможность оценивать ИФ в условиях, приближенных к естественным [см. систематический обзор Borgnis et al., 2022]. Так, например, в работе Питерс [Peeters, 2020] применялись VR-технологии для исследования того, как билингвы переключают языковые коды. Однако в данной работе виртуальная среда служила только для создания пространства, имитирующего реальную жизненную ситуацию. При этом участники не выполняли задания непосредственно на оценку их ИФ.

Таким образом, предлагаемый холистический подход к измерению ИФ билингвов требует или иных методов обработки данных, или иных инструментов оценки ИФ. Такие инструменты должны измерять не специфические механизмы отдельных компонентов ИФ, а их совокупность. Подобные инструменты также предполагают их применение в условиях, приближенных к реальным жизненным ситуациям, в противовес лабораторным. Отвечая на два обозначенных условия, задания в виртуальной среде выступают как многообещающий инструмент оценки ИФ. Однако ввиду отсутствия исследований с применением VR-

инструментов для оценки ИФ билингвов важно, прежде всего, начать накопление эмпирической базы в рассматриваемой научной области.

Данное исследование

Для оценки взаимосвязи между билингвальным опытом и ИФ в данном исследовании в качестве способа оценки ИФ применяется тестовая система «Ice Cream», разработанная испанской компанией Nesplora (<https://nesplora.com>). Для теста было проведено нормирование на выборке жителей Испании, и получены высокие показатели надежности (McDonald's Omega от 0,85 до 0,97) [Fernandez et al., 2023]. Несмотря на то, что «Ice Cream» предназначен для использования в клинической практике, задание также используется в исследовательских целях [Fernandez et al., 2023; Garmendia et al., 2023; Pasarín-Lavín et al., 2024] и зарекомендовало себя как многообещающий метод для измерения ИФ в условиях, приближенных к экологически валидным. Очевидно, что инструмент нуждается в валидации на российской выборке. Однако на сегодня в России отсутствуют альтернативные стандартизированные инструменты с проверенными психометрическими свойствами для оценки индивидуальных различий в ИФ [см. Chumakova et al., 2022], поэтому на данном этапе валидизация представляется труднодостижимой. Тем не менее нам представляется важным накапливать и демонстрировать эмпирические данные и опыт, релевантные для российского контекста, поэтому в этой статье мы исследуем взаимосвязь билингвального опыта и ИФ, уделяя особое внимание описанию нашего опыта применения тестовой системы «Ice Cream». Мы также проводим сопоставление показателей рабочей памяти в задании «Ice Cream» с коэффициентом интеллекта в культурно-независимом тесте интеллекта CFIT [Cattell Culture Fair Intelligence Test; Cattell, Cattell, 1973] в качестве косвенного свидетельства конструктивной валидности. Далее в дискуссии мы описываем предпосылки использования VR-инструментов в рассматриваемом научном поле. В ходе работы мы отвечаем на следующие исследовательские вопросы:

1) Существует ли взаимосвязь между билингвальным языковым опытом, представленным в виде показателей языковой энтропии в разных контекстах взаимодействия, и компонентами ИФ (когнитивная гибкость, рабочая память и планирование), измеренными с помощью тестовой системы «Ice Cream»? Ввиду неоднородности результатов в существующих исследованиях мы не выдвигаем конкретных предположений о значимости и направленности эффектов.

2) Существует ли взаимосвязь между конструктом рабочей памяти, измеренным с помощью тестовой системы «Ice Cream», и коэффициентом флюидного интеллекта участников? Предыдущие исследования продемонстрировали умеренную положительную корреляцию между рабочей памятью и флюидным интеллектом [Au et al., 2015; Kane et al., 2005]. В силу новизны инструмента и эксплораторного характера исследования мы также не обозначали конкретных гипотез о характере корреляции между данными конструктами.

Процедура и методика исследования

Выборка

В исследовании приняли участие 118 билингвов. Из-за технической ошибки во время проведения задания «Ice Cream» данные четырех участников не были сохранены. Таким образом, выборка состояла из 114 участников (24,6% – мужчины) в возрасте от 18 до 33 лет ($M = 20,40$; $SD = 2,94$), владеющих адыгейским ($N = 48$) или татарским языком ($N = 66$) в дополнение к русскому. Знание третьего языка (чаще всего – английского) указали 99 участников. На момент проведения исследования участники проживали в г. Майкоп Республики Адыгея и г. Казань Республики Татарстан. К участию в исследовании были приглашены студенты вузов. Рекрутинг проводился при содействии кураторов студенческих групп. Демографические данные и данные о языковом опыте двух групп билингвов представлены в таблице 1. Разделение участников на две группы билингвов обусловлено спецификой языковых пар и языковой дистанцией между ними, культурного контекста двух регионов, а также «степенью» билингвизма в двух республиках. Так, согласно данным Федеральной службы государственной статистики [Федеральная служба государственной статистики, 2020] 37,2% населения Татарстана используют русский и татарский языки в повседневной жизни, в то время как в Адыгее это число составляет 15,7%. Согласно ряду исследований [Cho et al., 2021; Gallo et al., 2023; Xie et al., 2022] языковая дистанция и культурный опыт могут также являться модулирующими факторами связи билингвизма и ИФ.

Таблица 1

Демографические и языковые показатели участников ($N = 114$)

	Билингвы, говорящие на адыгейском и русском языках N = 48 (42,1%)	Билингвы, говорящие на татарском и русском языках N = 66 (57,9%)	Всего N = 114 (100%)
Возраст (лет)	19,80 (1,90)	20,90 (3,45)	20,40 (2,94)
Пол (М)	19 (39,6%)	9 (13,6%)	28 (24,6%)
Образование ^а	3,40 (1,35)	4,26 (1,46)	3,89 (1,47)
Социально-экономический статус ^б	5,63 (1,78)	4,55 (1,78)	5,00 (1,85)
Возраст освоения русского языка (лет)	3,11 (2,60)	3,26 (2,66)	3,20 (2,63)
Возраст освоения национального языка (лет)	2,32 (3,34)	2,24 (2,75)	2,27 (2,99)
Уровень владения русским языком ^в (1-10):			
Понимание	9,67 (0,69)	9,97 (0,17)	9,84 (0,49)
Говорение	9,31 (1,11)	9,62 (0,74)	9,49 (0,92)
Чтение	9,50 (0,88)	9,92 (0,32)	9,75 (0,65)
Уровень владения национальным языком ^в (1-10):			
Понимание	8,81 (1,57)	9,24 (1,31)	9,06 (1,43)
Говорение	8,00 (2,30)	8,67 (1,99)	8,39 (2,14)
Чтение	7,63 (2,49)	9,15 (1,59)	8,51 (2,15)

Примечание. Данные в таблице представлены в формате mean (SD) для континуальных переменных и суммы (%) для категориальных переменных. ^a – уровень образования измерялся на шкале от 1 (образование ниже, чем среднее общее) до 8 (кандидат наук/доктор наук). ^b – социально-экономический статус обозначался уровнем образования матери, измеренным на шкале от 1 (образование ниже, чем среднее общее) до 8 (кандидат наук/доктор наук). ^в – уровень владения русским и национальным языком оценивался с помощью анкеты о языковом опыте участников, где участники оценивали свой уровень понимания, говорения и чтения по шкале от 1 до 10 (см. раздел «Измерение билингвального языкового опыта»).

Процедура

Протокол проведения исследования одобрен Комитетом по биоэтике при Научно-технологическом университете «Сириус» (выписка из протокола заседания комитета по биоэтике НТУ «Сириус» от 01.07.2022). Каждый участник подписал добровольное письменное информированное согласие на участие перед началом исследования. Все исследование включало три задания на оценку ИФ, опросник о языковом опыте и социально-демографических данных участников, тест, оценивающий невербальный интеллект. Исследование проводилось на русском языке. Для ответа на поставленные исследовательские вопросы, в данной статье представлены результаты только одного из заданий на оценку ИФ. Процедура всего исследования занимала около 80 минут. В благодарность за участие в исследовании все участники получили сертификат об участии.

Методы

Измерение исполнительных функций

Для оценки ИФ использовалась тестовая система «Ice Cream» в очках виртуальной реальности. На рисунке 1 представлены эпизоды из задания. Задание «Ice Cream» разработано для оценки следующих компонентов ИФ: когнитивная гибкость, рабочая память, планирование (см. дополнительную информацию в секции «Данное исследование»).



Рис. 1. Эпизоды из задания «Ice Cream»

Задание проходит в виртуальном кафе-мороженом, где участники находятся в роли продавцов мороженого, которым необходимо обслуживать клиентов, соблюдая ряд правил. Задание длится 20-40 минут и состоит из двух частей. Перед началом второй части участникам сообщается о смене рецептов мороженого для создания эффекта интерференции. В начале участники проходят инструктаж в аудиальном формате через наушники, а затем – тренировочный блок. Задание начинается с того, что в кафе входит группа из четырех клиентов (по семь групп клиентов в обеих частях задания; одна группа – одна проба). Задача участника состоит в следующем:

- 1) С помощью VR-контроллера нажать на аватары клиентов, чтобы определить очередность в обслуживании в соответствии с инструкциями.
- 2) Включить машину для приготовления мороженого.
- 3) Нажать на первого в очереди клиента, чтобы принять заказ.
- 4) Приготовить мороженое в соответствии с заказом клиента (мороженое № 1, 2, 3, 4 из книги рецептов), по возможности, не заглядывая в книгу рецептов.
- 5) Отдать мороженое клиенту, которого сейчас обслуживает участник.

В ходе выполнения задания производится замер ряда поведенческих показателей, которые затем переводятся в общий балл для каждого компонента ИФ. В таблице 2 описаны параметры для расчета общего балла компонентов ИФ.

