Спиридонов В.Ф.[1], Ерофеева М.А.[1,2], Кловайт Н.О.[1,2], Ардисламов В.В.[1], Морозов М.И.[1], Здилар С.[1] Репликация эффектов интерактивного решения задач спичечной алгебры

Spiridonov V.F.[1], Erofeeva M.A.[1,2], Klowait N.O.[1,2], Ardislamov V.V.[1], Morozov M.I.[1], Zdilar S.[1] ***Interactive problem solving revisited: Replicating the effects of interactivity using matchstick algebra problems***

[1]Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации, Москва, Россия

[2]Московская высшая школа социальных и экономических наук, Москва, Россия

Один из многообещающих вариантов внедрения моторной активности в процесс решения мыслительных задач был предложен в статье Weller и коллег. В ходе «интерактивного» условия эксперимента испытуемые могли взаимодействовать с реальными предметами, составлявшими проблемную ситуацию. Эта экспериментальная манипуляция привела к значимому увеличению успешности решения большинства использованных задач спичечной алгебры. С учетом того, что задачи различались по источникам сложности, трудно предложить один (или общий) вариант движений решателя, который мог бы объяснить одинаковое положительное влияние интерактивного условия на успешность решения задач разной степени сложности. Чтобы удостовериться в точности полученных результатов и оценить перспективность подобной экспериментальной манипуляции, мы провели концептуальную репликацию названного исследования в трех экспериментальных сериях, нацеленных: 1) на проверку эффектов интерактивного условия, 2) на расширенную репликацию тех же эффектов, поскольку она включала в себя экспериментальные условия, предполагающие разную степень моторной активности решателя, 3) на расширенную репликацию тех же эффектов, так как она содержала условия с максимально выраженной интерактивностью, благодаря использованию технологий виртуальной реальности. Кроме того, мы увеличили список зависимых переменных: помимо успешности решения было использовано количество эпистемических и прагматических действий решателя. Увеличение количества первых может свидетельствовать о переносе части когнитивных функций на окружающую предметную среду. Ни в одном случае мы не смогли реплицировать результаты коллег. Хотя во второй серии эксперимента эпистемических действий было значимо больше, это никак не повлияло на успешность решения. Обсуждаются потенциал и проблемы интерактивного решения и его роль для изучения воплощенного познания.

Спиридонов В.Ф., Ерофеева М.А., Кловайт Н.О., Ардисламов В.В., Морозов М.И., Здилар С….
Ключевые слова*:* репликация, интерактивное решение, аффорданс, эпистемические действия, виртуальная реальность

Все больше разноплановых данных свидетельствует о тесной связи между моторикой и восприятием, моторикой и когнитивными функциями. Причем эта связь, на объяснение которой претендуют теории воплощенного познания [Barsalou, 2008; Prinz, 1997], обнаруживается в самых разных сферах: моторное научение [Taylor, Ivry, 2013], распознавание движений [Gallese et al., 1996] или эмоциональных состояний другого человека [Zajonc, Pietromonaco, Bargh, 1982], совместные репрезентации [Loehr, Sebanz, Knoblich, 2013], существование аффордансов – предметов или поверхностей, активирующих определенные моторные действия с ними [Gibson, 1979], запоминание учебной информации [Carbonneau, Marley, Selig, 2013; Chu, Kita, 2011; Lindgren, 2015] и др. Аналогичные явления обнаружены и в процессе решения некоторых мыслительных задач, когда предварительная тренировка (моторный прайминг) выполнения определенных движений решателя оказывает существенное влияние на эффективность его решения [Werner, Raab, 2013, exp. 2; Tamura, Miwa, 2013, exp. 1]. Не стали здесь исключением и те задачи, в которых движения решателя включены в состав решения (скажем, в задаче 9 точек необходимо физически соединить точки карандашом на бумаге). Для них получены похожие результаты [Kershaw, Ohlsson, 2004, exp. 1-3; Werner, Raab, 2013, exp. 1].

Один из многообещающих вариантов внедрения моторной активности в процесс решения задачи был предложен в статье [Weller, Villejoubert, Vallée-Tourangeau, 2011]. В ней авторы разрабатывают процедуру *интерактивного решения задачи*: в ходе эксперимента испытуемые могут взаимодействовать с реальными предметами (“трехмерной репрезентацией” задачи). Это, по мнению Веллер и коллег, обеспечивает пространственную реорганизацию физических репрезентаций задачи, что и приводит к ее упрощению. Проведенные эксперименты показывают, что интерактивное решение влечет за собой увеличение успешности решения разных типов задач [Weller et al., 2011, Vallée-Tourangeau et al., 2015; Vallée-Tourangeau et al., 2016; Vallée-Tourangeau et al., 2016; Henok et al., 2020].

При этом эффекты интерактивного решения проблематичны. Интерактивность вводилась Веллер и коллегами в эксперимент через создание физической (материальной) репрезентации задачи и возможности манипулировать ею. Такая экспериментальная процедура должна была приблизить решение задач к естественным условиям, в которых, согласно некоторым теориям воплощенного познания [например, Wilson, Clark, 2009], мышление задействует как внутренние,

так и внешние ресурсы. Впоследствии авторы в рамках системной модели мышления (Systemic Thinking Model, SysTM) [Vallée-Tourangeau, Vallée-Tourangeau, 2017; Henok et al., 2020] сформулировали предсказание о том, что увеличение *возможностей* физической манипуляции репрезентацией задачи способствует увеличению доли успешных решений. Это происходит потому, что взаимодействие с аффордансами окружающей среды трансформирует воспринимаемую информацию и тем самым способствует переструктурированию ментальной репрезентации задачи. В стороне, однако, остался вопрос, что побуждает решателей пользоваться этими возможностями, при том, что другие исследования цитируемых авторов [см. Vallée-Tourangeau et al., 2015; Vallée-Tourangeau et al., 2016; Ross, Vallée-Tourangeau, 2021] свидетельствуют, что испытуемые не всегда взаимодействуют с материальными объектами в процессе решения.

Просто наличие возможности манипуляции еще не делает среду эксперимента интерактивной (побуждающей решателя взаимодействовать с физической репрезентацией задачи). Даже если мы предоставим решателю все возможности для действия в реальной или виртуальной среде с предметами, составляющими условия экспериментальной задачи, с опорой на их аффордансы, то это никак не гарантирует поведенческой, а не только ментальной, активности решателя. Переход к нементальным действиям должен быть мотивирован для решателя какими-либо ощутимыми преимуществами, которые он получает в этом случае: приближение к решению, снижение нагрузки на рабочую память и т.п. (безусловно, речь не обязательно идет об осознанном решении). Только тогда интерактивное условие эксперимента станет по-настоящему интерактивным. По-видимому, это рассуждение может быть распространено на самые разные интерактивные среды.

Возникает ключевой вопрос о том, можно ли в принципе увеличить интерактивность решения «по запросу» – за счет каких-то особенностей экспериментальной парадигмы. Кроме того, исследование Веллер и коллег демонстрирует универсальное влияние интерактивного условия на успешность решения различных типов задач спичечной алгебры, которые включают в себя разные источники сложности. Последние не были дифференцированы в обсуждаемом эксперименте. Если опираться на общепринятый анализ задач спичечной алгебры [Knoblich et al., 1999], то ослабление ограничений в одних типах задач и расщепление чанков в других, по-видимому, должны быть связаны с различными движениями решателя, направленными на разные части условий задачи (подробнее см. ниже).

С учетом вышесказанного разумно провести концептуальную репликацию процитированного эксперимента [Weller et al,, 2011]. Под концептуальной репликацией мы понимаем не просто воспроизведение интересующего нас эксперимента, но и попытку проверить сформулированные гипотезы (в нашем случае – о позитивном влиянии интерактивного условия на эффективность решения) с помощью дополнительных зависимых переменных (количества прагматических и эпистемических действий решателя в ходе решения). Она позволит, во-первых, воспроизвести / не воспроизвести эффекты, обнаруженные авторами, т.е. оценить, есть ли связь между интерактивным условием эксперимента и источниками сложности задач спичечной алгебры. Во-вторых, оценить возможность создания экспериментальной среды с разной степенью интерактивности и ее влияние на успешность решения задач.

Задачи спичечной алгебры

Впервые в экспериментах такие задачи были использованы в работе [Knoblich et al., 1999]. Испытуемым на экране компьютера предъявлялись неверные уравнения, составленные из спичек / палочек (см. Рис. 1). Задача состояла в том, чтобы переложить одну спичку так, чтобы получилось верное равенство. С опорой на выявленные источники сложности авторы выдвинули гипотезы об их сравнительной трудности. В целом, решение подобных задач связано с преодолением двух источников сложности: той или иной плотностью перцептивных чанков и разнотипных ограничений, которые маскируют путь к решению. Соответственно, нахождение ответа связано с расщеплением таких чанков и ослаблением некоторых ограничений.

Задача типа A предполагает ослабление числового ограничения (римское число в уравнении может быть изменено только арифметической операцией с ним) и расщепление рыхлого чанка (нужно «оторвать» I от IV и перенести на другое место). Задача типа B предлагает ослабление ограничения арифметического знака (знак арифметической операции изменять нельзя) вдобавок к числовому ограничению и расщепление рыхлого чанка (нужно «оторвать» I от «+» и перенести в состав числа). Задача типа C предполагает ослабление тавтологического ограничения (форма уравнения неизменна) и расщепление рыхлого чанка (нужно «оторвать» I от «+» и переложить в знак «=»). Задача типа D предполагает ослабление числового ограничения и расщепление плотного чанка (нужно перемещением одной спички превратить X в V). На основании сказанного были сделаны предсказания: 1) задача типа A проще для решения, чем задача типа B, которая, в свою очередь, проще задачи типа C; и 2) задача типа D

сложнее для решения, чем задача типа А. Эти гипотезы были подтверждены экспериментально [Knoblich et al., 1999].

Проблематичность эффектов интерактивного решения применительно к задачам спичечной алгебры

Отталкиваясь от процитированных результатов, Веллер и коллеги предлагают ряд объяснений возможного позитивного влияния интерактивности на успешность решения задач спичечной алгебры, не останавливаясь ни на одном окончательно. Их рассуждения касаются нескольких до некоторой степени совместимых возможностей:

1) Исходная репрезентация задачи организована с помощью перцептивных чанков, которые затрудняют решение. Движения решателя помогают переструктурировать эту исходную неадекватную репрезентацию. Например, римская цифра "X", представленная двумя материальными трехмерными спичками, лежащими на столе, возможно, представляет собой более простой случай для ослабления перцептивного чанка по сравнению с плоской печатной формой той же цифры.

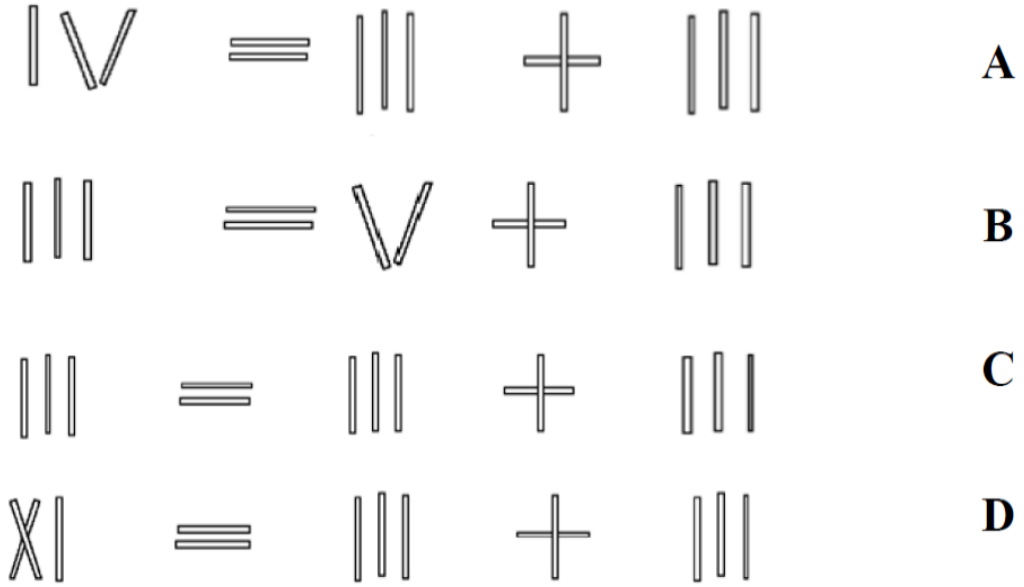

Рис. 1. Задачи спичечной алгебры из [Knoblich et al., 1999].

2) Движения решателя направлены на поиск или конструирование внешних артефактов, которые могут служить источником новых идей и гипотез. По нашему мнению, этот вариант

плохо применим к задачам спичечной алгебры, поскольку обычно никаких дополнительных внешних артефактов в ходе решения подобных задач не возникает и решателями не используется.

3) Внешние артефакты могут снижать когнитивную нагрузку. Однако эти внешние ресурсы не просто разгружают рабочую память: манипулирование объектами облегчает понимание, позволяя перейти к более адекватной репрезентации задачи. Это происходит за счет того, что задача становится более наглядной и детальной, что делает «заметными» те ее элементы, которые до сих пор были «невидимы» решателю. Это связано и с вовлечением в решение внешних предметов с их свойствами за счет реальных физических действий с ними. Здесь опять можно привести рассмотренный выше пример с римской цифрой X.