Таблица 2

Параметры для расчета общего балла компонентов ИФ в задании «Ice Cream»

Компонент ИФ	Параметры для расчета общего балла
--------------	------------------------------------

Когнитивная гибкость	1) Количество правильно приготовленных порций мороженого во второй части задания. Засчитываются только порции мороженого, приготовленные без помощи книги рецептов. 2) Количество раз, когда первая порция мороженого в каждой пробе в части 2 была приготовлена правильно. Засчитывается только порции мороженого, приготовленные без помощи книги рецептов. 3) Количество неверно приготовленных порций мороженого во второй части задания, которые считались бы верными в первой части задания. 4) Потенциал обучаемости: количество ошибок при приготовлении мороженого № 4 во второй части задания, которое соответствует мороженому № 1 в первой части задания. 5) Потенциал обучаемости: количество ошибок при приготовлении мороженого № 1 во второй части задания, которое отличается от мороженого № 1 в первой части задания.
Рабочая память	1) Количество правильно приготовленных порций мороженого в первой части задания. Засчитываются только порции мороженого, приготовленные без помощи книги рецептов. 2) Количество раз, когда первая порция мороженого в каждой пробе в первой части задания была приготовлена правильно. Засчитывается только порции мороженого, приготовленные без помощи книги рецептов. 3) Потенциал обучаемости: способен ли участник правильно приготовить первую порцию мороженого в каждой пробе.
Планирование	1) Количество проб, когда участник верно определил очередность обслуживания клиентов в первой части задания. 2) Количество проб, когда участник верно определил очередность обслуживания клиентов во второй части задания.

	3) Потенциал обучаемости: может ли участник определить, надет ли на покупателе гидрокостюм. 4) Потенциал обучаемости: может ли участник правильно определять очередность обслуживания клиентов.
--	---

Измерение билингвального языкового опыта

Для сбора социально-демографических данных и данных о языковом опыте участников был использован онлайн-опросник, в который вошли вопросы из русскоязычной версии опросника LEAP-Q [Marian et al., 2007; <https://bilingualism.northwestern.edu/leapq/>], вопросы о практике переключения между языками из опросника LSBQ [Anderson et al., 2018], об опыте использования языков в разных контекстах по примеру исследования Каламала и коллег [Kałamała et al., 2020], вопросы о культурной интеграции из опросника BIIS-2 [Huynh et al., 2018]. Опросник также содержал вопросы об опыте игры на музыкальных инструментах, регулярных физических нагрузках и опыте видеоигр, так как данные переменные могут потенциально быть побочными переменными, влияющими на ИФ. Однако выборка была относительно гомогенна касательно данных предикторов.

Языковой опыт билингвов измерялся путем оценки опыта использования языков в разных контекстах речевого взаимодействия, а именно: рассчитывался показатель языковой энтропии. Языковая энтропия позволяет количественно выразить вариативность в использовании двух или более языков в повседневном общении [Gullifer, Titone, 2020]. Несмотря на относительную новизну, метод широко применялся в работах последних лет, посвященных изучению ИФ билингвов [Gullifer et al., 2018; Gullifer, Titone, 2021; Hartanto, Yang, 2016, 2020; Kałamała et al., 2020; Li et al., 2021; van den Berg et al., 2022; Wagner et al., 2023 и другие]. В опроснике о языковом опыте участники отмечали, сколько времени они используют каждый из языков в контекстах «дом», «университет», «свободное время» и «работа». Энтропия вычислялась с помощью пакета LanguageEntropy R [Gullifer, Titone, 2018] в среде программирования R версия 4.4.0 [RStudio Team, 2020]. Данные о времени использования каждого языка были переведены в проценты, чтобы затем применить формулу расчета энтропии из обозначенного пакета. Значение энтропии варьируется от 0 до 1. Энтропия, близкая к 0, говорит о том, что в данном контексте билингв использует преимущественно один язык. Значение, близкое к 1, указывает на то, что два языка используются относительно сбалансированно. Для иллюстрации предположим, что дома билингв использует русский язык 80% времени и оставшиеся 20% времени – татарский. В этом

случае энтропия рассчитывается путем сложения $0,80 \cdot \log_2(0,80)$ и $0,20 \cdot \log_2(0,20)$ и умножения полученного значения на -1 для получения положительного значения. Так, языковая энтропия данного конкретного билингва в контексте «дом» будет равняться 0,72. Поскольку наиболее часто используемыми языками участников были русский и национальный, при расчете значений энтропии не учитывалось использование иностранных языков. Такой подход был применен в предыдущих работах [например, Li et al., 2021].

Измерение коэффициента интеллекта и социально-экономического статуса

В качестве ковариат при анализе данных были включены показатели социально-экономического статуса и коэффициент интеллекта участников. Согласно предыдущим исследованиям, данные переменные могут являться модулирующими во взаимосвязи между ИФ и билингвизмом [Kałamała et al., 2020; Naeem et al., 2018]. Социально-экономический статус обозначался уровнем образования матери, измеренным на шкале от 1 (образование ниже, чем среднее общее) до 8 (кандидат наук/доктор наук). Для оценки коэффициента интеллекта использовался культурно-независимый тест интеллекта (Cattell Culture Fair Intelligence Test, Scale 2, Form A) [Cattell, Cattell, 1973].

Статистические методы

Регрессионный анализ

Для изучения взаимосвязи между показателями билингвального языкового опыта, а именно: языковой энтропией и показателями ИФ билингвов, был использован регрессионный анализ. Модель для каждого компонента ИФ включала следующие предикторы: языковая энтропия в контекстах «дом», «университет», «свободное время», социально-экономический статус, языковая группа, коэффициент интеллекта, а также взаимодействие показателей энтропии во всех контекстах с языковой группой. Анализ был выполнен с использованием множественной линейной регрессии с эффектом взаимодействия. Категориальная переменная «языковая группа» была бинарно кодирована (dummy coding), референтной группой (0) выступали билингвы из Казани, то есть говорящие на татарском и русском языках. Всего было построено три модели. До включения в модели энтропия и коэффициент интеллекта были проверены на ассоциацию. Регрессионный анализ между данными предикторами ассоциации не выявил. Формулы для каждой модели доступны в примечании к таблице A1 в приложении.

Корреляционный анализ

Степень взаимосвязи между рабочей памятью и коэффициентом интеллекта проверялась с помощью корреляционного анализа. Для описания направления и силы связи между переменными использовался коэффициент корреляции Пирсона. Перед анализом данные проверялись на нормальность распределения с помощью теста Шапиро-Уилка и с помощью визуальной оценки с использованием Q-Q plots (quantile-quantile plots). Оба теста не нашли отклонений от нормальности для обеих переменных.

Результаты

Задание «Ice Cream»

В таблице 3 представлены общие баллы (T score) для каждого компонента ИФ (когнитивная гибкость, рабочая память, планирование) в двух группах билингвов. Сравнение групп при помощи критерия Стьюдента для независимых выборок статистически значимых различий между группами не выявило.

Таблица 3

Средние баллы (T score) для компонентов когнитивная гибкость, рабочая память, планирование в задании «Ice Cream» для двух групп билингвов

	Билингвы, говорящие на адыгейском и русском языках (N = 48)	Билингвы, говорящие на татарском и русском языках (N = 66)	<i>t</i>	<i>p</i>
	M (SD)	M (SD)		
Когнитивная гибкость	49,8 (6,96)	50,3 (5,37)	0,07	0,94
Рабочая память	55,7 (9,24)	54,8 (7,65)	−0,73	0,47
Планирование	49,3 (7,03)	50,3 (6,86)	0,48	0,63

Языковая энтропия

Показатели языковой энтропии отдельно для каждого социального контекста в двух группах билингвов для всей выборки представлены в таблице 4. Количество участников в каждом

контексте отличалось в зависимости от предоставленных участниками данных. В анализ не вошли данные участников, которые (а) не указали языки и/или время использования языков; (б) указали неправдоподобное время использования языков (например, в сумме 58 часов в сутки). Соответственно, в последующие регрессионные модели вошли данные только тех участников, значения энтропий которых были доступны. Поскольку значительное число участников не работали (48,7%), контекст «работа» не был использован для основного анализа.

Таблица 4

Показатели языковой энтропии в двух группах билингвов

	Билингвы, говорящие на адыгейском и русском языках		Билингвы, говорящие на татарском и русском языках		<i>t</i>	<i>p</i>
	N	M (SD)	N	M (SD)		
Дом	47	0,65 (0,35)	57	0,66 (0,36)	0,04	0,97
Университет	47	0,43 (0,38)	59	0,59 (0,33)	2,38	0,02
Свободное время	44	0,65 (0,41)	59	0,60 (0,43)	−0,70	0,48
Работа	26	0,42 (0,37)	41	0,50 (0,41)	0,72	0,48

Билингвизм и исполнительные функции

Когнитивная гибкость

Регрессионная модель показала, что для группы татаро- и русскоговорящих билингвов переменные языковой энтропии в трех контекстах, социально-экономический статус, языковая группа и коэффициент интеллекта не являлись статистически значимыми предикторами общих баллов когнитивной гибкости при пороговом значении $p = 0,05$. Коэффициенты для переменных были следующими: энтропия в контексте «дом» ($b = 1,71$, $p = 0,55$); энтропия в контексте «университет» ($b = 1,94$, $p = 0,56$); энтропия в контексте «свободное время» ($b = 0,74$, $p = 0,77$); социально-экономический статус ($b = 0,26$, $p = 0,51$); коэффициент интеллекта ($b = 0,001$, $p = 0,99$). Взаимодействие между языковой энтропией в трех контекстах и языковой группой также не оказалось значимым предиктором общего балла когнитивной гибкости. Так, регрессионные коэффициенты для группы адыго- и

рускоязычных билингвов не отличались статистически значимо от значений референтной группы («Казань»): энтропия в контексте «дом» ($b = -5,24$, $p = 0,20$); энтропия в контексте «университет» ($b = -3,96$, $p = 0,39$); энтропия в контексте «свободное время» ($b = -0,80$, $p = 0,83$).

Рабочая память

Результаты анализа показали, что для группы татаро- и русскоговорящих билингвов переменные языковой энтропии в трех контекстах, социально-экономический статус и языковая группа не являлись статистически значимыми предикторами общих баллов рабочей памяти. Коэффициенты для переменных были следующими: энтропия в контексте «дом» ($b = -0,59$, $p = 0,87$); энтропия в контексте «университет» ($b = 1,58$, $p = 0,72$); энтропия в контексте «свободное время» ($b = 1,99$, $p = 0,54$); социально-экономический статус ($b = -0,38$, $p = 0,45$). Взаимодействие между энтропией в трех контекстах и языковой группой также не оказалось значимым предиктором общего балла рабочей памяти. Коэффициенты для взаимодействий с языковой группой были следующими: энтропия в контексте «дом» ($b = -0,06$, $p = 0,99$); энтропия в контексте «свободное время» ($b = 0,63$, $p = 0,90$); энтропия в контексте «университет» ($b = -11,14$, $p = 0,07$). При этом коэффициент интеллекта являлся значимым предиктором общего балла рабочей памяти ($b = 0,25$, $p < 0,001$).

Планирование

Регрессионная модель показала, что для группы татаро- и русскоговорящих билингвов переменные языковой энтропии в трех контекстах, социально-экономический статус и языковая группа не являлись статистически значимыми предикторами общих баллов планирования. Коэффициенты для переменных были следующими: энтропия в контексте «дом» ($b = -0,71$, $p = 0,83$); энтропия в контексте «университет» ($b = -0,64$, $p = 0,86$); энтропия в контексте «свободное время» ($b = -0,68$, $p = 0,81$); социально-экономический статус ($b = 0,28$, $p = 0,52$). Взаимодействие между энтропией в трех контекстах и языковой группой также не оказалось значимым предиктором общего балла планирования. Коэффициенты для взаимодействий с языковой группой были следующими: энтропия в контексте «дом» ($b = -3,44$, $p = 0,45$); энтропия в контексте «университет» ($b = 1,99$, $p = 0,70$); энтропия в контексте «свободное время» ($b = 4,98$, $p = 0,23$). При этом коэффициент интеллекта так же, как и для компонента рабочей памяти, являлся значимым предиктором общего балла планирования ($b = 0,23$, $p < 0,001$).

Рабочая память и коэффициент интеллекта

Для оценки линейной зависимости между рабочей памятью и коэффициентом интеллекта был проведен корреляционный анализ с использованием коэффициента корреляции Пирсона. Коэффициент корреляции Пирсона был равен 0,45 (95% доверительный интервал [0,28; 0,59]), что указывает на умеренную положительную линейную связь между переменными (рисунок 2).

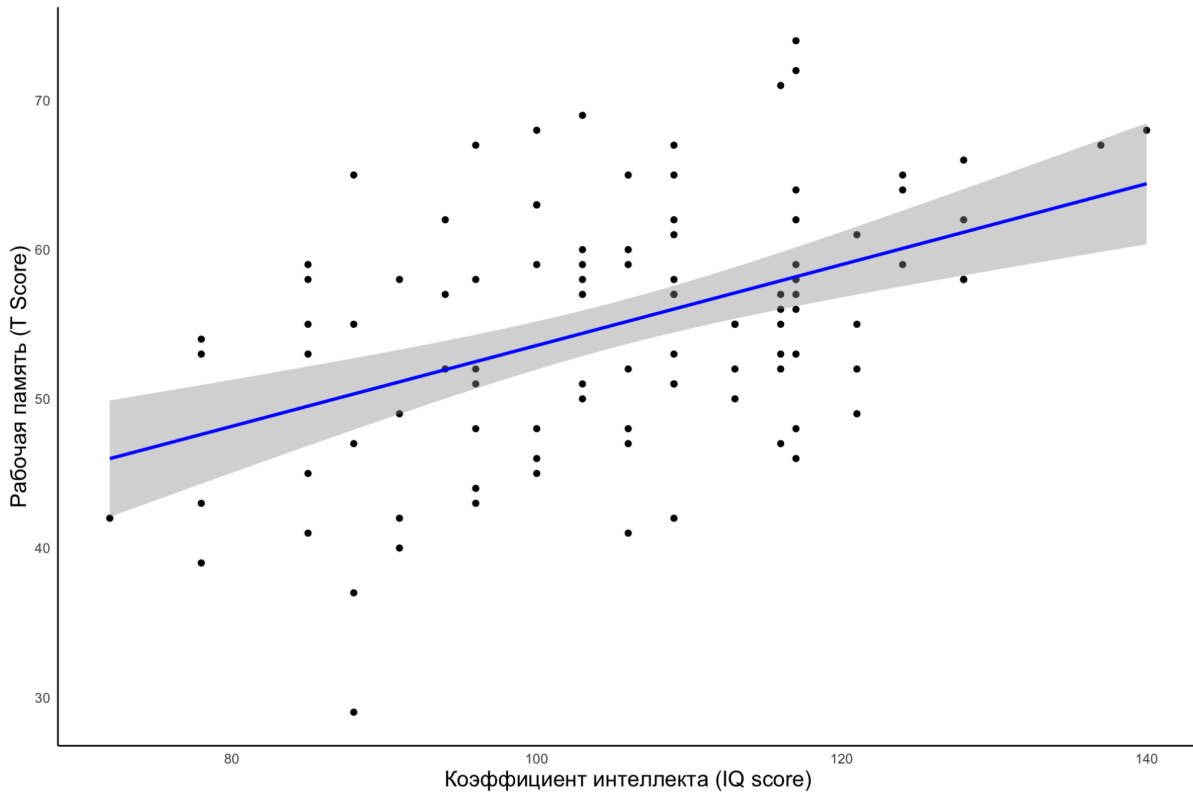


Рис. 2. Визуализация корреляции Пирсона между переменной рабочей памяти («Ice Cream») и коэффициентом флюидного интеллекта (CFIT Scale 2, Form A). Каждая точка означает одного участника (N = 114)

Обсуждение

В данном эксплораторном исследовании мы одними из первых применили VR-технологии для изучения ИФ билингвов. Тестовая система в очках виртуальной реальности «Ice Cream» позволила оценить когнитивную гибкость, рабочую память и планирование в условиях, приближенных к экологически валидным. В работе мы опирались на два исследовательских вопроса.

Во-первых, мы рассмотрели взаимосвязь между билингвальным языковым опытом и компонентами ИФ (когнитивная гибкость, рабочая память, планирование), измеренными с помощью тестовой системы «Ice Cream». Языковой опыт был операционализирован как паттерны использования языков в разных контекстах взаимодействия (дом, университет, свободное время) и представлен в виде показателей языковой энтропии. Ввиду неоднородности результатов в существующих исследованиях билингвизма и ИФ [например, Hartanto, Yang, 2016, 2020; Li et al, 2021; van den Berg et al., 2022], мы не выдвигали конкретных предположений о значимости и направленности эффектов. Результаты регрессионного анализа показали, что отсутствует ассоциация между языковой энтропией и рабочей памятью, когнитивной гибкостью, планированием, в том числе при взаимодействии с переменной группы (билингвы, говорящие на адыгейском и русском языках; билингвы, говорящие на татарском и русском языках). Ниже в разделе представлено обсуждение полученных результатов.

Во-вторых, в качестве косвенного свидетельства конструктивной валидности системы «Ice Cream» мы определили корреляцию между коэффициентом интеллекта в культурно-независимом тесте на оценку интеллекта CFIT и показателями рабочей памяти в рассматриваемом задании. В силу новизны инструмента и эксплораторного характера исследования мы также не обозначали конкретных предположений о результатах корреляционного анализа. Однако согласно результатам предыдущих исследований, существует положительная корреляция между рабочей памятью и флюидным интеллектом [Au et al., 2015; Kane et al., 2005]. Так, результаты мета-анализа десяти статей [Kane et al., 2005] указывают, что корреляция между флюидным интеллектом и рабочей памятью варьируется от 0,41 до 1,00 с медианным значением $r = 0,72$. Нами была обнаружена умеренная корреляция ($r = 0,46$) между переменными. Данная корреляция выступает своеобразной проверкой достоверности (sanity check), так как ее наличие говорит о том, что тест, вероятно, измеряет то, что он должен измерять. Однако такое свидетельство, безусловно, является слабым и лишь косвенным.

Билингвизм и исполнительные функции

Исследования в области билингвизма и ИФ преимущественно сосредоточены на изучении ингибиторного контроля, когнитивной гибкости, внимания и их подкомпонентов [Bialystok, Craik, 2022; Privitera, Weekes, 2023]. Некоторые ученые рассматривают взаимосвязь билингвизма в том числе с компонентами планирования [Filippi et al., 2020; Naeem et al., 2018]

и рабочей памяти [Ratiu, Azuma, 2015; Morales et al., 2013]. При этом при измерении ИФ подавляющее большинство исследователей придерживается подхода «один компонент – одна задача». Используемые задачи, как правило, предназначены для проведения в лабораторных условиях. Как отмечалось во введении, такой подход не позволяет учитывать тот факт, что в повседневной жизни для достижения поставленных целей и решения повседневных задач компоненты ИФ используются не изолированно друг от друга, а в совокупности. Поэтому в современной исследовательской повестке стоит вопрос поиска способов измерения ИФ в более экологически валидных условиях. Использование VR-инструментов потенциально может отвечать поставленным требованиям. Так, использованный нами инструмент «Ice Cream» позволил одновременно измерить показатели когнитивной гибкости, рабочей памяти и планирования, в то время как участники выполняли задание, имитирующее реальную жизненную ситуацию. В нашем исследовании мы не обнаружили связи билингвального языкового опыта ни с одним из трех рассматриваемых компонентов.

Мы сопоставили полученные нами результаты с результатами исследований со схожим подходом к операционализации языкового опыта билингвов. В данных работах учитывались паттерны использования языков в различных контекстах взаимодействия, количественно представленные с помощью метода языковой энтропии. В рассматриваемых исследованиях ИФ измерялись с помощью лабораторных заданий. Так, в работе Янг и коллег [Yang, Tng, Ng, Ng, 2023] показатели языковой энтропии также не объяснили вариативность в показателях компонента «когнитивная гибкость» участников. Однако в исследовании Ли и коллег [Li et al., 2021] более сбалансированное использование языков, выраженное высокими показателями языковой энтропии, являлось предиктором более высоких баллов в задании на когнитивную гибкость. В обоих исследованиях применялось единственное лабораторное задание на оценку ИФ (Stop and Go Switch task и Color-shape switching task, соответственно). Причиной вариативности результатов среди прочих могла стать именно специфика заданий, оценивающих ИФ.

Что касается компонента «рабочая память», то в работах Хартанто и Янг [Hartanto, Yang, 2020], Янг и коллег [Yang, Tng, Ng, Yang, 2023] также демонстрируется отсутствие взаимосвязи между билингвальным языковым опытом и ИФ. При этом Хартанто и Янг [Hartanto, Yang, 2020] рассматривали рабочую память как латентную переменную и измеряли ее с помощью заданий Rotation span task, Operation span task и Symmetry span task. Участники в исследовании Янг и коллег [Yang, Tng, Ng, Yang, 2023], в свою очередь, выполняли только одно лабораторное задание Backward Corsi Block-Tapping task.

Компонент «планирование» реже других исследуется в рамках рассматриваемого научного поля. Так, на сегодня не было опубликовано статей, одновременно исследующих планирование и рассматривающих билингвальный языковой опыт через призму языковой энтропии. Тем не менее, если обратиться к имеющимся исследованиям, то и они также не находили подтверждения билингвального преимущества относительно планирования [см. мета-анализ Gunnerud et al., 2020; а также Filippi et al., 2020; Naeem et al., 2018].