4) Движения решателя могут непреднамеренно направить его внимание на незамеченные ранее аспекты репрезентации или

5) Позволить ему использовать аффордансы материальных объектов, включенных в задачу.

Сомнительно, что совокупность предложенных коллегами идей позволяет объяснить полученные экспериментальные результаты. С учетом описанных выше несовпадающих источников сложности объяснять эффективность интерактивного решения для задач типов A, B, C и D нужно *по-разному.* Ослабление разных типов ограничений и расщепление перцептивных чанков явно требует от решателя *различных* движений. Например, вполне можно предложить варианты движений, направленных на расщепление чанка в задачах A и D. Когда участники руками “разрывают” число на отдельные спички, они физически разрушают соответствующие чанки. Но трудно предложить тип движений, которые бы ослабляли тавтологическое ограничение и «подсказывали» другую форму уравнения, что повышало бы успешность решения задачи C. Однако именно он требуется в рамках работы Веллер и коллег, чтобы объяснить полученные экспериментальные результаты. В этих условиях разумно попробовать реплицировать как процедуру, так и результаты процитированного эксперимента [Weller et al., 2011].

Как ни странно, психология решения задач до сих пор находится в стороне от репликации экспериментов. За редким исключением [Chuderski et al., 2021] практически не известны

попытки воспроизвести эксперименты, проведенные в рамках изучения роли воплощенного познания в решении задач и инсайтного решения. Все это делает актуальной репликацию обсуждаемого эксперимента в контексте масштабного кризиса репликации [Open Sci. Collab., 2015; Camerer et al., 2018; Klein et al., 2018].

Тем более важно, что предметом репликации должна выступить и сама процедура интерактивного решения задачи – побуждает ли интерактивная среда эксперимента решателя совершать моторные действия, и какие? Как показывает обсуждение выше, позитивная роль интерактивности в ходе решения может быть различной. При этом, трудно считать наличие или отсутствие интерактивности единой экспериментальной манипуляцией: как количество, так и типы движений решателей могут сильно варьироваться. Об этом свидетельствуют и более поздние исследования цитируемых авторов [см. Vallée-Tourangeau et al., 2015; Vallée-Tourangeau et al., 2016]. Таким образом, репликация процедуры интерактивного решения должна включать в себя различные варианты интерактивности, по крайней мере, различающиеся по степени ее выраженности. Ведь в подобных условиях эффективность решения задач спичечной алгебры, в соответствии с позицией Веллер и коллег, должна разниться.

Еще одним содержательно необходимым направлением репликации цитируемого эксперимента служит анализ новых зависимых переменных помимо успешности решения. Именно анализ дополнительных показателей экспериментальной манипуляции может служить аргументом за или против эффективности интерактивного решения. В качестве такой зависимой переменной разумно использовать количество эпистемических действий. Это внешние физические действия, которые ускоряют и облегчают выполнение ментальных действий (в противоположность прагматическим действиям, направленным непосредственно на достижение решения задачи). Роль эпистемических действий в повышении эффективности была экспериментально продемонстрирована в работе [Kirsh, Maglio, 1994] на материале игры в Тетрис (критический анализ понятия эпистемических действий см. в [Loader, 2012]). Учитывая, что такие действия были обнаружены при решении различных задач и в креативном мышлении в целом [Kirsh, 2010, 2014, 2013; Esteves et al., 2013; Chandrasekera, Yoon, 2015], увеличение их количества могло бы гипотетически послужить общим объяснением повышения эффективности решения разнотипных задач спичечной алгебры. Скажем, это могло бы происходить за счет разгрузки когнитивной системы в ходе решения или более точного представления о свойствах материала задачи. К важной роли эпистемических действий апеллируют и Веллер с коллегами.

Цель и формы репликации эксперимента с задачами спичечной алгебры

Мы провели три репликационные серии экспериментов.

Эксперимент 1 направлен на концептуальную репликацию эффекта, обнаруженного в цитируемом эксперименте Веллер и коллег. Он позволит проверить, можно ли с помощью одной и той же экспериментальной манипуляции повысить эффективность решения разных по своим источникам сложности задач. Гипотезы этого эксперимента совпадают с гипотезами оригинального исследования: интерактивное условие обеспечивает более высокую успешность решения задач спичечной алгебры по сравнению со статичным условием.

Эксперимент 2 предлагает расширенную репликацию оригинального исследования, которая позволит сравнить различные по степени интерактивности варианты решения задач спичечной алгебры. Помимо «бумажного» условия, предполагающего минимальное количество движений решателя, разумно создать условия, провоцирующие нарастание моторной активности решателя, и оценить их влияние на успешность решения. Гипотезы этого эксперимента расширяют гипотезы оригинального исследования: чем более интерактивными являются условия, тем к более высокой успешности решения задач спичечной алгебры они приводят.

Для того чтобы создать условия максимально выраженной интерактивности, в **Эксперименте 3** мы использовали технологии виртуальной реальности (VR), позволяющие имитировать сенсомоторные репрезентации различных предметных ситуаций и провоцирующие активное поведение человека в виртуальном окружении. Хотя потенциал таких технологий для исследований человеческого поведения был признан давно [Loomis et al., 1999], их использование для репликации психологических экспериментов стало обсуждаться только в последнее время [Olk, 2018; Zender et al., 2019]. В проведенных репликационных исследованиях возможность переноса психологических экспериментов в виртуальные пространства была продемонстрирована экспериментально [Olk, 2018; Zender et al., 2019].

Таким образом, расширенная репликация обсуждаемого эксперимента в условиях VR позволит проанализировать интерактивное решение при очень высокой вовлеченности решателя во взаимодействие с задачей. Гипотеза Эксперимента 3: в VR более интерактивное условие

обеспечит более высокую успешность решения задач спичечной алгебры.

Нам неизвестны прямые обоснования использования VR для усиления интерактивного решения, хотя VR уже применялся в психологии решения задач [Wang et al., 2018]. Косвенным аргументом “за” служит тот факт, что количество эпистемических действий, в том числе предполагающих моторную активность, не снижается при работе с цифровыми интерфейсами [Esteves et al., 2013]. К этому следует добавить, что, с системной точки зрения, которой придерживаются Валле-Туранжо и коллеги [Vallée-Tourangeau, Vallée-Tourangeau, 2017], материальная репрезентация задачи определяет набор аффордансов, которые направляют и ограничивают движения решателя. Однако эти аффордансы используются решателем далеко не во всех случаях, что приводит к существенной доле неинтерактивных решений даже в интерактивной экспериментальной среде [Vallée-Tourangeau et al., 2015]. Это может быть связано с тем, что среда перенасыщена различными аффордансами, что отвлекает внимание решателей от релевантных элементов задачи.

В таком случае для увеличения интерактивного характера решения необходимо создать такую экспериментальную среду, в которой только релевантные аффордансы будут привлекать внимание решателя. Использование определенных аффордансов связано с двумя условиями: текущими интересами и способностями воспринимающего субъекта. Первое условие выполняется автоматически благодаря самой экспериментальной ситуации, которая включает в себя четкую инструкцию решателю, задающую цель его поведения. Для выполнения второго условия достаточно сузить доступный набор аффордансов до исключительно релевантных, что означает создание максимально простой экспериментальной среды, где ничего не будет отвлекать от процесса решения. Это и позволяют сделать технологии VR.

В условиях VR экспериментальная манипуляция (перекладывание той или иной спички) опосредована контроллером, который является продолжением реальной физической руки испытуемого и при этом крайне сужает вариативность взаимодействия с виртуальными объектами. Иными словами, контроллер является инструментом, который ограничивает использование аффордансов окружающих объектов до того уровня, который является релевантным для этого инструмента, т.е. для решения задачи.

В качестве дополнительной зависимой переменной, направленной на проверку эффективности интерактивного решения задач, мы использовали количество эпистемических действий, которые

совершил решатель в ходе решения. Дополнительные гипотезы во всех экспериментах связывают общее число эпистемических действий с успешностью решения: чем больше эпистемических действий, тем успешнее решаются экспериментальные задачи.

Таким образом, мы осуществили три разных варианта репликации эксперимента из работы [Weller et al., 2011]. В отличие от оригинальной работы мы не анализировали предикторы успешности решения задач спичечной алгебры, измеряемые с помощью тестов.

Эксперимент 1. Репликация эффекта

Выборка

Испытуемые-студенты (N = 105, M = 19.6; Sd = 1.84; женщины – 79%) в индивидуальном порядке решали задачи. Испытуемые получали баллы по психологическим дисциплинам за участие в эксперименте. Все испытуемые давали информированное согласие в письменном виде в соответствии с Хельсинкской декларацией.

Процедура и материалы

До начала решения задач экспериментатор проверял знание испытуемым римских цифр. Для этого он записывал в случайном порядке римскими цифрами числа от единицы до 12 на листах бумаги и просил испытуемого назвать их. Испытуемые, совершившие более двух ошибок, были отсеяны. После этого испытуемые в случайном порядке попадали в интерактивную или статичную экспериментальную группу. Каждая группа решала четыре задачи спичечной алгебры – по одной типа A, B, C и D (их условия приведены на рис. 1). Задачи для решения были напечатаны на листах бумаги формата А4 и предъявлялись по одной вместе с письменной инструкцией. На решение каждой задачи испытуемому отводилось 5 мин. Когда отведенное время заканчивалось, задача считалась нерешенной. Порядок предъявления задач определялся с помощью латинского квадрата.

Испытуемые интерактивной экспериментальной группы (“свободная сборка”) действовали по аналогии с экспериментом Веллер и коллег. Сначала они должны были выложить предъявленную задачу на магнитной доске формата А4 из пластмассовых магнитных палочек длиной 5,5 см, а затем решить ее. Испытуемые сидели за столом; магнитная доска лежала на столе горизонтально (см. Рис. 2). Хронометраж начинался с того момента, когда испытуемый

заканчивал раскладку палочек. В ходе всей процедуры с испытуемыми первой экспериментальной группы велась сплошная видеозапись для последующего анализа моторной активности.

Для испытуемых статичной экспериментальной группы (“статичное условие”) задачи с помощью палочек на доске выкладывал экспериментатор; во время раскладывания он просил испытуемых закрывать глаза. В ходе решения испытуемые статичной группы не имели права трогать палочки и сообщали о своем решении, указывая экспериментатору словами, какую именно палочку нужно переложить и куда.

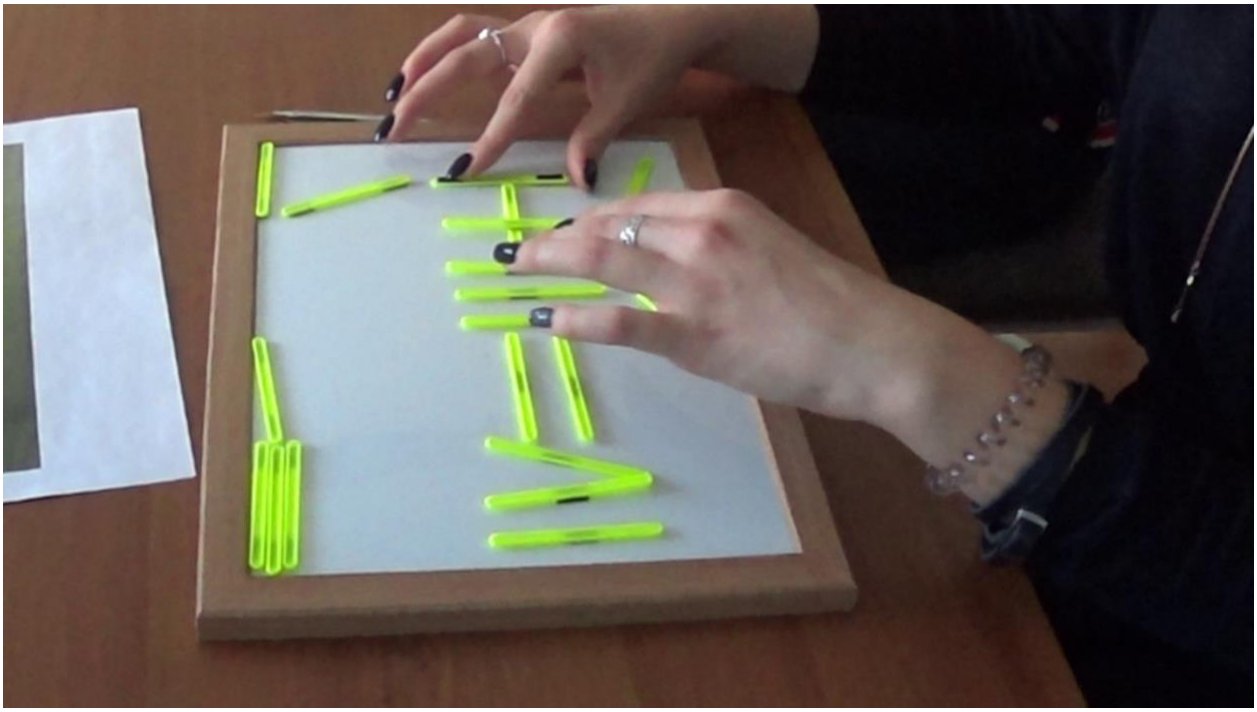

Рис. 2. Интерактивное условие Эксперимента 1.

Результаты

1) Влияние интерактивного решения

Для обработки данных был использован дисперсионный анализ (ANOVA) с повторными измерениями 2×4 с внутрисубъектным фактором Тип задач (A, B, C, D) и межсубъектным фактором Условие (Свободная сборка / Статичное). Дисперсионный анализ показал значимое влияние типа задачи на долю успешных решений $F(3, 309) = 16.255$, $p < .001$, $\eta p^2 = .136$. Взаимодействие факторов оказалось незначимым ($F < 1$). Апостериорные парные сравнения с

поправкой Бонферрони для множественных сравнений показали, что задача A решалась значимо успешнее задач C ($p < .001$) и D ($p < .001$); задача B решалась значимо успешнее, чем задача C ($p < .001$) и задача D ($p = .018$); между успешностью решения задач A и B, C и D статистически значимых различий не обнаружено.

Таблица 1

Доля правильных решений в интерактивной и статичной группах

Условие	Задачи							
	A		B		C		D	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
Свободная сборка (N = 54)	.91	.293	.87	.339	.59	.496	.67	.476
Статичное (N = 51)	.94	.238	.80	.401	.59	.497	.69	.469

Примечания. Использованные задачи приведены на Рис. 1.

2) Связь количества эпистемических и прагматических действий с успешностью решения

Схема кодирования движений

Чтобы выделить эпистемические и прагматические действия в интерактивном условии, мы провели анализ видеозаписей процесса решения. На предварительной стадии трое исследователей путем коллективного обсуждения выделили несколько типов движений решателей: 1) “цифры” (палочка перекладывается с одной позиции на другую, но только в рамках цифр); 2) “знаки” (то же самое, но только в рамках знаков арифметических операций); 3) “знаки в цифры” (перемещение палочки из состава арифметического знака в состав цифры); 4) “цифры в воздухе” (манипуляции палочками, составляющими цифры, в воздухе; после манипуляции палочка возвращается на исходное место); 5) “знаки в воздухе” (манипуляции палочками, составляющими знаки, в воздухе; в итоге палочка также возвращается на исходное место); 6) “только пальцы” (манипуляции руками около палочек, составляющих уравнение, или

над ними; палочки не покидают своих мест) (см. Рис. 3-8). Первые три типа движений являются прагматическими действиями, поскольку с их помощью может быть достигнуто правильное решение используемых нами задач. Следующие три типа мы интерпретировали как эпистемические действия, поскольку они способствуют более активному и обширному взаимодействию решателя с материалом задачи (см. обсуждение выше).

Анимированные изображения, иллюстрирующие разные типы движений решателя, приведены в Дополнительных материалах к статье по ссылке

Рис. 3. Тип движения 1: перекладывание из цифры в цифру.

Рис. 4. Тип движения 2: перекладывание из знака в знак.

Рис. 5. Тип движения 3: перекладывание из знака в цифру.

Рис. 6. Тип движения 4: цифры в воздухе (манипуляции палочками, составляющими цифры, в воздухе; в итоге палочка возвращается на исходное место).

Рис. 7. Тип движения 5: знаки в воздухе (манипуляции палочками, составляющими знаки, в воздухе; в итоге палочка также возвращается на исходное место).

Рис. 8. Тип движения 6: только пальцы (манипуляции руками около палочек, составляющих уравнение, или над ними; палочки не покидают своих мест).

Затем этими же тремя исследователями была проведена разметка видеопротоколов, в которых были выделены 6 названных типов движений. После этого все расхождения между тремя разметками были устранены в ходе последовательных групповых обсуждений путем многократного просмотра видеопротоколов.

Таблица 2

Доля индивидуальных протоколов, в которых встречались выделенные эпистемические и прагматические действия в ходе решения всех четырех задач группой “Свободная сборка” в Эксперименте 1 (в скобках - SD)

Задачи	Типы движений					
	Цифры	Знаки	Знаки в цифры	Цифры в воздухе	Знаки в воздухе	Только пальцы

A	.85 (.359)	.02 (.136)	.04 (.272)	.06 (.302)	.02 (.136)	.31 (.820)
B	.35 (.935)	.07 (.264)	.93 (.544)	.2 (.786)	.22 (.839)	.96 (1.654)
C	.61 (.834)	.67 (.614)	.04 (.191)	.2 (.683)	.31 (1.025)	.72 (1.510
D	.85 (.596)	.13 (.391)	.07 (.328)	.13 (.436)	.04 (.272)	.63 (1.263)

Примечания. Условия задач приведены на Рис. 1. Схема кодирования ответов описана на с. 13–14.

Для анализа данных мы применили бинарную логистическую регрессию, использовав количество прагматических и эпистемических действий в качестве предикторов, а успешность решения каждой из задач в качестве зависимой переменной. Предиктором успешности решения задачи A оказалось только количество перекладываний палочек, составляющих цифры: B = 2.770; W = 4.045; p = .044. Для задачи B – “знаки в цифры”: B = 4.305; W = 10.111; p = .001. Предиктором успешности решения задачи C оказалось количество перекладываний палочек, составляющих знаки: B = 3.549; W = 16.282; p < .001. Предикторами успешности решения задачи D выступили количество перекладываний палочек, составляющих цифры: B = 2.407; W = 10.399; p = .001 и количество перекладываний палочек, составляющих знаки, B = -3.438; W = 4.637; p = .031.

Обсуждение результатов

В результате проведенной репликации эксперимента Веллер и коллег мы не обнаружили влияния интерактивности на успешность решения задач спичечной алгебры. Только тип задачи влиял на успешность решения. Таким образом, результаты нашей репликации, скорее, напоминают результаты Кноблиха и коллег [Knoblich et al., 1999]. Из четырех предсказаний этого эксперимента (успешность решения задачи A > успешности решения задачи B > успешности решения задачи C; и успешность решения задачи A > успешности решения задачи D) мы воспроизвели три (за исключением того, что успешность решения задачи A > успешности

решения задачи B).

Также, в условии свободной сборки была обнаружена связь между количеством прагматических действий и успешностью решения: для задачи A предиктором оказалось количество перекладываний палочек, составляющих цифры; для задачи B – “знаки в цифры”; для задачи C – количество перекладываний палочек, составляющих знаки; для задачи D – “цифры” и “знаки”. Во всех четырех случаях предикторами выступают именно те прагматические действия, которые непосредственно ведут к получению правильного ответа. Единственное исключение было получено для задачи D, где предиктором выступил еще один вид прагматических действий. Однако в отличие от всех предыдущих случаев он входит в регрессионное уравнение со знаком минус, т.е. чем меньше количество подобных движений, тем успешнее решается задача. Таким образом, наши гипотезы не подтвердились: интерактивное условие не привело к увеличению успешности решения, и количество выделенных эпистемических действий не являлось предиктором успешности ни в одной из экспериментальных задач.

Следующим шагом мы провели расширенную репликацию интересующего нас эксперимента. Чтобы обнаружить эффекты интерактивного решения, мы организовали экспериментальные условия, предполагающие разную степень моторной активности решателя.

Эксперимент 2. Расширенная репликация с различной степенью интерактивности

Выборка

Испытуемые-студенты (N = 85, M = 19.8; Sd = 2.40; женщины – 81%) в индивидуальном порядке решали задачи. Испытуемые получали баллы по психологическим дисциплинам за участие в эксперименте. Все испытуемые давали информированное согласие в письменном виде в соответствии с Хельсинкской декларацией.

Процедура и материалы

Набор задач, процедура проверки знания римских цифр, время, отведенное на решение, индивидуальный характер проведения эксперимента, а также способ определения порядка предъявления задач были идентичны Эксперименту 1. В качестве материала в этом эксперименте мы использовали незаточенные деревянные одноцветные карандаши размером

175 х 7 мм, более удобные для моторных манипуляций решателей, чем относительно маленькие пластмассовые палочки (Рис. 9).

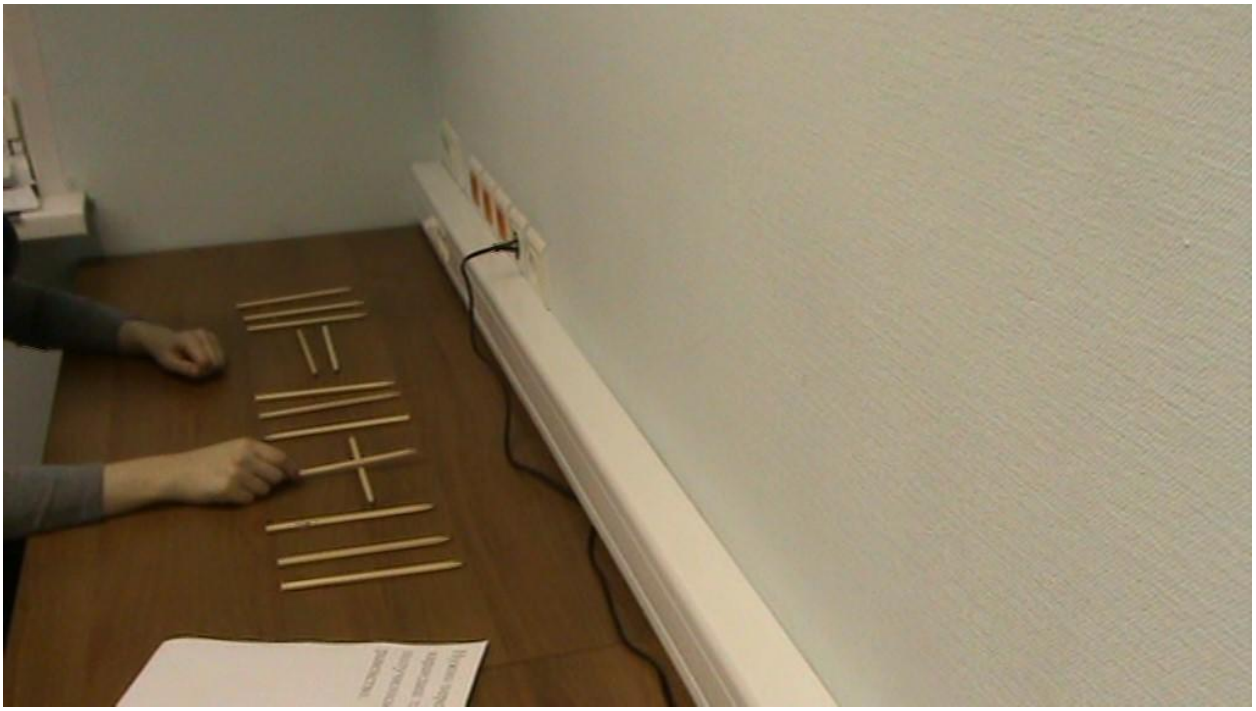

Рис. 9. Интерактивное условие Эксперимента 2.

Пройдя проверку на знание римских цифр, испытуемые в случайном порядке попадали в одну из четырех экспериментальных групп, отличающихся по степени выраженности интерактивности. Условие высокой степени интерактивности (“свободная сборка”) было аналогично интерактивной группе Веллера и коллег. Испытуемые получали фотографию задачи и должны были до начала решения выложить ее из карандашей на столе, после этого фотография убиралась. Хронометраж начинался с того момента, когда испытуемый заканчивал раскладку карандашей. После решения каждой задачи карандаши на столе смешивались в кучу, чтобы избежать любых случайных группировок. Второе условие (“свободное”) предполагало меньшую степень интерактивности. Экспериментальная группа получала инструкцию решать задачу, которая была выложена из карандашей на столе, активно манипулируя карандашами. В третьем условии (“статичном”) интерактивность была ограничена – испытуемым запрещалось двигать руками; они решали задачи, крепко схватив обеими руками край стола, на котором им предъявлялась задача, выложенная из карандашей. Для свободного и статичного условий задачи на столе раскладывал экспериментатор; в этот момент испытуемые сидели с закрытыми глазами. Четвертое условие (“бумажное”) характеризовалось полным отсутствием интерактивности и соответствовало статичной группе у Веллера и коллег. Экспериментальной

группе задачи предъявлялись в виде фотографии тех же карандашей, разложенных на столе. Испытуемым этой группы также запрещалось двигать руками, и они решали задачи, держась за край стола обеими руками. Испытуемые “статичного” и “бумажного” условий сообщали о найденном решении вербально, называя экспериментатору, какой карандаш надо переложить и куда. Хронометраж во всех группах, кроме “свободной сборки”, начинался с просьбы экспериментатора начать решение. Таким образом, мы спроектировали усиленное по сравнению с оригинальным исследованием статичное условие (“бумажное”, в котором мы постарались блокировать все возможные движения руками), статичное условие (“статичное”), интерактивное условие (“свободное”) и усиленное интерактивное условие, аналогичное оригинальному исследованию (“свободная сборка”).

Результаты

1) Влияние интерактивности на успешность решения

Таблица 3

Доля правильных решений в четырех экспериментальных группах

Условие	Задачи							
	A		B		C		D	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
Свободное (N=21)	1	0	.76	.436	.52	.512	1	0
Статичное (N=20)	1	0	.85	.366	.35	.489	.90	.308
Бумажное (N=23)	.96	.209	.87	.344	.52	.511	.83	.388
Свободная сборка (N=22)	1	0	.88	.338	.63	.495	.67	.482

Примечания. Условия задач приведены на Рис. 1.