Таким образом, как в исследованиях с лабораторными заданиями, так и в нашем исследовании с VR-инструментом связи языковой энтропии с когнитивной гибкостью, рабочей памятью, планированием не было обнаружено.

VR-инструменты для изучения исполнительных функций

Применение VR-технологий в целях измерения ИФ признается многообещающим направлением как в клинической, так и в исследовательской практике [см. обзор Borgnis et al., 2022]. Во-первых, задания в среде виртуальной реальности позволяют воссоздать условия, максимально приближенные к естественным условиям [Sörman et al., 2019]. Во-вторых, подобные инструменты дают возможность оценивать ИФ не отдельно по каждому компоненту, а в совокупности. Такой подход в наибольшей степени отражает то, как используются ИФ в реальных жизненных ситуациях. В-третьих, немаловажным является высокий уровень интерактивности, который вовлекает участников и мотивирует их на прохождение заданий. Несмотря на перспективы использования VR-технологий, стоит отметить и потенциальный недостаток в использовании инструмента. Уровень знакомства участников с VR-технологиями может варьироваться и может оказывать влияние на валидность результатов. Действительно, участники данного исследования различались по степени знакомства с подобными технологиями. Среди участников в обеих языковых группах были те, для кого это был первый опыт взаимодействия с очками виртуальной реальности. У нескольких участников нахождение в виртуальной реальности вызывало легкий дискомфорт. Другим участникам требовалось немного больше времени для привыкания к очкам и контроллерам. Возможно, подобные трудности могли стать препятствием к быстрому пониманию инструкций и комфортному выполнению задания.

Ограничения и заключение

Цель данной работы состояла в изучении возможности применения тестовой системы «Ice Cream» как инструмента, позволяющего измерить ИФ билингвов в условиях, приближенных к экологически валидным. Ввиду эксплораторной природы исследования преждевременно делать выводы о высокой эффективности инструмента «Ice Cream», так как, учитывая его новизну, необходимо собрать большее количество данных для оценки надежности и валидности инструмента. Важно подчеркнуть, что выводы, сделанные в данной статье, носят преимущественно описательный характер ввиду существенных ограничений, связанных как с отсутствием стандартизированных инструментов, необходимых для валидации примененной методики «Ice Cream», так и с неоднородностью результатов относительно связи билингвального языкового опыта с ИФ. Особенностью данной работы является также и то, что в России пока еще крайне недостаточно изучено исследовательское поле билингвизма и ИФ, несмотря на многонациональный состав населения страны, говорящий на разнообразных национальных языках в дополнение к русскому [Федеральная служба государственной статистики, 2020]. Поэтому без достаточной эмпирической базы, необходимой для сопоставления результатов, проблематично делать конкретные выводы. К тому же, ввиду неразработанности поля необходимо валидизировать используемые инструменты, предназначенные как для измерения языкового опыта (например, использованные в данной работе опросники), так и для оценки ИФ. Тем не менее, наряду с существующими работами [Дедюкина, 2023; Лещенко, 2022; Хотинец, Гильмуллина, 2021], данное исследование вносит вклад в изучаемую область благодаря исследованию билингвов, являющихся носителями адыго-русской и татаро-русской языковых пар.

Что касается связи билингвизма с ИФ, то полученные результаты не говорят напрямую о том, что билингвального преимущества относительно ИФ не существует. Во-первых, в нашем исследовании в силу специфики использованного инструмента мы не измеряли компонент ингибиторного контроля. Однако именно с ним и его подкомпонентами в первую очередь связывают обозначенные преимущества [Green, Abutalebi, 2013]. Во-вторых, низкая языковая энтропия участников нашего исследования говорит о несбалансированном использовании языков. Это, в свою очередь, соотносится с теоретическими предположениями о существовании связи между энтропией и ИФ билингвов [Gullifer, Titone, 2020; Wagner et al., 2023]. Тем не менее, безусловно, необходимо накопление большей эмпирической базы как с применением VR-инструментов, так и с выборками билингвов, использующих разные языковые паттерны в повседневном общении, в том числе проживающими на территории Российской Федерации.

Благодарности

Авторы благодарят ООО «ДЖУНТИ ПСИХОМЕТРИКС РУС» за предоставление доступа к тестовой системе «Ice Cream» (Nesplora).

Финансирование

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (Соглашение № 075-10-2021-093; Проект COG-RND-2138).

Литература

Дедюкина М.И. Оценка взаимосвязи показателей билингвизма с показателями когнитивного и эмоционального развития детей старшего дошкольного возраста. Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова. Серия: Педагогика. Психология. Философия, 2023, No. 3(31), 65–71. doi: 10.25587/2587-5604-2023-3- 65-71

Лещенко Ю.Е. Гипотеза когнитивных преимуществ при билингвизме: экспериментальное исследование с носителями коми-пермяцко-русского двуязычия. Ежегодник финно-угорских исследований, 2022, No. 2, 214–226. doi: 10.35634/2224-9443-2022-16-2-214-226

Федеральная служба государственной статистики. Всероссийская перепись населения 2020, 2020. https://rosstat.gov.ru/vpn/2020/Tom5_Nacionalnyj_sostav_i_vladenie_yazykami

Хотинец В.Ю., Гильмуллина Л.Г. Планирование и самоконтроль в когнитивной регуляции младших школьников с несбалансированным эритажным билингвизмом. Вестник Удмуртского университета. Серия «Философия. Психология. Педагогика», 2021, No. 31(3), 271–280. doi: 10.35634/2412-9550-2021-31-3-271-280

Alrwaita N., Houston-Price C., Meteyard L., Voits T., Pliatsikas C. Executive functions are modulated by the context of dual language use: diglossic, bilingual and monolingual older adults. Bilingualism-Language and Cognition, 2023, No. 27(1), 178–203. doi: 10.1017/S1366728923000056

Anderson J.A.E., Mak L., Keyvani Chahi A., Bialystok E. The language and social background questionnaire: Assessing degree of bilingualism in a diverse population. Behavior Research Methods, 2018, No. 50(1), 250–263. doi:10.3758/s13428-017-0867-9

Au J., Sheehan E., Tsai N., Duncan G.J., Buschkuhl M., Jaeggi S.M. Improving fluid intelligence with training on working memory: a meta-analysis. *Psychonomic bulletin & review*, 2015, No. 22, 366–377. doi: 10.3758/s13423-014-0699-x

Ayenigbara I.O. Preventive Measures against the Development of Dementia in Old Age. *Korean Journal of Family Medicine*, 2022, No. 3(43), 157–167. doi: 10.4082%2Fkjfm.21.0030

Berryman N., Bherer L., Nadeau S., Lauzière S., Lehr L., Bobeuf F., ... & Bosquet L. Executive functions, physical fitness and mobility in well-functioning older adults. *Experimental gerontology*, 2013, No. 48(12), 1402–1409. doi: 10.1016/j.exger.2013.08.017

Bialystok E. *Bilingualism in development: Language, literacy, and cognition*. – Cambridge: Cambridge University Press, 2001.

Bialystok E. Cognitive Effects of Bilingualism: How Linguistic Experience Leads to Cognitive Change. *International Journal of Bilingual Education and Bilingualism*, 2007, No. 3(10), 210–223. doi: 10.2167/beb441.0

Bialystok E., Craik F.I.M. How does bilingualism modify cognitive function? Attention to the mechanism. *Psychonomic Bulletin & Review*, 2022, No. 29(4), 1246–1269. doi: 10.3758/s13423-022-02057-5

Blair C., Razza R.P. Relating Effortful Control, Executive Function, and False Belief Understanding to Emerging Math and Literacy Ability in Kindergarten. *Child Development*, 2007, No. 2(78), 647–663. doi: 10.1111/j.1467-8624.2007.01019.x

Blumenfeld H.K., Marian V. Bilingualism influences inhibitory control in auditory comprehension. *Cognition*, 2011, No. 2(118), 245–257. doi: 10.1016/j.cognition.2010.10.012

Borgnis F., Baglio F., Pedroli E., Rossetto F., Uccellatore L., Oliveira J.A.G., ... & Cipresso P. Available Virtual Reality-Based Tools for Executive Functions: A Systematic Review. *Frontiers in Psychology*, 2022, No. 13, 833136. doi: 10.3389/fpsyg.2022.833136

Cattell R.B., Cattell A.K. *Measuring intelligence with the culture fair tests*. – Champaign, IL: Institute for Personality and Ability Testing, 1973.

Chan R.C., Shum D., Touloupoulou T., Chen E.Y. Assessment of executive functions: Review of instruments and identification of critical issues. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 2008, No. 2(23), 201–216. doi: 10.1016/j.acn.2007.08.010

Chen Y.-Q., Hsieh S. The relationship between internet-gaming experience and executive functions measured by virtual environment compared with conventional laboratory multitasks. *PLOS ONE*, 2018, No. 6(13), e0198339. doi: 10.1371/journal.pone.0198339

Cho I., Park J., Song H.J., Morton J.B. Disentangling language status and country-of-origin explanations of the bilingual advantage in preschoolers. *Journal of Experimental Child Psychology*, 2021, No. 212, 105235. doi: 10.1016/j.jecp.2021.105235

Degirmenci M.G., Grossmann J.A., Meyer P., Teichmann B. The role of bilingualism in executive functions in healthy older adults: A systematic review. *International Journal of Bilingualism*, 2022, No. 26(4), 426–449. doi: 10.1177/13670069211051291

De Greeff J.W., Bosker R.J., Oosterlaan J., Visscher C., Hartman E. Effects of physical activity on executive functions, attention and academic performance in preadolescent children: a meta-analysis. *Journal of science and medicine in sport*, 2018, No. 21(5), 501–507. doi: 10.1016/j.jsams.2017.09.595

Diamond A. Executive Functions. *Annual Review of Psychology*, 2013, No. 1(64), 135–168. doi: 10.1146/annurev-psych-113011-143750

Ferguson H.J., Brunson V.E.A., Bradford E.E.F. The developmental trajectories of executive function from adolescence to old age. *Scientific Reports*, 2021, No. 1(11), 1382. doi: 10.1038/s41598-020-80866-1

Fernandez M.A., Rebon-Ortiz F., Saura-Carrasco M., Climent G., Diaz-Orueta U. Ice Cream: new virtual reality tool for the assessment of executive functions in children and adolescents: a normative study. *Frontiers in Psychology*, 2023, No. 14, 1196964. doi: 10.3389/fpsyg.2023.1196964