Для обработки данных был использован дисперсионный анализ (ANOVA) с повторными измерениями 4×4 с внутрисубъектным фактором Тип задач (A, B, C, D) и межсубъектным фактором Условие (Свободное / Статичное / Бумажное / Свободная сборка). Дисперсионный анализ выявил значимое влияние типа задачи на долю успешных решений F (3, 252) = 28,655, p < .001, ηp^2 = .254. Взаимодействие факторов оказалось незначимым (F (3, 9) = 1,976, p = .058, ηp^2 = .066). Апостериорные парные сравнения с поправкой Бонферрони для множественных сравнений показали, что задача A решалась значимо успешнее задач B (p = .003), C (p < .001) и D (p = .004); задача B решалась значимо успешнее, чем задача C (p < .001), задача D решалась значимо успешнее, чем задача C (p < .001). Между успешностью решения задач B и D статистически значимых различий не обнаружено.

2) Связь количества эпистемических и прагматических действий с успешностью решения

Таблица 4

Среднее количество эпистемических и прагматических действий в ходе решения четырех задач для объединенных условий «Свободное» и «Свободная сборка» (в скобках - SD)

Задачи	Типы движений					
	Цифры	Знаки	Знаки в цифры	Цифры в воздухе	Знаки в воздухе	Только пальцы
A	1.10 (.436)	0 (0)	.02 (.156)	.12 (.510)	.05 (.218)	.15 (.358)
B	.98 (1.695)	.12 (.331)	1 (.632)	.85 (1.982)	.56 (1.305)	.24 (.435)
C	1.24 (1.685)	.78 (.759)	.27 (.742)	1.61 (2.509)	1.02. (1.695)	.27 (.449)
D	1.41 (1.095)	.02 (.156)	.05 (.312)	.83 (1.548)	.61 (1.376)	.15 (.358)

Примечания. Использованные задачи приведены на Рис. 1. Схема кодирования описана на с. 13–

Процедура и параметры разметки видеопротоколов полностью совпадали с Экспериментом 1. Разметка была осуществлена теми же тремя исследователями. В ходе обработки данных мы объединили результаты свободного условия и свободной сборки, поскольку между ними не было найдено значимых отличий в показателях моторной активности.

Для анализа данных мы применили бинарную логистическую регрессию, использовав количество прагматических и эпистемических действий в качестве предикторов, а успешность решения каждой из задач в качестве зависимой переменной. Задача A была исключена из анализа, поскольку ее решили все испытуемые. Предиктором успешности решения задачи B оказалось перекладывание знаков в цифры: B = 5.091; W = 11.808; p = .001. Предиктором успешности решения задачи C – перекладывание палочек, составляющих знаки (B = 4.284; W = 11.398; p = .001), и перекладывание палочек, составляющих цифры (B = -1.482; W = 5.682; p = .017). Предиктором успешности решения задачи D оказались манипуляции цифрами в воздухе: B = -.447; W = 3.831; p = .049.

Обсуждение результатов

Результаты Эксперимента 2 в значительной степени совпадают с результатами Эксперимента 1: нам не удалось воспроизвести влияние интерактивного условия, описанное в работе [Weller et al., 2011]. В нашем эксперименте только тип задачи оказывал влияние на успешность ее решения. Результаты нашей репликации практически совпадают с результатами Кноблиха и коллег [Knoblich et al., 1999]. Из четырех предсказаний этого эксперимента мы воспроизвели все.

Также, для двух экспериментальных групп с моторной активностью (свободное условие и свободная сборка) была обнаружена связь между количеством прагматических действий и успешностью решения: для задачи B предиктором оказалось перекладывание знаков в цифры; для задачи C – количество перекладываний палочек, составляющих знаки, и количество перекладываний палочек, составляющих цифры. Для успешности решения этих двух задач предикторами выступают те прагматические движения, которые непосредственно ведут к получению правильного ответа. Для успешности решения задачи D предиктором оказался один из видов эпистемических действий – манипуляции цифрами в воздухе. Однако он, как и еще

один предиктор для задачи С (вариант прагматических действий – количество перекладываний палочек, составляющих цифры), входит в регрессионные уравнения со знаком минус, т.е. чем меньше количество подобных движений, тем успешнее решается задача. Тем не менее, задача D – единственный пример значимой (хотя и негативной) предикции успешности решения со стороны эпистемических действий.

Таким образом, как и в предыдущем эксперименте, наши гипотезы не подтвердились: интерактивное решение не привело к увеличению успешности решения экспериментальных задач, и увеличение количества эпистемических действий не являлось предиктором успешности решения ни одной из задач спичечной алгебры в нашем Эксперименте 2.

Далее мы провели расширенную репликацию эффектов интерактивного решения, создав условия с максимально выраженной интерактивностью. Это было достигнуто благодаря использованию технологий виртуальной реальности.

Эксперимент 3. Расширенная репликация с максимальной интерактивностью (с использованием VR)

Выборка

Испытуемые-студенты (N = 45, M = 19.7; Sd = 2.56; женщины – 71%) в индивидуальном порядке, надев шлем VR, решали задачи. Испытуемые получали баллы по психологическим дисциплинам за участие в эксперименте. Все испытуемые давали информированное согласие в письменном виде в соответствии с Хельсинкской декларацией.

Процедура и материалы

Набор задач, процедура проверки знания римских цифр, время, отведенное на решение, индивидуальный характер проведения эксперимента, а также способ определения порядка предъявления задач были идентичны Эксперименту 1. После проверки знания римских цифр испытуемый помещался в экспериментальное виртуальное пространство – надевал шлем и брал в руку (правую или левую, в зависимости от того, правша он или левша) один контроллер. Перед этим ему сообщалось, что он увидит в виртуальной реальности, а также проговаривалась инструкция по использованию контроллера и экспериментальная инструкция. Экспериментальное виртуальное пространство было запрограммировано на Unity; для

проведения эксперимента использовалась система виртуальной реальности HTC Vive Pro, включающая две базовые станции для отслеживания шлема и контроллеров в пространстве с шестью степенями свободы. Шлем оснащен монитором с разрешением 1440x1600 пикселей для каждого глаза, передающим пространственные видеоданные на частоте 90 Гц с номинальным полем обзора 110 градусов. Шлем дополнен трансмиттером Vive Wireless, что делает его беспроводным и позволяет пользователю свободно передвигаться по виртуальному пространству.

Испытуемые в случайном порядке были распределены между двумя экспериментальными группами с разными интерактивными условиями. Испытуемые Группы 1 (свободное условие) действовали по аналогии с одноименным условием нашего Эксперимента 2. Им предъявлялось уже собранное неверное уравнение, которое они должны были исправить с помощью перекладывания одной палочки (рис. 10). Испытуемые Группы 2 (свободная сборка) действовали по аналогии с испытуемыми в интерактивном условии эксперимента Веллер и коллег и с испытуемыми из условий со свободной сборкой наших Экспериментов 1 и 2. Сначала они должны были выложить предъявленную задачу из виртуальных палочек в специально отведенной зоне, а затем решить ее. Неупорядоченные палочки и условие задачи для выкладывания находились в виртуальном пространстве слева от испытуемых (рис. 11). Мы рассматривали экспериментальное условие со свободной сборкой как более интерактивное, поскольку оно, в соответствии с инструкцией, включало в себя обязательные манипуляции испытуемого с палочками.

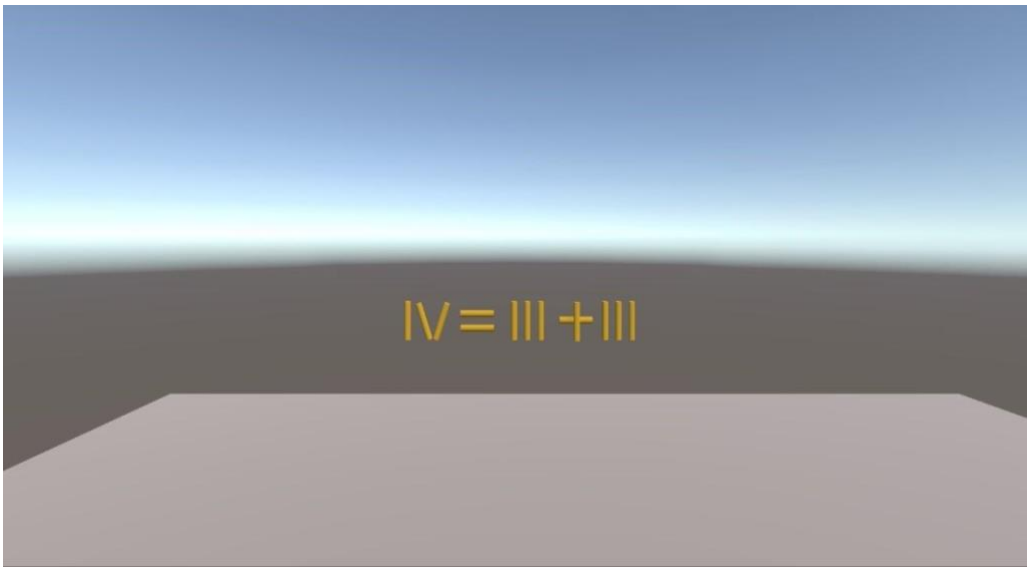

Рис. 10. Свободное условие Эксперимента 3.

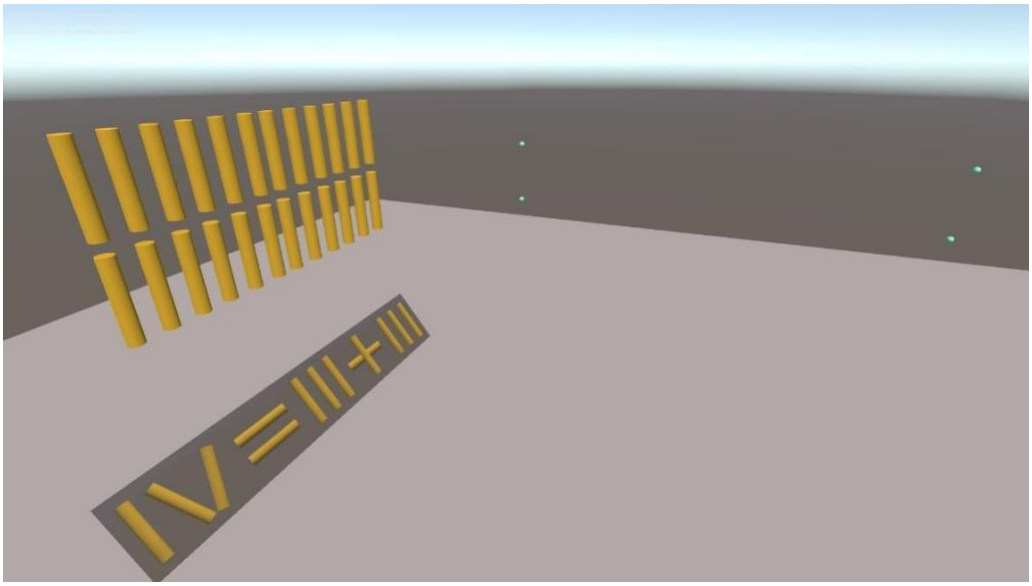

Рис. 11. Условие «Свободная сборка» Эксперимента 3.

Когда испытуемый оказывался в виртуальном пространстве, ему в качестве тренировки использования VR предоставлялась возможность осмотреться и попробовать переложить одну палочку с помощью контроллера (рис. 12). При необходимости инструкция по использованию интерфейса или экспериментальная инструкция повторялись. Хронометраж начинался с того момента, когда экспериментатор говорил: “Решайте”. Задачи для решения предъявлялись по одной посредством перезагрузки виртуального пространства (предыдущее расположение палочек исчезает, и через доли секунды перед глазами испытуемого появляется новая задача). Испытуемые выполняли задание стоя; письменная инструкция находилась в виртуальном пространстве справа от них (рис. 13), а обозначенная с четырех сторон зелеными шариками зона для выкладывания задачи и решения была расположена прямо перед ними (рис. 11). Виртуальные палочки имитировали деревянные палочки небольшой длины. В ходе всей процедуры с испытуемыми обеих экспериментальных групп велась сплошная видеозапись изнутри виртуальной реальности (от первого лица) для последующего анализа моторной активности.

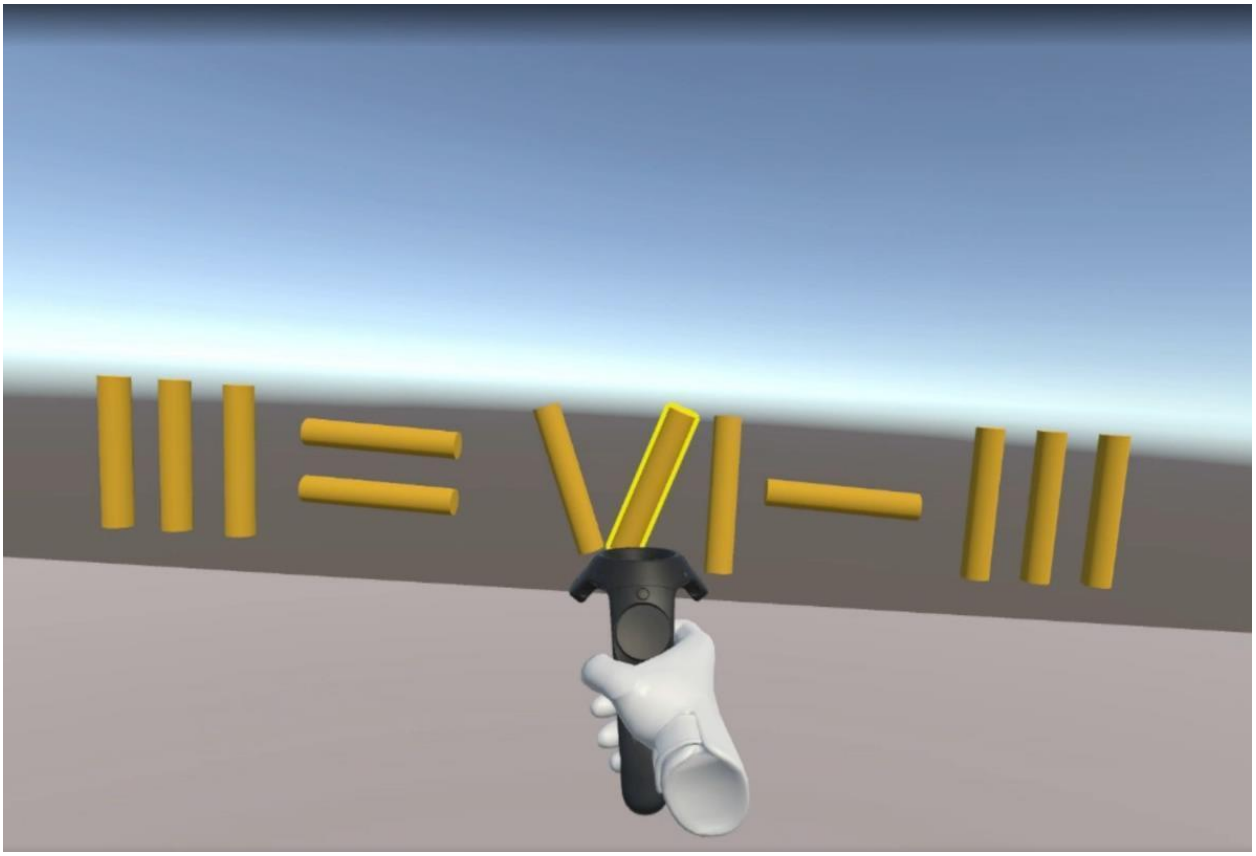

Рис. 12. Физическая манипуляция в VR.

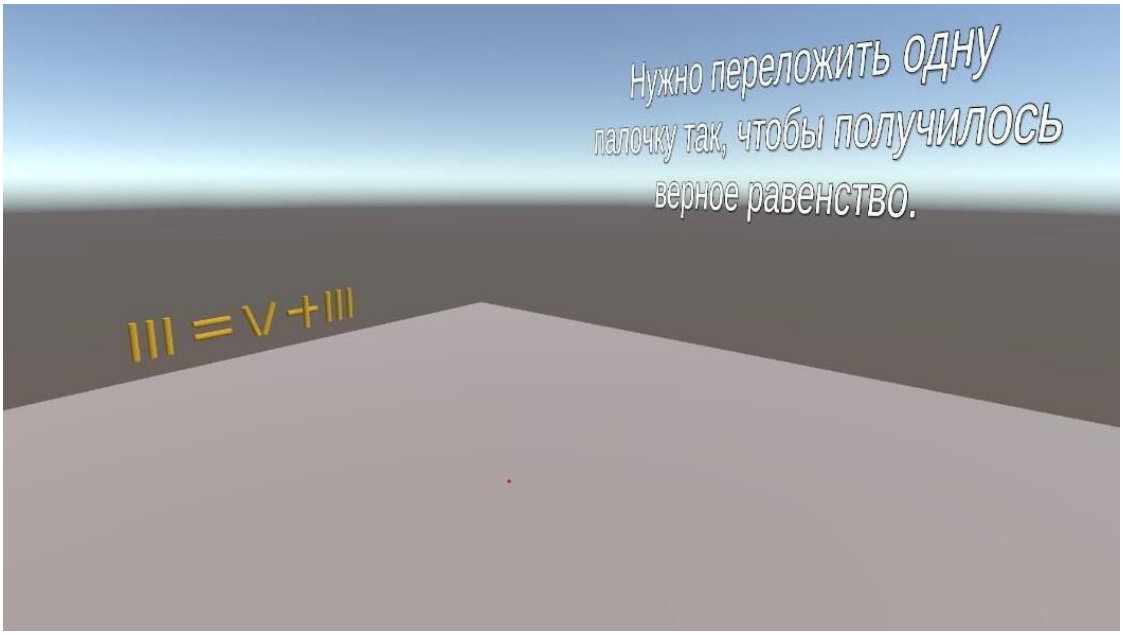

Рис. 13. Положение инструкции решателю в виртуальном пространстве.

В рамках расширенной репликации эксперимента в VR у нас по техническим причинам не было

возможности создать экспериментальную группу со статичным условием. Статичное условие, сопоставимое с нашими Экспериментами 1 и 2, предполагало бы, что испытуемый не совершает перекладывание палочек, а только сообщает о них экспериментатору, который сам передвигает палочку на нужную позицию. Это означает, что испытуемый и экспериментатор должны находиться внутри виртуальной реальности одновременно, что технически не было возможно в условиях нашей лаборатории.

Результаты

1) Влияние интерактивности на успешность решения

Таблица 5

Доля правильных решений в двух экспериментальных условиях с VR

Условие	Задачи							
	A		B		C		D	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	S
Свободное (N = 24)	1	0	.92	.282	.62	.495	.96	.204
Свободная сборка (N = 21)	1	0	.76	.436	.67	.483	.81	.402

Примечания. Использованные задачи приведены на Рис. 1.

Для обработки данных был использован дисперсионный анализ (ANOVA) с повторными измерениями 2×4 с внутрисубъектным фактором Тип задач (A, B, C, D) и межсубъектным фактором Условие (Свободное / Свободная сборка). Дисперсионный анализ показал значимое влияние Типа задачи на долю успешных решений $F (3, 129) = 9.532$, $p < .001$, 〖 ηp〗^2 = .181. Взаимодействие факторов оказалось незначимым $F (3, 3) = 1.121$, $p = .343$, 〖ηp〗^2= .025. Апостериорные парные сравнения с поправкой Бонферрони для множественных сравнений показали, что задача A решалась значимо успешнее задач B ($p = .029$) и C ($p < .001$); задача C решалась значимо успешнее, чем задача D ($p = .045$). В остальных случаях статистически

значимых различий не обнаружено.

2) Связь количества эпистемических и прагматических действий с успешностью решения

Процедура и параметры разметки видеопротоколов полностью совпадали с Экспериментом 1; она была осуществлена теми же тремя исследователями. В ходе обработки данных мы объединили результаты обеих экспериментальных групп, поскольку между ними не было найдено значимых отличий в показателях моторной активности.

Таблица 6

Среднее количество эпистемических и прагматических действий в ходе решения всех четырех задач суммарно обеими экспериментальными группами (в скобках - SD)

Задачи	Типы движений					
	Цифры	Знаки	Знаки в цифры	Цифры в воздухе	Знаки в воздухе	Только пальцы
A	1.09 (.358)	0 (0)	0 (0)	.04 (.298)	.016 (.520)	.20 (.505)
B	.44 (.624)	0 (0)	.93 (.654)	.67 (2.045)	.29 (.661)	.51 (.920)
C	.64 (.802)	.62 (.490)	.04 (.208)	.47 (1.057)	.29 (.626)	.51 (1.218)
D	1.13 (.625)	0 (0)	.07 (.330)	.38 (1.134)	.22 (.795)	.58 (1.323)

Примечания. Использованные задачи приведены на Рис. 1. Схема кодирования ответов описана на с. 13–14.

Для анализа мы применили бинарную логистическую регрессию, использовав количество прагматических и эпистемических действий в качестве предикторов, а успешность решения каждой из задач в качестве зависимой переменной. Задача A была исключена из анализа,

поскольку ее решили все испытуемые. Предиктором успешности решения задачи B выступило перекладывание знаков в цифры: B = 5.443; W = 13.646; p < .001. Для успешности решения задач C и D значимых предикторов обнаружено не было.

3) Сравнение количества эпистемических и прагматических действий в ходе решения задач спичечной алгебры в трех экспериментах

Описательная статистика приведена в Табл. 2, 4 и 6.

Для сравнения количества прагматических действий в трех экспериментах мы использовали дисперсионный анализ (ANOVA) с повторными измерениями 3×4 с внутрисубъектной переменной Количество прагматических действий определенного типа при решении задач A, B, C, D (цифры / знаки / знаки в цифры) и межсубъектной переменной Эксперимент (Эксперимент 1 / Эксперимент 2 / Эксперимент 3). Дисперсионный анализ выявил значимое влияние всех типов прагматических действий на долю успешных решений (F (3, 411) = 14.372, p < .001, ηp^2 = .095; F (3, 411) = 118.835, p < .001, ηp^2 = .464; F (3, 411) = 154.408, p < .001, ηp^2 = .530, соответственно). Взаимодействие факторов во всех трех случаях оказалось незначимым (F < 1). Апостериорные парные сравнения с поправкой Бонферрони для множественных сравнений показали, что количество прагматических действий во всех трех экспериментах значимо не отличалось.

Для сравнения количества эпистемических действий в трех экспериментах мы использовали дисперсионный анализ (ANOVA) с повторными измерениями 3×4 с внутрисубъектной переменной Количество эпистемических действий определенного типа при решении задач A, B, C, D (цифры в воздухе / знаки в воздухе / только пальцы) и межсубъектной переменной Эксперимент (Эксперимент 1 / Эксперимент 2 / Эксперимент 3). Дисперсионный анализ выявил значимое влияние всех типов эпистемических действий на долю успешных решений (F (3, 411) = 9.731, p < .001, ηp^2 = .066; F (3, 411) = 9.947, p < .001, ηp^2 = .068; F (3, 411) = 5.060, p = .002, ηp^2 = .036, соответственно). Взаимодействие факторов оказалось значимым в Экспериментах 1 и 2 (F (3, 6) = 3.121, p = .005, ηp^2 = .044; F (3, 6) = 3.658, p = .002, ηp^2 = .051, соответственно) и незначимым (F < 1) в Эксперименте 3. Апостериорные парные сравнения с поправкой Бонферрони для множественных сравнений показали, что количество манипуляций цифрами в воздухе было значимо больше в Эксперименте 2, чем в Эксперименте 1 (p < .001) и

Эксперименте 3 (p = .026), и количество манипуляций знаками в воздухе было значимо больше в Эксперименте 2, чем в Эксперименте 1 (p = .001) и Эксперименте 3 (p = .013). Остальные сравнения оказались незначимы. Также не было обнаружено значимых различий для манипуляций “только пальцы”.

Обсуждение результатов

Результаты Эксперимента 3 демонстрируют, что, как и в случае Экспериментов 1 и 2, нам не удалось обнаружить влияние более интерактивного условия, описанное в работе [Weller et al., 2011]. В нашем эксперименте только тип задачи оказывал влияние на успешность решения. Результаты нашей репликации в некоторой степени совпадают с результатами Кноблиха и коллег [Knoblich et al., 1999]. Из четырех предсказаний этого эксперимента мы воспроизвели два. Также, была обнаружена связь между количеством прагматических действий и успешностью решения для задачи B – предиктором оказалось перекладывание знаков в цифры. Для задач C и D значимых предикторов ни из состава прагматических, ни из состава эпистемических действий мы не обнаружили.

Таким образом, как и в предыдущем эксперименте, наши гипотезы не подтвердились: более интерактивное условие оказалось не связано с увеличением успешности решения экспериментальных задач. Отсутствие статичного условия (по сути, контрольной группы) не позволяет нам сделать каузальный вывод в данном случае. Отметим, что увеличение количества эпистемических действий не является предиктором успешности решения ни одной из задач спичечной алгебры в данном эксперименте.

Также мы сравнили между собой количество эпистемических и прагматических действий в ходе решения задач спичечной алгебры во всех трех наших экспериментах. Полученные результаты предсказуемо продемонстрировали значимые различия между количеством всех выделенных нами типов прагматических действий в ходе решения четырех задач с разными источниками сложности. Однако значимых различий между тремя экспериментами обнаружено не было. В противоположность этому, при сравнительном анализе количества эпистемических действий мы обнаружили значимые различия между нашими экспериментами. Помимо значимых различий между количеством всех выделенных нами типов эпистемических действий в ходе решения четырех задач с разными источниками сложности оказалось, что наибольшее количество эпистемических действий двух типов (цифры в воздухе / знаки в воздухе) было в Эксперименте

Общее обсуждение

Некоторые теории воплощенного познания указывают на принципиальную роль внешних ресурсов для когнитивного функционирования. Часть исследований [Werner, Raab, 2013; Tamura, Miwa, 2013; Thomas, Lleras, 2009; Vallée-Tourangeau et al., 2015; Vallée-Tourangeau et al., 2016; Vallée-Tourangeau et al., 2016; Henok et al., 2020; Ross, Vallée-Tourangeau, 2021] также свидетельствуют о том, что подобные эффекты наблюдаются и в области решения задач. Это побуждает исследователей изобретать новые процедуры проведения экспериментов, которые дадут возможность оценить влияние моторной активности на процесс решения. Обеспечение *интерактивности* решения должно способствовать повышению его успешности, поскольку аффордансы материальных объектов могут снижать когнитивную нагрузку, предоставлять новую перцептивную информацию, помогать переструктурированию репрезентации задачи. Однако решатели далеко не всегда решают интерактивно даже в соответствующих экспериментальных условиях. Мы исследовали, во-первых, влияет ли степень интерактивности экспериментальной среды на успешность решения; во-вторых, сделали попытку оценить вклад некоторых типов эпистемических и прагматических действий решателя в успешность решения задач различных типов; в-третьих, попытались реплицировать саму процедуру интерактивного решения.