Filippi R., Ceccolini A., Periche-Tomas E., Bright P. Developmental trajectories of metacognitive processing and executive function from childhood to older age. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 2020, No. 11(73), 1757–1773. doi: 10.1177/1747021820931096

- Friedman N.P., Robbins T.W. The role of prefrontal cortex in cognitive control and executive function. *Neuropsychopharmacology*, 2022, No. 1(47), 72–89. doi: 10.1038/s41386-021-01132-0
- Frischen U., Schwarzer G., Degé F. Music lessons enhance executive functions in 6- to 7-year-old children. *Learning and Instruction*, 2021, No. 74, 101442. doi: 10.1016/j.learninstruc.2021.101442
- Gallo F., Myachykov A., Nelyubina M., Shtyrov Y., Kubiak J., Terekhina L., Abutalebi J. Linguistic distance dynamically modulates the effects of bilingualism on executive performance in aging. *Bilingualism: Language and Cognition*, 2023, 1–10. doi: 10.1017/S1366728923000743
- Garmendia J., Labayru G., Aliri J., de Munain A.L., Sistiaga A. Executive functions and daily functioning in myotonic dystrophy type 1 ecological assessment with virtual reality. *Neuromuscular Disorders*, 2023, No. 12(33), 917–922. doi: 10.1016/j.nmd.2023.10.006
- Giovannoli J., Martella D., Federico F., Pirchio S., Casagrande M. The impact of bilingualism on executive functions in children and adolescents: A systematic review based on the PRISMA method. *Frontiers in Psychology*, 2020, No. 11, 574789. doi: 10.3389/fpsyg.2020.574789
- Green D.W., Abutalebi J. Language control in bilinguals: The adaptive control hypothesis. *Journal of Cognitive Psychology*, 2013, No. 5(25), 515–530. doi: 10.1080/20445911.2013.796377
- Grundy J.G., Pavlenko E., Bialystok E. Bilingualism modifies disengagement of attention networks across the scalp: A multivariate ERP investigation of the IOR paradigm. *Journal of Neurolinguistics*, 2020, No. 56, 100933. doi: 10.1016/j.jneuroling.2020.100933
- Guarino A., Favieri F., Boncompagni I., Agostini F., Cantone M., Casagrande M. Executive functions in Alzheimer disease: A systematic review. *Frontiers in aging neuroscience*, 2019, No. 10, 437. doi: 10.3389/fnagi.2018.00437
- Gullifer J.W., Titone D. Compute language entropy with {languageEntropy}, 2018. <https://github.com/jasongullifer/languageEntropy>. doi:10.5281/zenodo.1406201

Gullifer J.W., Pivneva I., Whitford V., Sheikh N.A., Titone D. Bilingual Language Experience and Its Effect on Conflict Adaptation in Reactive Inhibitory Control Tasks. *Psychological Science*, 2023, No. 34(2), 238–251. doi: 10.1177/09567976221113764

Gullifer J.W., Titone D. Characterizing the social diversity of bilingualism using language entropy. *Bilingualism-Language and Cognition*, 2020, No. 23(2), 283–294. doi: 10.1017/S1366728919000026

Gunnerud H.L., Ten Braak D., Reikerås E.K.L., Donolato E., Melby-Lervåg M. Is bilingualism related to a cognitive advantage in children? A systematic review and meta-analysis. *Psychological Bulletin*, 2020, 146(12), 1059–1083. doi: 10.1037/bul0000301

Hartanto A., Yang H. Does Early Active Bilingualism Enhance Inhibitory Control and Monitoring? A Propensity-Matching Analysis. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 2019, No. 2(45), 360–378. doi: 10.1037/xlm0000581

Hartanto A., Yang H. The role of bilingual interactional contexts in predicting interindividual variability in executive functions: A latent variable analysis. *Journal of Experimental Psychology: General*, 2020, No. 4(149), 609–633. doi: 10.1037/xge0000672

Huynh Q.-L., Benet-Martínez V., Nguyen A.-M.D. Measuring variations in bicultural identity across U.S. ethnic and generational groups: Development and validation of the Bicultural Identity Integration Scale – Version 2 (BIIS-2). *Psychological Assessment*, 2018, No. 12(30), 1581–1596. doi: 10.1037/pas0000606

Kałamala P., Walther J., Zhang H., Diaz M., Senderecka M., Wodniecka Z. The use of a second language enhances the neural efficiency of inhibitory control: An ERP study. *Bilingualism*, 2022, No. 25(1), 163–180. doi: 10.1017/S1366728921000389

Kane M.J., Hambrick D.Z., Conway A.R.A. Working memory capacity and fluid intelligence are strongly related constructs: comment on Ackerman, Beier, and Boyle (2005). *Psychological Bulletin*, 2005, No. 131(1), 66–71. doi: 10.1037/0033-2909.131.1.66

Lehtonen M., Soveri A., Laine A., Järvenpää J., De Bruin A., Antfolk J. Is bilingualism associated with enhanced executive functioning in adults? A meta-analytic review. *Psychological Bulletin*, 2018, No. 144(4), 394–425. doi: 10.1037/bul0000142

Li X., Ng K.K., Wong J.J.Y., Lee J.W., Zhou J.H., Yow W.Q. Bilingual language entropy influences executive functions through functional connectivity and signal variability. *Brain and Language*, 2021, No. 222, 105026. doi: 10.1016/j.bandl.2021.105026

Lowe C.J., Cho I., Goldsmith S.F., Morton J.B. The Bilingual Advantage in Children’s Executive Functioning Is Not Related to Language Status: A Meta-Analytic Review. *Psychological Science*, 2021, No. 32(7), 1115–1146. doi: 10.1177/0956797621993108

Luk G. Justice and equity for whom? Reframing research on the “bilingual (dis)advantage”. *Applied Psycholinguistics*, 2023, No. 44(3), 301–315. doi: 10.1017/S0142716422000339

Martin-Rhee M.M., Bialystok E. The development of two types of inhibitory control in monolingual and bilingual children. *Bilingualism: Language and Cognition*, 2008, No. 11(1), 81–93. doi: 10.1017/S1366728907003227

Miyake A., Friedman N.P. The Nature and Organization of Individual Differences in Executive Functions: Four General Conclusions. *Current Directions in Psychological Science*, 2012, No. 21(1), 8–14. doi: 10.1177/0963721411429458

Morales J., Calvo A., Bialystok E. Working memory development in monolingual and bilingual children. *Journal of Experimental Child Psychology*, 2013, No. 2(114), 187–202. doi: 10.1016/j.jecp.2012.09.002

Naeem K., Filippi R., Periche-Tomas E., Papageorgiou A., Bright P. The Importance of Socioeconomic Status as a Modulator of the Bilingual Advantage in Cognitive Ability. *Frontiers in Psychology*, 2018, No. 9, 1818. doi: 10.3389/fpsyg.2018.01818

Paap K.R., Johnson H.A., Sawi O. Bilingual advantages in executive functioning either do not exist or are restricted to very specific and undetermined circumstances. *Cortex*, 2015, No. 69, 265–278. doi: 10.1016/j.cortex.2015.04.014

Paap K.R., Mason L., Anders-Jefferson R. Predictions about the cognitive consequences of language switching on executive functioning inspired by the adaptive control hypothesis fail more often than not. *Brain Sciences*, 2021, No. 9(11), 1217. doi: 10.3390/brainsci11091217

Paap K.R., Sawi O. The role of test-retest reliability in measuring individual and group differences in executive functioning. *Journal of Neuroscience Methods*, 2016, No. 274, 81–93. doi: 10.1016/j.jneumeth.2016.10.002

Pasarín-Lavín T., García T., Rodríguez C., Núñez J.C., Areces D. Divergent thinking and Executive functions in children: A developmental perspective based on intellectual capacity. *Thinking Skills and Creativity*, 2024, No. 51, 101466. doi: 10.1016/j.tsc.2024.101466

Peeters D. Bilingual switching between languages and listeners: Insights from immersive virtual reality. *Cognition*, 2020, No. 195, 104107. doi: 10.1016/j.cognition.2019.104107

Poarch G.J., van Hell J.G. Executive Functions and Inhibitory Control in Multilingual Children: Evidence from Second-Language Learners, Bilinguals, and Trilinguals. *Journal of Experimental Child Psychology*, 2012, No. 4(113), 535–551. doi: 10.1016/j.jecp.2012.06.013

Poncet F., Swaine B., Dutil E., Chevignard M., Pradat-Diehl P. How do assessments of activities of daily living address executive functions: A scoping review. *Neuropsychological Rehabilitation*, 2017, No. 5(27), 618–666. doi: 10.1080/09602011.2016.1268171

Prior A., MacWhinney B.A. Bilingual Advantage in Task Switching. *Bilingualism: Language and Cognition*, 2010, No. 2(13), 253–262. doi: 10.1017/S1366728909990526

Privitera A., Weekes B. Scoping review of research practices in the investigation of bilingual effects on inhibition and attention in young people. *International Journal of Bilingualism*, 2022, No. 27(5), 749–775. doi: 10.1177/13670069221121498

RStudio Team. *RStudio: Integrated Development for R*. RStudio, PBC, Boston, MA, 2020. <http://www.rstudio.com/>

Ratiu I., Azuma T. Assessment of executive function in bilingual adults with history of mild traumatic brain injury. *Brain Impairment*, 2020, No. 1(21), 32–46. doi: 10.1017/BrImp.2019.17

Rodriguez-Gomez D.A., Talero-Gutierrez C. Effects of music training in executive function performance in children: A systematic review. *Frontiers in Psychology*, 2022, No. 13, 968144. doi: 10.3389/fpsyg.2022.968144

Salthouse T. A. Is flanker-based inhibition related to age? Identifying specific influences of individual differences on neurocognitive variables. *Brain and Cognition*, 2010, No. 1(73), 51–61. doi: 10.1016/j.bandc.2010.02.003

Shilling V.M., Chetwynd A., Rabbitt P.M.A. Individual inconsistency across measures of inhibition: an investigation of the construct validity of inhibition in older adults. *Neuropsychologia*, 2002, No. 6(40), 605–619. doi: 10.1016/S0028-3932(01)00157-9

Sörman D.E., Hansson P., Ljungberg J.K. Different features of bilingualism in relation to executive functioning. *Frontiers in Psychology*, 2019, No. 10, 413771. doi: 10.3389/fpsyg.2019.00269