Итоги репликации

Проведенная нами концептуальная репликация эксперимента [Weller et al., 2011] ни в одном из трех случаев не привела к воспроизведению результатов оригинального исследования. Во всех трех использованных нами экспериментальных парадигмах был получен сходный паттерн результатов: мы не обнаружили влияния интерактивного условия на успешность решения задач спичечной алгебры, и только тип задачи оказывал влияние на успешность решения. При этом структура полученных результатов была сходна с результатами эксперимента Кноблиха с коллегами [Knoblich et al., 1999]. В Эксперименте 2 мы полностью воспроизвели его результаты (успешность решения задачи A > успешности решения задачи B > успешности решения задачи C; и успешность решения задачи A > успешности решения задачи D), в существенной степени – в Эксперименте 1 (три из четырех предсказаний), и в некоторой степени в Эксперименте 3 (два из четырех предсказаний).

Также, мы проверили гипотезы о связи количества прагматических и эпистемических действий с успешностью решения. Мы не обнаружили существенного вклада эпистемических действий в успешность решения задач в трех наших экспериментах. Только в одном случае (Эксперимент 2; задача D) один из видов эпистемических действий – манипуляции цифрами в воздухе – являлся отрицательным предиктором успешности. Прагматические действия, напротив, выступили предиктором успешного решения. Однако их роль уменьшалась от эксперимента к эксперименту. В Эксперименте 1 прагматические действия оказались как положительными, так и отрицательными предикторами успешности решения всех четырех задач. В Эксперименте 2 – только для задач B и C. В Эксперименте 3 – только для задачи B.

Мы сравнили количество прагматических и эпистемических действий в интерактивных условиях (свободное и свободная сборка) всех трех наших экспериментов. Оказалось, что различий в количестве прагматических действий между экспериментами не было, а вот количество эпистемических действий различалось (манипуляций цифрами и знаками в воздухе было значимо больше в Эксперименте 2). Полученная нами “пестрая” картина свидетельствует о существенных различиях в эпистемической моторной активности наших испытуемых в ходе решения задач. Несмотря на то, что мы получили относительно сходные паттерны успешности решения задач во всех трех экспериментах, а также убедились в том, что выделенные нами эпистемические действия не вносят существенного вклада в нахождение решения, количество эпистемических действий всех типов значимо различалось в ходе решения всех четырех задач, а количество двух типов эпистемических действий было значимо большим в Эксперименте 2. Подобные результаты свидетельствуют о весьма различном влиянии интерактивности на количественные показатели моторики в ходе решения задач (но не на эффективность решения).

Наши результаты согласуются с результатами качественного анализа, проведенного [Ross, Vallée-Tourangeau, 2021]: авторы зафиксировали отличия в моторном поведении испытуемых, решающих задачу интерактивно (в частности, разным оказалось время взаимодействия с материальными объектами). Эти результаты открывают дискуссию о “мишенях”, на которые оказывает воздействие интерактивность, используемая в качестве экспериментальной манипуляции, и делают необходимым поиск предикторов, предсказывающих влияние интерактивности на *различные* показатели решения *разных типов* мыслительных задач.

Интерактивное решение

В существующих исследованиях интерактивности [Vallée-Tourangeau et al., 2015; Vallée-Tourangeau, Sirota et al., 2016; Vallée-Tourangeau et al., 2016; Henok et al., 2020; Ross, Vallée-Tourangeau, 2021] последняя рассматривается как экспериментальная манипуляция, связанная с возможностью решателя взаимодействовать с материальными артефактами. При этом получены свидетельства того, что простое наличие физической репрезентации задачи не во всех случаях способствует успешному решению [Esteves et al., 2013; Chuderski et al., 2021; Ross, Vallée-Tourangeau, 2021]. В работе [Ross, Vallée-Tourangeau, 2021] Росс и Валле-Туранжо показали, что интерактивность оказывала влияние на успешность выполнения заданий[1] только испытуемыми, решающими их интерактивно. Результаты наших экспериментов не обнаружили связи между интерактивностью и успешностью решения. Также, нам не удалось реплицировать саму процедуру интерактивного решения, т.е. создать такие экспериментальные условия, в которых можно было бы управляемо «наращивать» интерактивность, которая приводила бы к повышению эффективности решения. Во всех наших экспериментах количество прагматических действий, часто выступающих предикторами успешного решения конкретной задачи, оставалось близким. Количество же эпистемических действий, которые не являются предикторами решения, напротив, значимо различалось в экспериментах, но не позволяло испытуемым быть более успешными.

Вышеприведенные свидетельства указывают на то, что необходимо различать *интерактивное условие* (предметную среду эксперимента, с которой можно взаимодействовать) и *интерактивное решение* (активное использование материальных или виртуальных предметов в ходе решения). Представление интерактивности в качестве единой экспериментальной манипуляции затемняет факторы, которые могут оказывать влияние на интерактивное решение. К ним могут относиться и особенности предметной среды эксперимента, и тип задачи, и способ ее предъявления, и индивидуальные особенности решателей и т.д.

В сущности, интерактивность, понимаемая как создание возможностей физической манипуляции предметами в рамках репрезентации задачи, не подходит для проверки эффектов воплощенного познания в чистом виде, поскольку отсутствие ожидаемого эффекта может быть

[1] Авторы модифицировали задачу на генерацию слов из работы [Maglio et al., 1999], в которой испытуемым нужно было придумывать слова на основании семи дощечек с буквами; в интерактивном условии они могли свободно перемещать их руками.

связано с малым количеством интерактивных решений во вполне интерактивном экспериментальном условии. Необходимо разрабатывать такие экспериментальные процедуры, которые позволят стимулировать интерактивный способ решения, и таким образом изучить факторы, увеличивающие его вероятность.

Интерактивная экспериментальная среда способствует обнаружению решателями новых аффордансов для своих прагматических действий [Weller et al., 2011; Ross, Vallée-Tourangeau, 2021; Kirsh, 2010, 2014, 2013]. Однако эти аффордансы используются не во всех случаях. Нашим предположением было то, что разные типы движений могут оказывать различное влияние на процесс решения. Оно было основано на анализе типа задачи: разные источники сложности задач спичечной алгебры могут быть преодолены только на основании действий с различными элементами задачи. Мы опирались на предположение о том, что аффорданс с большей вероятностью будет использован (т.е. обеспечит влияние интерактивного условия), если он будет релевантным для решения *конкретного типа задачи*. Недавнее исследование [Chuderski et al., 2021] говорит в пользу данного предположения: при проверке влияния интерактивности на успешность решения девяти инсайтных задач только в одной задаче (“восемь монет”) был получен позитивный эффект. Авторы полагают, что решение задачи “восемь монет” предполагает пространственное мышление, и поэтому перенесение эксперимента в трехмерное пространство может способствовать его активации.

Анализ влияния эпистемических и прагматических действий на процесс решения косвенно указывает на справедливость нашего предположения. Предиктором успешности решения во всех экспериментах оказались именно прагматические действия, т.е. действия, ведущие к правильному ответу. Они активируются релевантными аффордансами. Например, если для решения задачи типа D необходимо переложить палочку, составляющую цифру, то именно такая экспериментальная манипуляция может подсказывать решателю правильный ответ. Можно предположить, что влияние интерактивности будет проявляться наиболее ярко тогда, когда экспериментальная среда “подсказывает” *релевантные* для решения конкретного типа задачи аффордансы. В Эксперименте 3 мы попытались экспериментально ограничить количество аффордансов исключительно релевантными для решения задач спичечной алгебры *в целом*, однако и такой манипуляции оказалось недостаточно, чтобы запустить интерактивное решение. Это однозначно говорит о том, что проверка эффектов воплощенного познания требует создания экспериментальных процедур, заточенных под конкретный тип задачи.

Виртуальная реальность как инструмент для проведения психологических экспериментов

Технологии VR еще не получили широкого распространения при проведении психологических экспериментов. Тем не менее, существует опыт их использования, в том числе в области решения задач. Однако влияние интерфейса VR на измеряемые эффекты систематически не изучалось. В нескольких исследованиях оценивалось влияние разных типов интерфейсов, но их результаты двусмысленны и до некоторой степени противоречат друг другу. Например, в статье [Chandrasekera, Yoon, 2015] сравнивалось влияние интерфейсов смешанной (AR) и виртуальной (VR) реальности на креативный дизайн и обнаружилось, что при использовании AR испытуемые совершают больше эпистемических действий и более успешны, чем при использовании VR. В то время как результаты [Esteves et al., 2013] говорят о том, что количество эпистемических действий не зависит от используемого интерфейса и что нет однозначной связи между типом интерфейса и успешностью решения задачи.

Наши результаты не обнаружили существенной разницы между тремя вариантами репликации эксперимента с задачами спичечной алгебры. Как и в случае использования реальных физических артефактов (магнитных палочек и карандашей), использование их сенсомоторных репрезентаций в виртуальной реальности не оказало влияния на успешность решения, в то время как тип задачи – оказал. Тем не менее, не все предсказания эксперимента Кноблиха и коллег удалось воспроизвести в условии с VR, что отличает эту экспериментальную парадигму от прочих, в которых репликация результатов этого эксперимента была более успешна. Также в условии с VR связь между количеством прагматических действий и успешностью решения была обнаружена только для одного типа задач, в то время как в первом и втором экспериментах – для существенно большего их числа. Иными словами, хоть результаты репликации в VR в целом согласуются с результатами, полученными в других условиях, они не полностью совпадают.

Вопреки нашим ожиданиям, использование VR не привело к увеличению количества интерактивных решений со стороны испытуемых. Это означает, что релевантные аффордансы, предполагаемые данным условием, не использовались решателями. Есть несколько возможных объяснений этого. Во-первых, как обсуждалось в предыдущем разделе, релевантность аффордансов должна быть связана с типом задачи. Можно предположить, что те наборы аффордансов, которые мы пытались ограничить через проектирование максимально простой

экспериментальной среды, не являются подходящими для исследуемых задач спичечной алгебры. Во-вторых, сам интерфейс может создавать дополнительную когнитивную нагрузку на испытуемого, что нивелирует эффект интерактивности. Это особенно справедливо, когда речь идет о VR, потому что это сравнительно новая технология – практически никто из наших испытуемых не имел опыта использования таких интерфейсов до проведения эксперимента.

Технологии VR – потенциально продуктивный инструмент для проведения психологических экспериментов, в частности в области воплощенного познания, поскольку он позволяет прицельно контролировать возможности взаимодействия с окружающей средой. Однако необходимы дополнительные исследования влияния интерфейса VR на измеряемые эффекты. Использование VR в сериях репликационных исследований может служить хорошим индикатором применимости данной технологии в экспериментальной психологии.

Ограничения исследования

Наша выборка состояла преимущественно из лиц женского пола. Для выявления и анализа количества прагматических и эпистемических действий решателей мы не использовали никаких специальных программных средств (типа ELAN). Использование VR в эксперименте сопряжено с техническими ограничениями, которые повлияли на полученные нами результаты. Самым серьезным ограничением стала невозможность смоделировать статичное условие в Эксперименте 3. Еще одним ограничением стал избранный способ видеозаписи, с помощью которой фиксировались движения решателя: видеозапись велась внутри виртуальной реальности, физическое тело и руки испытуемого не фиксировались. Из-за этого количество эпистемических действий в данном эксперименте может быть занижено, т.к. мы не могли учесть действия, совершаемые испытуемыми с помощью свободной руки.

Заключение

Несмотря на широкую популярность идей “Воплощенного познания”, конкретные психологические механизмы, лежащие в основании тесных связей между сенсорикой и моторикой, с одной стороны, и мышлением – с другой, остаются предметом острых дискуссий. Для экспериментальной проверки эффектов воплощенного познания при решении задач предлагаются разноплановые возможности включения движений в мыслительный процесс. Один из многообещающих вариантов – интерактивное решение – предполагает моторное

взаимодействие с реальными предметами, репрезентирующими задачу, непосредственно в ходе решения [Weller et al., 2011]. Идея о влиянии интерактивного условия на успешность решения задач прошла проверку в рамках нашего исследования и не нашла подтверждения: три разноплановых экспериментальных репликации не смогли воспроизвести оригинальный эффект. Анализ наших результатов позволяет прийти к заключению о том, что интерактивность не возникает автоматически, даже если поместить решателя в подходящее экспериментальное окружение. Таким образом, необходимо последовательно различать интерактивную предметную среду эксперимента, с которой может взаимодействовать решатель, и, собственно, интерактивное решение – активное использование предметов, составляющих эту среду, для достижения решения. Именно поиск психологических факторов, лежащих в основе или активирующих интерактивное решение, представляется наиболее многообещающим направлением дальнейших исследований.

Благодарности

Авторы выражают благодарность К. Курбанову и В. Крючковой за помощь в разметке видеопротоколов, а также двум анонимным рецензентам, замечания которых позволили сделать работу существенно лучше.

Финансирование

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-013-00521.

Литература

Barsalou L.W. Grounded cognition. Annual Review of Psychology, 2008, 59(1), 617–645. doi:10.1146/annurev.psych.59.103006.093639.

Camerer C.F., Dreber A., Holzmeister F., Ho T.H., Huber J., Johannesson M., Kirchler M., Nave G., Nosek B.A., Pfeiffer T., Altmejd A., Buttrick N., Chan T., Chen Y., Forsell E., Gampa A., Heikensten E., Hummer L., Imai T., Isaksson S., Manfredi D., Rose J., Wagenmakers E-J., Wu H. Evaluating the replicability of social science experiments in Nature and Science between 2010 and 2015. Nature Human Behaviour, 2018, 2(9), 637–644. doi:10.1038/s41562-018-0399-z.

Спиридонов В.Ф., Ерофеева М.А., Кловайт Н.О., Ардисламов В.В., Морозов М.И., Здилар С…. Carbonneau K.J., Marley S.C., Selig J.P. (2013). A meta-analysis of the efficacy of teaching mathematics with concrete manipulatives. Journal of Educational Psychology, 105(2), 380–400. doi:10.1037/a0031084.

Chandrasekera T., Yoon S.Y. The Effect of Tangible User Interfaces on Cognitive Load in the Creative Design Process. Proceedings of the 2015 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality - Media, Art, Social Science, Humanities and Design. IEEE: Washington, 2015, pp. 6–8. doi:10.1109/ISMAR-MASHD.2015.18.

Chu M., Kita S. The nature of gestures' beneficial role in spatial problem solving. Journal of Experimental Psychology. General, 2011, 140(1), 102–116. doi:10.1037/a0021790.

Chuderski A., Jastrzębski J., Kucwaj H. How physical interaction with insight problems affects solution rates, hint use, and cognitive load. British Journal of Psychology, 2021, No. 112, 120-143. doi:10.1111/bjop.12442.

Esteves A., van den Hoven E., Oakley I. Physical games or digital games? // S. Jordà, N. Parés (Eds.), Proceedings of the 7th International Conference on Tangible, Embedded and Embodied Interaction - TEI '13. New York: ACM Press, 2013, pp. 167-174. doi:10.1145/2460625.2460651.

Gallese V., Fadiga L., Fogassi L., Rizzolatti G. Action recognition in the premotor cortex. Brain: A Journal of Neurology, 1996, No. 119 (Pt 2), 593–609. doi:10.1093/brain/119.2.593.

Gibson J.J. The ecological approach to visual perception. Dallas, London: Houghton Mifflin, 1979.

Henok N., Vallée-Tourangeau F., Vallée-Tourangeau G. Incubation and interactivity in insight problem solving. Psychological Research, 2020, 84(1), 128–139. doi:10.1007/s00426-018-0992-9.

Kershaw T.C., Ohlsson S. Multiple causes of difficulty in insight: The case of the nine-dot problem. Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 2004, 30(1), 3–13. doi:10.1037/0278-7393.30.1.3.

Kirsh D. Thinking with external representations. AI & SOCIETY, 2010, 25(4), 441–454.

Спиридонов В.Ф., Ерофеева М.А., Кловайт Н.О., Ардисламов В.В., Морозов М.И., Здилар С…. doi:10.1007/s00146-010-0272-8.

Kirsh D. Embodied cognition and the magical future of interaction design. ACM Transactions on Computer-Human Interaction, 2013, 20(1), 1–30. doi:10.1145/2442106.2442109.

Kirsh D. Creativity, Cognition and Material Culture. Pragmatics & Cognition, 2014, 22(1), 5–26. doi:10.1075/pc.22.1.01kir.

Kirsh D., Maglio P. On Distinguishing Epistemic from Pragmatic Action. Cognitive Science, 1994, 18(4), 513–549. doi:10.1207/s15516709cog1804_1.

Klein R. A., Vianello M., Hasselman F., Adams B.G., Adams R.B., Alper S., … Nosek B.A. Many Labs 2: Investigating Variation in Replicability Across Samples and Settings. Advances in Methods and Practices in Psychological Science, 2018, 1(4), 443–490. doi:10.1177/2515245918810225.

Knoblich G., Ohlsson S., Haider H., Rhenius D. Constraint relaxation and chunk decomposition in insight problem solving. Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 1999, 25(6), 1534–1555. doi:10.1037/0278-7393.25.6.1534.

Lindgren R.W. Getting into the cue: Embracing technology-facilitated body movements as a starting point for learning. In: V.R. Lee (Ed.), Learning technologies and the body: Integration and implementation in formal and informal learning environments. New York, Abingdon: Routledge, 2014, pp. 39–54.

Loader P. The epistemic/pragmatic dichotomy. Philosophical Explorations, 2012, 15(2), 219–232. doi:10.1080/13869795.2012.670723.

Loehr J.D., Kourtis D., Vesper C., Sebanz N., Knoblich G. Monitoring individual and joint action outcomes in duet music performance. Journal of Cognitive Neuroscience, 2013, 25(7), 1049–1061. doi:10.1162/jocn_a_00388.

Loomis J.M., Blascovich J.J., Beall A.C. Immersive virtual environment technology as a basic research tool in psychology. Behavior Research Methods, Instruments, & Computers: A Journal of the

Спиридонов В.Ф., Ерофеева М.А., Кловайт Н.О., Ардисламов В.В., Морозов М.И., Здилар С…. Psychonomic Society, 1999, 31(4), 557–564. doi:10.3758/bf03200735.

Myin E., O'Regan J.K. Situated Perception and Sensation in Vision and Other Modalities. // P. Robbins, M. Aydede (Eds.), The Cambridge Handbook of Situated Cognition. Cambridge: Cambridge University Press, 2012, pp. 185–200. doi:10.1017/CBO9780511816826.011.

Olk B., Dinu A., Zielinski D.J., Kopper R. Measuring visual search and distraction in immersive virtual reality. Royal Society Open Science, 2018, 5(5), 172331. doi:10.1098/rsos.172331.

Open Science Collaboration. Estimating the reproducibility of psychological science. Science, 2015, 349(6251), aac4716. doi:10.1126/science.aac4716.

Prinz W. Perception and Action Planning. European Journal of Cognitive Psychology, 1997, 9(2), 129–154. doi:10.1080/713752551.

Ross W., Vallée-Tourangeau F. Catch that word: Interactivity, serendipity and verbal fluency in a word production task. Psychological Research, 2021, No. 85, 842–856. doi:10.1007/s00426-019-01279-y.

Tamura M., Miwa K. Effects of eye movement on forming and relaxing constraints in insight problem solving. The Japanese journal of psychology, 2013, 84(2), 103–111. doi:10.4992/jjpsy.84.103.

Taylor J.A., Ivry R.B. Implicit and Explicit Processes in Motor Learning. In: W. Prinz, M. Beisert, A. Herwig (Eds.), Action Science: Foundations of an emerging discipline. Cambridge, MA; London: The MIT Press, 2013, pp. 63–87. doi:10.7551/mitpress/9780262018555.003.0003.

Thomas L.E., Lleras A. Swinging into thought: Directed movement guides insight in problem solving. Psychonomic Bulletin & Review, 2009, 16(4), 719–723. doi:10.3758/PBR.16.4.719.

Vallée-Tourangeau F., Sirota M., Vallée-Tourangeau G. Interactivity mitigates the impact of working memory depletion on mental arithmetic performance. Cognitive Research: Principles and Implications, 2016, No. 1, 26. doi:10.1186/s41235-016-0027-2.

Vallée-Tourangeau F., Steffensen S.V., Vallée-Tourangeau G., Sirota M. Insight with hands and things.

Спиридонов В.Ф., Ерофеева М.А., Кловайт Н.О., Ардисламов В.В., Морозов М.И., Здилар С…. Acta Psychologica, 2016, No. 170, 195–205. doi:10.1016/j.actpsy.2016.08.006.

Vallée-Tourangeau G., Abadie M., Vallée-Tourangeau F. Interactivity fosters Bayesian reasoning without instruction. Journal of Experimental Psychology. General, 2015, 144(3), 581–603. doi:10.1037/a0039161.

Vallée-Tourangeau G., Vallée-Tourangeau F. Cognition Beyond the Classical Information Processing Model: Cognitive Interactivity and the Systemic Thinking Model (SysTM). // S.J. Cowley, F. Vallée-Tourangeau (Eds.), Cognition Beyond the Brain. Cham: Springer International Publishing, 2017, pp. 133–154. doi:10.1007/978-3-319-49115-8_7.

Wang X., Lu K., Runco M.A., Hao N. Break the "wall" and become creative: Enacting embodied metaphors in virtual reality. Consciousness and Cognition, 2018, No. 62, 102–109. doi:10.1016/j.concog.2018.03.004.

Weller A., Villejoubert G., Vallée-Tourangeau F. Interactive insight problem solving. Thinking & Reasoning, 2011, 17(4), 424–439. doi:10.1080/13546783.2011.629081.

Werner K., Raab M. Moving to Solution. Experimental Psychology, 2013, 60(6), 403–409. doi:10.1027/1618-3169/a00021.

Wilson R.A., Clark A. How to situate cognition: Letting nature take its course. In: The Cambridge handbook of situated cognition. New York, NY, US: Cambridge University Press, 2009, pp. 55–77.

Zajonc R.B., Pietromonaco P., Bargh J. Independence and Interaction of Affect and Cognition. In: M.S. Clark, S.T. Fiske (Eds.), Affect and Cognition. New York: Psychology Press, 1982, pp. 211–228.

Zender R., Knoth A.H., Fischer M.H., Lucke, U. Potentials of Virtual Reality as an Instrument for Research and Education. I-Com, 2019, 18(1), 3–15. doi:10.1515/icom-2018-0042.

Поступила в редакцию 26 июля 2021 г. Дата публикации: 30 октября 2021г.

Сведения об авторах

Спиридонов Владимир Феликсович. Доктор психологических наук, профессор, заведующий Лабораторией когнитивных исследований, факультет психологии, Институт общественных наук, Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации, проспект Вернадского, 82, стр.1, 119571 Москва, Россия.
E-mail: vfspiridonov@gmail.com

Ерофеева Мария Александровна. Кандидат социологических наук, старший научный сотрудник Международного центра современной социологической теории Московской высшей школы социальных и экономических наук, Газетный пер. 3/5, 125009 Москва, Россия; научный сотрудник Центра социологических исследований, Институт общественных наук, Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации, проспект Вернадского, 82, стр.1, 119571 Москва, Россия.
E-mail: erofeeva-ma@universitas.ru

Кловайт Нильс Оливер. Старший научный сотрудник Международного центра современной социологической теории Московской высшей школы социальных и экономических наук, Газетный пер. 3/5, 125009 Москва, Россия; научный сотрудник Центра перспективных социальных исследований, Институт общественных наук, Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации, проспект Вернадского, 82, стр.1, 119571 Москва, Россия.
E-mail: nils.klowait@gmail.com

Ардисламов Владлен Вилевич. Младший научный сотрудник Лаборатории когнитивных исследований, факультет психологии, Институт общественных наук, Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации, проспект Вернадского, 82, стр.1, 119571 Москва, Россия.
E-mail: vladlen.ardislamov@gmail.com

Морозов Максим Игоревич. Научный сотрудник Лаборатории когнитивных исследований, факультет психологии, Институт общественных наук, Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации, проспект Вернадского, 82, стр.1, 119571 Москва, Россия.
E-mail: morozovmaksimmm@gmail.com

Здилар Стево. Младший научный сотрудник Лаборатории когнитивных исследований, факультет психологии, Институт общественных наук, Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации, проспект Вернадского, 82, стр.1, 119571 Москва, Россия.