Soveri A., Antfolk J., Karlsson L., Salo B., Laine, M. Working memory training revisited: A multi-level meta-analysis of n-back training studies. *Psychonomic Bulletin & Review*, 2017, No. 4(24), 1077–1096. doi: 10.3758/s13423-016-1217-0

Spiegel J.A., Goodrich J.M., Morris B.M., Osborne C.M., Lonigan C.J. Relations between executive functions and academic outcomes in elementary school children: A meta-analysis. *Psychological Bulletin*, 2021, No. 4(147), 329–351. doi: 10.1037/bul0000322

van den Berg F., Brouwer J., Tienkamp T.B., Verhagen J., Keijzer M. Language Entropy Relates to Behavioral and Pupil Indices of Executive Control in Young Adult Bilinguals. *Frontiers in Psychology*, 2022, No. 13, 864763. doi: 10.3389/fpsyg.2022.864763

Veraksa A., Tvardovskaya A., Gavrilova M., Yakupova V., Musálek M. Associations between executive functions and physical fitness in preschool children. *Frontiers in Psychology*, 2021, No. 12, 674746. doi: 10.3389/fpsyg.2021.674746

Wagner D., Bekas K., Bialystok E. Does language entropy shape cognitive performance? A tale of two cities. *Bilingualism: Language and cognition*, 2023, No. 26(5), 998–1008. doi: 10.1017/S1366728923000202

Wiseheart M., Viswanathan M., Bialystok E. Flexibility in task switching by monolinguals and bilinguals. *Bilingualism: Language and Cognition*, 2016, No. 1(19), 141–146. doi: 10.1017/S1366728914000273

Xie W., Altarriba J., Ng B.C. Bilingualism, Culture, and Executive Functions: Is There a Relationship? *Languages*, 2022, No. 4(7), 247. doi: 10.3390/languages7040247

Yang H., Tng G.Y.Q., Ng G.R., Ng W.Q. Bilingual interactional contexts predict executive functions in older adults. *Bilingualism: Language and Cognition*, 2023, No. 26(1), 36–47. doi: 10.1017/S1366728922000190

Yang H., Tng G.Y., Ng W.Q., Yang S. Bilingual profiles differentially predict executive functions during early childhood: A latent profile analysis. *Bilingualism: Language and Cognition*, 2023, No. 27(1), 164–177. doi: 10.1017/S1366728923000263

Приложения

Приложение А

Таблица А1

Результаты моделей связи языковой энтропии в трех контекстах взаимодействия («дом», «университет», «свободное время») с компонентами «когнитивная гибкость», «рабочая память», «планирование»

Переменные	Коэффициент регрессии (в единицах стандартного отклонения)	Стандартная ошибка	95% доверительные интервалы	p-значение
Предикторы				
<i>Компонент «когнитивная гибкость»</i>				
(Intercept)	46,04	6,06	34,16; 57,93	< 0,0001

Home_entropy	1,71	2,87	–3,91; 7,33	0,55
Free_entropy	0,74	2,53	–4,22; 5,70	0,77
Uni_entropy	1,94	3,35	–4,62; 8,50	0,56
SES	0,26	0,39	–0,51; 1,03	0,51
CityMaykop	5,61	3,52	–1,28; 12,50	0,12
IQ	0,0005	0,05	–0,10; 0,10	0,99
Home_entropy:CityMaykop	–5,24	4,05	–13,18; 2,71	0,20
Free_entropy:CityMaykop	–0,80	3,69	–8,03; 6,44	0,83
Uni_entropy:CityMaykop	–3,96	4,60	–12,99; 5,07	0,39
<i>Компонент «рабочая память»</i>				
(Intercept)	27,78	7,84	12,42; 43,14	< 0,001
Home_entropy	–0,59	3,71	–7,86; 6,68	0,87
Free_entropy	1,99	3,27	–4,42; 8,41	0,54
Uni_entropy	1,58	4,33	–6,90; 10,06	0,72
SES	–0,38	0,51	–1,37; 0,61	0,45
CityMaykop	6,48	4,55	–2,43; 15,39	0,16
IQ	0,25	0,07	0,12; 0,38	< 0,001
Home_entropy:CityMaykop	–0,06	5,24	–10,33; 10,21	0,99
Free_entropy:CityMaykop	0,63	4,77	–8,72; 9,98	0,90
Uni_entropy:CityMaykop	–11,14	5,96	–22,82; 0,54	0,07
<i>Компонент «планирование»</i>				
(Intercept)	25,82	6,75	12,60; 39,05	< 0,001

Home_entropy	-0,71	3,19	-6,96; 5,55	0,83
Free_entropy	-0,68	2,82	-6,20; 4,85	0,81
Uni_entropy	-0,64	3,72	-7,94; 6,66	0,86
SES	0,28	0,44	-0,57; 1,14	0,52
CityMaykop	-2,99	3,91	-10,66; 4,68	0,45
IQ	0,23	0,06	0,12; 0,34	< 0,0001
Home_entropy:CityMaykop	-3,44	4,51	-12,29; 5,40	0,45
Free_entropy:CityMaykop	4,98	4,11	-3,07; 13,03	0,23
Uni_entropy:CityMaykop	1,99	5,13	-8,07; 12,04	0,70

Примечания. Модель для компонента «когнитивная гибкость»: $\text{glm}(\text{formula} = \text{cf_total_tscore} \sim \text{Home_entropy} + \text{Free_entropy} + \text{Uni_entropy} + \text{SES} + \text{City} + \text{IQ} + \text{Home_entropy} * \text{City} + \text{Free_entropy} * \text{City} + \text{Uni_entropy} * \text{City})$.

Модель для компонента «рабочая память»: $\text{glm}(\text{formula} = \text{wm_total_tscore} \sim \text{Home_entropy} + \text{Free_entropy} + \text{Uni_entropy} + \text{SES} + \text{City} + \text{IQ} + \text{Home_entropy} * \text{City} + \text{Free_entropy} * \text{City} + \text{Uni_entropy} * \text{City})$.

Модель для компонента «планирование»: $\text{glm}(\text{formula} = \text{plan_total_tscore} \sim \text{Home_entropy} + \text{Free_entropy} + \text{Uni_entropy} + \text{SES} + \text{City} + \text{IQ} + \text{Home_entropy} * \text{City} + \text{Free_entropy} * \text{City} + \text{Uni_entropy} * \text{City})$.

Все модели построены на языке R. Представленные модели используют следующие переменные:

- 1) plan_total_tscore, wm_total_tscore, cf_total_tscore – показатели компонентов «планирование», «рабочая память», «когнитивная гибкость»; измеряются в T score.
- 2) Home_entropy, Uni_entropy, Free_entropy, Work_entropy – энтропии в контекстах «дом», «университет», «свободное время», «работа»; измеряются от 0 до 1, где 0 – использование преимущественно одного языка, 1 – сбалансированное использование двух или более языков.
- 3) City – языковая группа с двумя уровнями (0 – Казань, 1 – Майкоп).

- 4) SES – социально-экономический статус; обозначается уровнем образования матери, измеренным на шкале от 1 (образование ниже, чем среднее общее) до 8 (кандидат наук/доктор наук).
- 5) IQ – коэффициент невербального интеллекта; измеряется культурно-независимым тестом интеллекта (Cattell Culture Fair Intelligence Test, Scale 2, Form A; [Cattell, Cattell, 1973] в IQ score.

Поступила в редакцию: 10 мая 2024 г. Дата публикации: 24 августа 2024 г.

Сведения об авторах

Семенова Елена Юрьевна. Младший научный сотрудник Научного центра когнитивных исследований, Научно-технологический университет «Сириус», Олимпийский проспект, д. 1, 354340 пгт. Сириус, Краснодарский край, федеральная территория «Сириус», Российская Федерация.

E-mail: esem7enova@gmail.com

Линд Катерина Валерьевна. PhD, научный сотрудник Научного центра когнитивных исследований, Научно-технологический университет «Сириус», Олимпийский проспект, д. 1, 354340 пгт. Сириус, Краснодарский край, федеральная территория «Сириус», Российская Федерация. E-mail: lind.kv@talantiuspeh.ru

Логвиненко Татьяна Игоревна. Научный сотрудник Отделения детской и подростковой психиатрии, психосоматики и психотерапии, Университетская клиника, Мюнхенский университет имени Людвига и Максимилиана, Geschwister-Scholl-Platz 1, 80539 Мюнхен, Германия. E-mail: logvinenkota.spb@gmail.com

Григоренко Елена Леонидовна. Доктор психологических наук, профессор Научного центра когнитивных исследований, Научно-технологический университет «Сириус», Олимпийский проспект, д. 1, 354340 пгт. Сириус, Краснодарский край, федеральная территория «Сириус», Российская Федерация. E-mail: Elena.Grigorenko@times.uh.edu

Ссылка для цитирования

Семенова Е.Ю., Линд К.В., Логвиненко Т.И., Григоренко Е.Л. Использование технологий виртуальной реальности как экологически валидного инструмента оценки исполнительных функций билингвов. Психологические исследования. 2024. Т. 17, № 95. С. 7. URL: <https://psystudy.ru>

Адрес статьи: <https://doi.org/10.54359/ps.v17i95.1599>

Semenova E.Yu.¹, Lind K.V.¹, Logvinenko T.I.², Grigorenko E.L.¹ Using virtual reality technology as a method for assessing executive functions of bilinguals in ecological settings

¹ Sirius University of Science and Technology, Sirius, Federal Territory «Sirius», Russian Federation

² Ludwig-Maximilians-Universitat Munich, München, Germany

The bilingual advantage hypothesis suggests that bilingualism leads to enhanced executive functions. However, recent systematic reviews and meta-analyses have reported inconsistent results. The variability in tasks used to measure executive functions may contribute to this inconsistency. This paper discusses the use of virtual reality (VR) technology as a method for assessing the executive functions of bilinguals in ecological settings. It also explores the relationship between executive functions and bilingual language experience. The study sample consisted of 114 bilinguals (23.2% male) aged 18 to 33 years ($M = 20.34$; $SD = 2.71$), who spoke either Adyghe ($N = 49$) or Tatar ($N = 66$) in addition to Russian. Cognitive flexibility, working memory, and planning were assessed using the Nesplora Ice Cream test system in a virtual environment. Bilingual language experience was measured using the language entropy method. This study is one of the first to demonstrate the feasibility of using VR technology to assess bilinguals' executive functions in ecological settings. Given the novelty of the instrument, further research, including studies involving different age groups, is needed to establish its reliability.

Keywords: bilingualism, executive functions, VR-technology, language entropy, cognitive flexibility, working memory, planning

Acknowledgements

We are grateful to «JUNTI PSYCHOMETRICS RUS» for providing access to the Nesplora Ice Cream test system.

Funding

This work was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Agreement No. 075-10-2021-093; Project COG-RND-2138).

References

Alrwaita N., Houston-Price C., Meteyard L., Voits T., Pliatsikas C. Executive functions are modulated by the context of dual language use: diglossic, bilingual and monolingual older adults. *Bilingualism-Language and Cognition*, 2023, No. 27(1), 178–203. doi: 10.1017/S1366728923000056

Anderson J.A.E., Mak L., Keyvani Chahi A., Bialystok E. The language and social background questionnaire: Assessing degree of bilingualism in a diverse population. *Behavior Research Methods*, 2018, No. 50(1), 250–263. doi:10.3758/s13428-017-0867-9

Au J., Sheehan E., Tsai N., Duncan G.J., Buschkuehl M., Jaeggi S.M. Improving fluid intelligence with training on working memory: a meta-analysis. *Psychonomic bulletin & review*, 2015, No. 22, 366–377. doi: 10.3758/s13423-014-0699-x

Ayenigbara I.O. Preventive Measures against the Development of Dementia in Old Age. *Korean Journal of Family Medicine*, 2022, No. 3(43), 157–167. doi: 10.4082%2Fkjm.21.0030

Berryman N., Bherer L., Nadeau S., Lauzière S., Lehr L., Bobeuf F., ... & Bosquet L. Executive functions, physical fitness and mobility in well-functioning older adults. *Experimental gerontology*, 2013, No. 48(12), 1402–1409. doi: 10.1016/j.exger.2013.08.017

Bialystok E. *Bilingualism in development: Language, literacy, and cognition*. – Cambridge: Cambridge University Press, 2001.

Bialystok E. Cognitive Effects of Bilingualism: How Linguistic Experience Leads to Cognitive Change. *International Journal of Bilingual Education and Bilingualism*, 2007, No. 3(10), 210–223. doi: 10.2167/beb441.0

Bialystok E., Craik F.I.M. How does bilingualism modify cognitive function? Attention to the mechanism. *Psychonomic Bulletin & Review*, 2022, No. 29(4), 1246–1269. doi: 10.3758/s13423-022-02057-5

Blair C., Razza R.P. Relating Effortful Control, Executive Function, and False Belief Understanding to Emerging Math and Literacy Ability in Kindergarten. *Child Development*, 2007, No. 2(78), 647–663. doi: 10.1111/j.1467-8624.2007.01019.x

Blumenfeld H.K., Marian V. Bilingualism influences inhibitory control in auditory comprehension. *Cognition*, 2011, No. 2(118), 245–257. doi: 10.1016/j.cognition.2010.10.012

Borgnis F., Baglio F., Pedroli E., Rossetto F., Uccellatore L., Oliveira J.A.G., ... & Cipresso P. Available Virtual Reality-Based Tools for Executive Functions: A Systematic Review. *Frontiers in Psychology*, 2022, No. 13, 833136. doi: 10.3389/fpsyg.2022.833136

Cattell R.B., Cattell A.K. Measuring intelligence with the culture fair tests. – Champaign, IL: Institute for Personality and Ability Testing, 1973.

Chan R.C., Shum D., Touloupoulou T., Chen E.Y. Assessment of executive functions: Review of instruments and identification of critical issues. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 2008, No. 2(23), 201–216. 10.1016/j.acn.2007.08.010

Chen Y.-Q., Hsieh S. The relationship between internet-gaming experience and executive functions measured by virtual environment compared with conventional laboratory multitasks. *PLOS ONE*, 2018, No. 6(13), e0198339. doi: 10.1371/journal.pone.0198339

Cho I., Park J., Song H.J., Morton J.B. Disentangling language status and country-of-origin explanations of the bilingual advantage in preschoolers. *Journal of Experimental Child Psychology*, 2021, No. 212, 105235. doi: 10.1016/j.jecp.2021.105235

Dedyukina M.I. Assessment of the relationship between bilingualism indicators and indicators of cognitive and emotional development of senior preschool children. *Bulletin of the North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov. Series: Pedagogy. Psychology. Philosophy*, 2023, No. 3(31), 65–71. doi: 10.25587/2587-5604-2023-3- 65-71 (in Russian)

Degirmenci M.G., Grossmann J.A., Meyer P., Teichmann B. The role of bilingualism in executive functions in healthy older adults: A systematic review. *International Journal of Bilingualism*, 2022, No. 26(4), 426–449. doi: 10.1177/13670069211051291

De Greeff J.W., Bosker R.J., Oosterlaan J., Visscher C., Hartman E. Effects of physical activity on executive functions, attention and academic performance in preadolescent children: a meta-analysis. *Journal of science and medicine in sport*, 2018, No. 21(5), 501–507. doi: 10.1016/j.jsams.2017.09.595

Diamond A. Executive Functions. *Annual Review of Psychology*, 2013, No. 1(64), 135–168. doi: 10.1146/annurev-psych-113011-143750

Federal State Statistics Service. All-Russian Population Census 2020, 2020. https://rosstat.gov.ru/vpn/2020/Tom5_Nacionalnyj_sostav_i_vladenie_yazykami (in Russian)

Ferguson H.J., Brunsdon V.E.A., Bradford E.E.F. The developmental trajectories of executive function from adolescence to old age. *Scientific Reports*, 2021, No. 1(11), 1382. doi: 10.1038/s41598-020-80866-1

Fernandez M.A., Rebon-Ortiz F., Saura-Carrasco M., Climent G., Diaz-Orueta U. Ice Cream: new virtual reality tool for the assessment of executive functions in children and adolescents: a normative study. *Frontiers in Psychology*, 2023, No. 14, 1196964. doi: 10.3389/fpsyg.2023.1196964

Filippi R., Ceccolini A., Periche-Tomas E., Bright P. Developmental trajectories of metacognitive processing and executive function from childhood to older age. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 2020, No. 11(73), 1757–1773. doi: 10.1177/1747021820931096

Friedman N.P., Robbins T.W. The role of prefrontal cortex in cognitive control and executive function. *Neuropsychopharmacology*, 2022, No. 1(47), 72–89. doi: 10.1038/s41386-021-01132-0

Frischen U., Schwarzer G., Degé F. Music lessons enhance executive functions in 6- to 7-year-old children. *Learning and Instruction*, 2021, No. 74, 101442. doi: 10.1016/j.learninstruc.2021.101442

Gallo F., Myachykov A., Nelyubina M., Shtyrov Y., Kubiak J., Terekhina L., Abutalebi J. Linguistic distance dynamically modulates the effects of bilingualism on executive performance in aging. *Bilingualism: Language and Cognition*, 2023, 1–10. doi: 10.1017/S1366728923000743

Garmendia J., Labayru G., Aliri J., de Munain A.L., Sistiaga A. Executive functions and daily functioning in myotonic dystrophy type 1 ecological assessment with virtual reality. *Neuromuscular Disorders*, 2023, No. 12(33), 917–922. doi: 10.1016/j.nmd.2023.10.006

Giovannoli J., Martella D., Federico F., Pirchio S., Casagrande M. The impact of bilingualism on executive functions in children and adolescents: A systematic review based on the PRISMA method. *Frontiers in Psychology*, 2020, No. 11, 574789. doi: 10.3389/fpsyg.2020.574789

Green D.W., Abutalebi J. Language control in bilinguals: The adaptive control hypothesis. *Journal of Cognitive Psychology*, 2013, No. 5(25), 515–530. doi: 10.1080/20445911.2013.796377

Grundy J.G., Pavlenko E., Bialystok E. Bilingualism modifies disengagement of attention networks across the scalp: A multivariate ERP investigation of the IOR paradigm. *Journal of Neurolinguistics*, 2020, No. 56, 100933. doi: 10.1016/j.jneuroling.2020.100933

Guarino A., Favieri F., Boncompagni I., Agostini F., Cantone M., Casagrande M. Executive functions in Alzheimer disease: A systematic review. *Frontiers in aging neuroscience*, 2019, No. 10, 437. doi: 10.3389/fnagi.2018.00437

Gullifer J.W., Titone D. Compute language entropy with {languageEntropy}, 2018. <https://github.com/jasongullifer/languageEntropy>. doi:10.5281/zenodo.1406201

Gullifer J.W., Pivneva I., Whitford V., Sheikh N.A., Titone D. Bilingual Language Experience and Its Effect on Conflict Adaptation in Reactive Inhibitory Control Tasks. *Psychological Science*, 2023, No. 34(2), 238–251. doi: 10.1177/09567976221113764

Gullifer J.W., Titone D. Characterizing the social diversity of bilingualism using language entropy. *Bilingualism-Language and Cognition*, 2020, No. 23(2), 283–294. doi: 10.1017/S136672891900002

Gunnerud H.L., Ten Braak D., Reikerås E.K.L., Donolato E., Melby-Lervåg M. Is bilingualism related to a cognitive advantage in children? A systematic review and meta-analysis. *Psychological Bulletin*, 2020, No. 146(12), 1059–1083. doi: 10.1037/bul0000301

Hartanto A., Yang H. Does Early Active Bilingualism Enhance Inhibitory Control and Monitoring? A Propensity-Matching Analysis. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 2019, No. 2(45), 360–378. doi: 10.1037/xlm0000581

Hartanto A., Yang H. The role of bilingual interactional contexts in predicting interindividual variability in executive functions: A latent variable analysis. *Journal of Experimental Psychology: General*, 2020, No. 4(149), 609–633. doi: 10.1037/xge0000672

Huynh Q.-L., Benet-Martínez V., Nguyen A.-M.D. Measuring variations in bicultural identity across U.S. ethnic and generational groups: Development and validation of the Bicultural Identity Integration Scale – Version 2 (BIIS-2). *Psychological Assessment*, 2018, No. 12(30), 1581–1596. doi: 10.1037/pas0000606

Kałamała P., Walther J., Zhang H., Diaz M., Senderecka M., Wodniecka Z. The use of a second language enhances the neural efficiency of inhibitory control: An ERP study. *Bilingualism*, 2022, No. 25(1), 163–180. doi: 10.1017/S1366728921000389