E-mail: stevovovo@mail.ru

Ссылка для цитирования

Спиридонов В.Ф., Ерофеева М.А., Кловайт Н.О., Ардисламов В.В., Морозов М.И., Здилар С. Репликация эффектов интерактивного решения задач спичечной алгебры. Психологические исследования, 2021, 14(79), 5. http://psystudy.ru

Адрес статьи: http://psystudy.ru/index.php/num/2021v14n79/1941-spiridonov79.html

Спиридонов В.Ф.[1], Ерофеева М.А.[1,2], Кловайт Н.О.[1,2], Ардисламов В.В.[1], Морозов М.И.[1], Здилар С.[1] Концептуальная репликация интерактивного решения задач спичечной алгебры

Spiridonov V.F.[1], Erofeeva M.A.[1,2], Klowait N.O.[1,2], Ardislamov V.V.[1], Morozov M.I.[1], Zdilar S.[1] Interactive problem solving revisited: Replicating the effects of interactivity using matchstick algebra problems

[1] Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, Moscow, Russia

[2] Moscow School of Social and Economic Sciences, Moscow, Russia

The concept of embodied cognition has driven researchers to the creation of novel experimental procedures that would make it possible to evaluate the impact of motor activity on cognitive processes. Among those is the integration of motor activity into the process of problem solving [Weller, Villejoubert, and Vallée-Tourangeau, 2011]. The 'interactive' condition within the Weller et al. [2011] study enabled the participants to interact with physical objects (sticks) while problem-solving. This experimental manipulation substantially increased the success rate for most matchstick algebra problems. Given the differential source of difficulty in these problems [Knoblich et al., 1999], we hesitate to suggest that there is a single (or general) type of motor activity that could explain the uniform effect of interactivity on the success rate. In order to verify these results and to evaluate the effect of interactive problem solving, we carried out a conceptual replication of Weller et al. [2011] study. Three experimental variants were applied: the first variant aimed to evaluate the interactivity effect on the solving, the second variant attempted to vary the amount of motor activity produced by the solver, while the third variant aimed to maximize interactivity through the application of virtual reality technologies. In addition to the success rate, we considered the number of epistemic and pragmatic actions [Kirsh, Maglio, 1994] visible in video-recordings of the individual experimental

instances. An increase in epistemic actions could serve as an indicator of a transfer of a part of the cognitive functions onto the material environment. However, our results failed to replicate the abovementioned effects [Weller et al., 2011]. Despite a substantially higher number of epistemic actions in the second experiment, the success rate remained unaffected. One possible explanation is that the mere possibility of physical manipulation does not automatically make the solving process interactive. We discuss the challenges and outlook of the interactive problem solving, as well as its role in the studies of embodied cognition.

Keywords: replication, interactive problem solving, affordance, epistemic actions, virtual reality

Acknowledgements

The authors would like to express their sincere gratitude to K. Kurbanov and V. Kryuchkova for their help with the annotation of the video protocols. We would like to thank the two anonymous reviewers. Their thoughtful comments have substantially improved this work.

Funding

The reported study was funded by RFBR, project number 20-013-00521.

References

Barsalou L.W. Grounded cognition. Annual Review of Psychology, 2008, 59(1), 617–645. doi:10.1146/annurev.psych.59.103006.093639.

Camerer C.F., Dreber A., Holzmeister F., Ho T.H., Huber J., Johannesson M., Kirchler M., Nave G., Nosek B.A., Pfeiffer T., Altmejd A., Buttrick N., Chan T., Chen Y., Forsell E., Gampa A., Heikensten E., Hummer L., Imai T., Isaksson S., Manfredi D., Rose J., Wagenmakers E-J., Wu H. Evaluating the replicability of social science experiments in Nature and Science between 2010 and 2015. Nature Human Behaviour, 2018, 2(9), 637–644. doi:10.1038/s41562-018-0399-z.

Carbonneau K.J., Marley S.C., Selig J.P. (2013). A meta-analysis of the efficacy of teaching mathematics with concrete manipulatives. Journal of Educational Psychology, 105(2), 380–400. doi:10.1037/a0031084.

Chandrasekera T., Yoon S.Y. The Effect of Tangible User Interfaces on Cognitive Load in the Creative Design Process. Proceedings of the 2015 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality - Media, Art, Social Science, Humanities and Design. IEEE: Washington, 2015, pp. 6–8. doi:10.1109/ISMAR-MASHD.2015.18.

Chu M., Kita S. The nature of gestures' beneficial role in spatial problem solving. Journal of Experimental Psychology. General, 2011, 140(1), 102–116. doi:10.1037/a0021790.

Chuderski A., Jastrzębski J., Kucwaj H. How physical interaction with insight problems affects solution rates, hint use, and cognitive load. British Journal of Psychology, 2021, No. 112, 120-143. doi:10.1111/bjop.12442.

Esteves A., van den Hoven E., Oakley I. Physical games or digital games? In: S. Jordà, N. Parés (Eds.), Proceedings of the 7th International Conference on Tangible, Embedded and Embodied Interaction - TEI '13. New York: ACM Press, 2013, pp. 167-174. doi:10.1145/2460625.2460651.

Gallese V., Fadiga L., Fogassi L., Rizzolatti G. Action recognition in the premotor cortex. Brain: A Journal of Neurology, 1996, No. 119 (Pt 2), 593–609. doi:10.1093/brain/119.2.593.

Gibson J.J. The ecological approach to visual perception. Dallas, London: Houghton Mifflin, 1979.

Henok N., Vallée-Tourangeau F., Vallée-Tourangeau G. Incubation and interactivity in insight problem solving. Psychological Research, 2020, 84(1), 128–139. doi:10.1007/s00426-018-0992-9.

Kershaw T.C., Ohlsson S. Multiple causes of difficulty in insight: The case of the nine-dot problem. Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 2004, 30(1), 3–13. doi:10.1037/0278-7393.30.1.3.

Kirsh D. Thinking with external representations. AI & SOCIETY, 2010, 25(4), 441–454. doi:10.1007/s00146-010-0272-8.

Kirsh D. Embodied cognition and the magical future of interaction design. ACM Transactions on Computer-Human Interaction, 2013, 20(1), 1–30. doi:10.1145/2442106.2442109.

Kirsh D. Creativity, Cognition and Material Culture. Pragmatics & Cognition, 2014, 22(1), 5–26. doi:10.1075/pc.22.1.01kir.

Kirsh D., Maglio P. On Distinguishing Epistemic from Pragmatic Action. Cognitive Science, 1994, 18(4), 513–549. doi:10.1207/s15516709cog1804_1.

Klein R. A., Vianello M., Hasselman F., Adams B.G., Adams R.B., Alper S., . . . Nosek B.A. Many Labs 2: Investigating Variation in Replicability Across Samples and Settings. Advances in Methods and Practices in Psychological Science, 2018, 1(4), 443–490. doi:10.1177/2515245918810225.

Knoblich G., Ohlsson S., Haider H., Rhenius D. Constraint relaxation and chunk decomposition in insight problem solving. Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 1999, 25(6), 1534–1555. doi:10.1037/0278-7393.25.6.1534.

Lindgren R.W. (2014). Getting into the cue: Embracing technology-facilitated body movements as a starting point for learning. In: V.R. Lee (Ed.), Learning technologies and the body: Integration and

implementation in formal and informal learning environments. New York, Abingdon: Routledge, 2014, pp. 39–54.

Loader P. The epistemic/pragmatic dichotomy. Philosophical Explorations, 2012, 15(2), 219–232. doi:10.1080/13869795.2012.670723.

Loehr J.D., Kourtis D., Vesper C., Sebanz N., Knoblich G. Monitoring individual and joint action outcomes in duet music performance. Journal of Cognitive Neuroscience, 2013, 25(7), 1049–1061. doi:10.1162/jocn_a_00388.

Loomis J.M., Blascovich J.J., Beall A.C. Immersive virtual environment technology as a basic research tool in psychology. Behavior Research Methods, Instruments, & Computers: A Journal of the Psychonomic Society, 1999, 31(4), 557–564. doi:10.3758/bf03200735.

Myin E., O'Regan J.K. Situated Perception and Sensation in Vision and Other Modalities. In: P. Robbins, M. Aydede (Eds.), The Cambridge Handbook of Situated Cognition. Cambridge: Cambridge University Press, 2012, pp. 185–200. doi:10.1017/CBO9780511816826.011.

Olk B., Dinu A., Zielinski D.J., Kopper R. Measuring visual search and distraction in immersive virtual reality. Royal Society Open Science, 2018, 5(5), 172331. doi:10.1098/rsos.172331.

Open Science Collaboration. Estimating the reproducibility of psychological science. Science, 2015, 349(6251), aac4716. doi:10.1126/science.aac4716.

Prinz W. Perception and Action Planning. European Journal of Cognitive Psychology, 1997, 9(2), 129–154. doi:10.1080/713752551.

Ross W., Vallée-Tourangeau F. Catch that word: Interactivity, serendipity and verbal fluency in a word production task. Psychological Research, 2021, No. 85, 842–856. doi:10.1007/s00426-019-01279-y.

Tamura M., Miwa K. Effects of eye movement on forming and relaxing constraints in insight problem solving. The Japanese journal of psychology, 2013, 84(2), 103–111. doi:10.4992/jjpsy.84.103.

Taylor J.A., Ivry R.B. Implicit and Explicit Processes in Motor Learning. In: W. Prinz, M. Beisert, A. Herwig (Eds.), Action Science: Foundations of an emerging discipline. Cambridge, MA; London: The MIT Press, 2013, pp. 63–87. doi:10.7551/mitpress/9780262018555.003.0003.

Thomas L.E., Lleras A. Swinging into thought: Directed movement guides insight in problem solving. Psychonomic Bulletin & Review, 2009, 16(4), 719–723. doi:10.3758/PBR.16.4.719.

Vallée-Tourangeau F., Sirota M., Vallée-Tourangeau G. Interactivity mitigates the impact of working memory depletion on mental arithmetic performance. Cognitive Research: Principles and Implications, 2016, No. 1, 26. doi:10.1186/s41235-016-0027-2.

Vallée-Tourangeau F., Steffensen S.V., Vallée-Tourangeau G., Sirota M. Insight with hands and things. Acta Psychologica, 2016, No. 170, 195–205. doi:10.1016/j.actpsy.2016.08.006

Vallée-Tourangeau G., Abadie M., Vallée-Tourangeau F. Interactivity fosters Bayesian reasoning without instruction. Journal of Experimental Psychology. General, 2015, 144(3), 581–603. doi:10.1037/a0039161.

Vallée-Tourangeau G., Vallée-Tourangeau F. Cognition Beyond the Classical Information Processing Model: Cognitive Interactivity and the Systemic Thinking Model (SysTM). In: S.J.Cowley, F. Vallée-Tourangeau (Eds.), Cognition Beyond the Brain. Cham: Springer International Publishing, 2017, pp. 133–154. doi:10.1007/978-3-319-49115-8_7.

Wang X., Lu K., Runco M.A., Hao N. Break the "wall" and become creative: Enacting embodied metaphors in virtual reality. Consciousness and Cognition, 2018, No. 62, 102–109. doi:10.1016/j.concog.2018.03.004.

Weller A., Villejoubert G., Vallée-Tourangeau F. Interactive insight problem solving. Thinking & Reasoning, 2011, 17(4), 424–439. doi:10.1080/13546783.2011.629081.

Werner K., Raab M. Moving to Solution. Experimental Psychology, 2013, 60(6), 403–409. doi:10.1027/1618-3169/a00021.

Wilson R.A., Clark A. How to situate cognition: Letting nature take its course. In: The Cambridge handbook of situated cognition. New York, NY, US: Cambridge University Press, 2009, pp. 55–77.

Zajonc R.B., Pietromonaco P., Bargh J. Independence and Interaction of Affect and Cognition. In: M.S. Clark, S.T. Fiske (Eds.), Affect and Cognition. New York: Psychology Press, 1982, pp. 211–228.

Zender R., Knoth A.H., Fischer M.H., Lucke, U. Potentials of Virtual Reality as an Instrument for Research and Education. I-Com, 2019, 18(1), 3–15. doi:10.1515/icom-2018-0042.

Information about authors

Spiridonov Vladimir F. Doctor of Psychology, professor, head of the Cognitive Research Lab, Department of Psychology, Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, Vernadskogo prosp. 82, b.1, 119571 Moscow, Russia.

E-mail: vfspiridonov@gmail.com

Erofeeva Maria A. PhD, Senior Research Associate at the International Center for Contemporary Sociological Theory, Moscow School of Social and Economic Sciences, Gazetnyj per. 3/5, 125009 Moscow, Russia; Research Associate at the Center for Sociological Research, Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, Vernadskogo prosp. 82, b.1, 119571 Moscow, Russia.

E-mail: erofeeva-ma@universitas.ru

Klowait Nils Oliver. Senior Research Associate at the International Center for Contemporary Sociological Theory, Moscow School of Social and Economic Sciences, Gazetnyj per. 3/5, 125009 Moscow, Russia; Research Associate at the Center for Innovative Social Research, Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, Vernadskogo prosp. 82, b.1, 119571 Moscow, Russia.
E-mail: nils.klowait@gmail.com

Ardislamov Vladlen V. Junior Research Associate at the Cognitive Research Lab, Department of Psychology, Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, Vernadskogo prosp. 82, b.1, 119571 Moscow, Russia.
E-mail: vladlen.ardislamov@gmail.com

Morozov Maxim I. Research Associate at the Cognitive Research Lab, Department of Psychology, Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, Vernadskogo prosp. 82, b.1, 119571 Moscow, Russia.
E-mail: morozovmaksimmm@gmail.com

Zdilar Stevo. Junior Research Associate at the Cognitive Research Lab, Department of Psychology, Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, Vernadskogo prosp. 82, b.1, 119571 Moscow, Russia.
E-mail: stevovovo@mail.ru

To cite this article

Spiridonov V.F., Erofeeva M.A., Klowait N.O., Ardislamov V.V., Morozov M.I., Zdilar S. Interactive problem solving revisited: Replicating the effects of interactivity using matchstick algebra problems. Psikhologicheskie Issledovaniya, 2021, Vol. 14, No. 79, p. 5. http://psystudy.ru