Kane M.J., Hambrick D.Z., Conway A.R.A. Working memory capacity and fluid intelligence are strongly related constructs: comment on Ackerman, Beier, and Boyle (2005). *Psychological Bulletin*, 2005, No. 131(1), 66–71. doi: 10.1037/0033-2909.131.1.66

Khotinets V.Yu., Gilmullina L.G. Planning and self-control in cognitive regulation of junior school-children with unbalanced eritage bilingualism. *Vestnik Udmurtskogo universitet. Series «Philosophy. Psychology. Pedagogy»*, 2021, No. 31(3), 271–280. doi: 10.35634/2412-9550-2021-31-3-271-280 (in Russian)

Lehtonen M., Soveri A., Laine A., Järvenpää J., De Bruin A., Antfolk J. Is bilingualism associated with enhanced executive functioning in adults? A meta-analytic review. *Psychological Bulletin*, 2018, No. 144(4), 394–425. doi: 10.1037/bul0000142

Leschenko Yu.E. The hypothesis of cognitive advantages in bilingualism: an experimental study with speakers of Permian-Komi Russian bilingualism. *Yearbook of Finno-Ugric Studies*, 2022, No. 2, 214–226. doi: 10.35634/2224-9443-2022-16-2-214-226 (in Russian)

Li X., Ng K.K., Wong J.J.Y., Lee J.W., Zhou J.H., Yow W.Q. Bilingual language entropy influences executive functions through functional connectivity and signal variability. *Brain and Language*, 2021, No. 222, 105026. doi: 10.1016/j.bandl.2021.105026

Lowe C.J., Cho I., Goldsmith S.F., Morton J.B. The Bilingual Advantage in Children's Executive Functioning Is Not Related to Language Status: A Meta-Analytic Review. *Psychological Science*, 2021, No. 32(7), 1115–1146. doi: 10.1177/0956797621993108

Luk G. Justice and equity for whom? Reframing research on the “bilingual (dis)advantage”. *Applied Psycholinguistics*, 2023, No. 44(3), 301–315. doi: 10.1017/S0142716422000339

Martin-Rhee M.M., Bialystok E. The development of two types of inhibitory control in monolingual and bilingual children. *Bilingualism: Language and Cognition*, 2008, No. 11(1), 81–93. doi: 10.1017/S1366728907003227

Miyake A., Friedman N.P. The Nature and Organization of Individual Differences in Executive Functions: Four General Conclusions. *Current Directions in Psychological Science*, 2012, No. 21(1), 8–14. doi: 10.1177/0963721411429458

Morales J., Calvo A., Bialystok E. Working memory development in monolingual and bilingual children. *Journal of Experimental Child Psychology*, 2013, No. 2(114), 187–202. doi: 10.1016/j.jecp.2012.09.002

Naeem K., Filippi R., Periche-Tomas E., Papageorgiou A., Bright P. The Importance of Socioeconomic Status as a Modulator of the Bilingual Advantage in Cognitive Ability. *Frontiers in Psychology*, 2018, No. 9, 1818. doi: 10.3389/fpsyg.2018.01818

Paap K. R., Johnson H. A., Sawi O. Bilingual advantages in executive functioning either do not exist or are restricted to very specific and undetermined circumstances. *Cortex*, 2015, 69, 265–278. doi: 10.1016/j.cortex.2015.04.014

Paap K.R., Mason L., Anders-Jefferson R. Predictions about the cognitive consequences of language switching on executive functioning inspired by the adaptive control hypothesis fail more often than not. *Brain Sciences*, 2021, No. 9(11), 1217. doi: 10.3390/brainsci11091217

Paap K.R., Sawi O. The role of test-retest reliability in measuring individual and group differences in executive functioning. *Journal of Neuroscience Methods*, 2016, No. 274, 81–93. doi: 10.1016/j.jneumeth.2016.10.00

Pasarín-Lavín T., García T., Rodríguez C., Núñez J.C., Areces D. Divergent thinking and Executive functions in children: A developmental perspective based on intellectual capacity. *Thinking Skills and Creativity*, 2024, No. 51, 101466. doi: 10.1016/j.tsc.2024.101466

Peeters D. Bilingual switching between languages and listeners: Insights from immersive virtual reality. *Cognition*, 2020, No. 195, 104107. doi: 10.1016/j.cognition.2019.104107

Poarch G.J., van Hell J.G. Executive Functions and Inhibitory Control in Multilingual Children: Evidence from Second-Language Learners, Bilinguals, and Trilinguals. *Journal of Experimental Child Psychology*, 2012, No. 4(113), 535–551. doi: 10.1016/j.jecp.2012.06.013

Poncet F., Swaine B., Dutil E., Chevignard M., Pradat-Diehl P. How do assessments of activities of daily living address executive functions: A scoping review. *Neuropsychological Rehabilitation*, 2017, No. 5(27), 618–666. doi: 10.1080/09602011.2016.1268171

Prior A., MacWhinney B.A. Bilingual Advantage in Task Switching. *Bilingualism: Language and Cognition*, 2010, No. 2(13), 253–262. doi: 10.1017/S1366728909990526

Privitera A., Weekes B. Scoping review of research practices in the investigation of bilingual effects on inhibition and attention in young people. *International Journal of Bilingualism*, 2022, No. 27(5), 749–775. doi: 10.1177/13670069221121498

Rodriguez-Gomez D.A., Talero-Gutierrez C. Effects of music training in executive function performance in children: A systematic review. *Frontiers in Psychology*, 2022, No. 13, 968144. doi: 10.3389/fpsyg.2022.968144

RStudio Team. *RStudio: Integrated Development for R*. RStudio, PBC, Boston, MA, 2020. <http://www.rstudio.com/>

Ratiu I., Azuma T. Assessment of executive function in bilingual adults with history of mild traumatic brain injury. *Brain Impairment*, 2020, No. 1(21), 32–46. doi: 10.1017/BrImp.2019.17

Salthouse T.A. Is flanker-based inhibition related to age? Identifying specific influences of individual differences on neurocognitive variables. *Brain and Cognition*, 2010, No. 1(73), 51–61. doi: 10.1016/j.bandc.2010.02.003

Shilling V.M., Chetwynd A., Rabbitt P.M.A. Individual inconsistency across measures of inhibition: an investigation of the construct validity of inhibition in older adults. *Neuropsychologia*, 2002, No. 6(40), 605–619. doi: 10.1016/S0028-3932(01)00157-9

Sörman D.E., Hansson P., Ljungberg J.K. Different features of bilingualism in relation to executive functioning. *Frontiers in Psychology*, 2019, No. 10, 413771. doi: 10.3389/fpsyg.2019.00269

Soveri A., Antfolk J., Karlsson L., Salo B., Laine, M. Working memory training revisited: A multi-level meta-analysis of n-back training studies. *Psychonomic Bulletin & Review*, 2017, No. 4(24), 1077–1096. doi: 10.3758/s13423-016-1217-0

Spiegel J.A., Goodrich J.M., Morris B.M., Osborne C.M., Lonigan C.J. Relations between executive functions and academic outcomes in elementary school children: A meta-analysis. *Psychological Bulletin*, 2021, No. 4(147), 329–351. doi: 10.1037/bul0000322

van den Berg F., Brouwer J., Tienkamp T.B., Verhagen J., Keijzer M. Language Entropy Relates to Behavioral and Pupil Indices of Executive Control in Young Adult Bilinguals. *Frontiers in Psychology*, 2022, No. 13, 864763. doi: 10.3389/fpsyg.2022.864763

Veraksa A., Tvardovskaya A., Gavrilova M., Yakupova V., Musálek M. Associations between executive functions and physical fitness in preschool children. *Frontiers in Psychology*, 2021, No. 12, 674746. doi: 10.3389/fpsyg.2021.674746

Wagner D., Bekas K., Bialystok E. Does language entropy shape cognitive performance? A tale of two cities. *Bilingualism: Language and cognition*, 2023, No. 26(5), 998–1008. doi: 10.1017/S1366728923000202

Wiseheart M., Viswanathan M., Bialystok E. Flexibility in task switching by monolinguals and bilinguals. *Bilingualism: Language and Cognition*, 2016, No. 1(19), 141–146. doi: 10.1017/S1366728914000273

Xie W., Altarriba J., Ng B.C. Bilingualism, Culture, and Executive Functions: Is There a Relationship? *Languages*, 2022, No. 4(7), 247. doi: 10.3390/languages7040247

Yang H., Tng G.Y.Q., Ng G.R., Ng W.Q. Bilingual interactional contexts predict executive functions in older adults. *Bilingualism: Language and Cognition*, 2023, No. 26(1), 36–47. doi: 10.1017/S1366728922000190

Yang H., Tng G.Y., Ng W.Q., Yang S. Bilingual profiles differentially predict executive functions during early childhood: A latent profile analysis. *Bilingualism: Language and Cognition*, 2023, No. 27(1), 164–177. doi: 10.1017/S1366728923000263

Information about authors

Semenova Elena Yurievna. Junior Researcher at the Center for Cognitive Sciences, Sirius University of Science and Technology, Olympiysky Ave., b. 1, 354340 Sirius, Federal Territory «Sirius», Krasnodar Territory, Russian Federation.

E-mail: esem7enova@gmail.com

Lind Katerina Valerievna. PhD in Population Health, Research Fellow at the Center for Cognitive Sciences, Sirius University of Science and Technology, Olympiysky Ave., b. 1, 354340 Sirius, Federal Territory «Sirius», Krasnodar Territory, Russian Federation.

E-mail: lind.kv@talantiuspeh.ru

Logvinenko Tatiana Igorevna. Research Fellow at Department of Child and Adolescent Psychiatry, Psychosomatics and Psychotherapy, University Hospital, Ludwig-Maximilians-Universitat Munich, Geschwister-Scholl-Platz 1, Munich, Germany.

E-mail: logvinenkota.spb@gmail.com

Grigorenko Elena Leonidovna. PhD in General and educational psychology, PhD in Developmental psychology and genetics, professor at the Center for Cognitive Sciences, Sirius University of Science and Technology, Olympiysky Ave., b. 1, 354340 Sirius, Federal Territory «Sirius», Krasnodar Territory, Russian Federation.

E-mail: Elena.Grigorenko@times.uh.edu

For citation: Semenova E.Yu., Lind K.V., Logvinenko T.I., Grigorenko E.L. Virtual reality technology as an ecologically valid tool for assessing executive functions of bilinguals. *Psikhologicheskie Issledovaniya*, 2024, Vol. 17, No. 95, p. 7. <https://psystudy.ru>