



КОГНИТИВНЫЙ КОНТРОЛЬ И ЧУВСТВО ПРИСУТСТВИЯ В ВИРТУАЛЬНЫХ СРЕДАХ

ВЕЛИЧКОВСКИЙ Б.Б.*, МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия,
e-mail: velitchk@mail.ru

ГУСЕВ А.Н.**, МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия,
e-mail: angusev@mail.ru

ВИНОГРАДОВА В.Ф.***, МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия,
e-mail: vvfedorovna@gmail.com

АРБЕКОВА О.А.****, МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия,
e-mail: inventa17151@gmail.com

Взаимодействие пользователя с системой виртуальной реальности может сопровождаться чувством присутствия – иллюзией реальности виртуальной среды. Возникновение чувства присутствия определяется как технологическими, так и психологическими факторами. В данной работе показано, что чувство присутствия может зависеть от индивидуальных особенностей когнитивного контроля – системы метакогнитивных процессов, обеспечивающих настройку когнитивной сферы на решение конкретных задач с учетом контекста. Обнаружено, что выраженность чувства присутствия может зависеть от эффективности контрольных функций переключения, подавления интерференции и обновления рабочей памяти. При этом зависимости выраженности чувства присутствия от эффективности когнитивного контроля различаются в виртуальных средах с разным уровнем иммерсивности.

Ключевые слова: виртуальная реальность, чувство присутствия, когнитивный контроль, переключение между задачами, подавление интерференции, обновление рабочей памяти.

Чувство присутствия является важным аспектом переживаний человека, взаимодействующего с виртуальной средой (Авербух, 2010; Войскунский, Меньшикова, 2008; Добычина, 2013). Чувство присутствия проявляется в ощущении переноса в виртуальную среду и реальности взаимодействия с находящимися в виртуальной среде объектами (Witmer, Singer, 1998). Чувство присутствия можно определить как иллюзию непосредственного взаимодействия с виртуальной средой без осознания того, что эта среда опосредована той или иной технологией предъявления. Чувство присутствия не влияет прямо на эффектив-

Для цитаты:

Величковский Б.Б., Гусев А.Н., Виноградова В.Ф., Арбекова О.А. Когнитивный контроль и чувство присутствия в виртуальных средах // Экспериментальная психология. 2016. Т. 9. № 1. С. 5–20. doi:10.17759/exppsy.2016090102

*Величковский Б.Б. Кандидат психологических наук, доцент кафедры методологии психологии, факультет психологии, МГУ имени М.В. Ломоносова. E-mail: velitchk@mail.ru

**Гусев А.Н. Доктор психологических наук, профессор кафедры психологии личности, факультет психологии, МГУ имени М.В. Ломоносова. E-mail: angusev@mail.ru

***Виноградова В.Ф. Студентка, факультет психологии, МГУ имени М.В. Ломоносова. E-mail: vvfedorovna@gmail.com

****Арбекова О.А. Аспирантка, факультет психологии, МГУ имени М.В. Ломоносова. E-mail: inventa17151@gmail.com



ность работы с виртуальным окружением, но обуславливает ее качество, в частности, может влиять на возникновение технологических зависимостей (Войскунский, Кукшинов, 2014). Если чувство присутствия не возникает при работе в виртуальной среде, то у пользователя не возникает ощущения того, что виртуальная среда представляет для него новую локальную реальность.

Возникновение чувства присутствия обусловлено множеством факторов, которые могут быть разделены на технологические и психологические (Lessiter et al., 2001). Технологические факторы – это особенности технологии предъявления, которые определяют, в какой мере виртуальная среда является реалистичной. Психологические факторы – это особенности пользователя, которые определяют, в какой мере пользователь воспринимает виртуальную среду как реальную. Психологические факторы чувства присутствия крайне важны, так как чувство присутствия – это субъективный феномен, не определяемый полностью технологическими особенностями систем предъявления виртуальной реальности.

На чувство присутствия влияют различные личностные характеристики – экстраверсия, локус контроля, психологическая абсорбция и др. (Sacau et al., 2008; Sas, 2004; Thornson et al., 2009). Влияние личности на чувство присутствия не является однозначным. Так, экстраверсия может быть связана как с повышенным, так и с пониженным чувством присутствия. Это позволяет предположить, что психологические факторы чувства присутствия находятся на ином уровне индивидуальной организации, чем уровень личности. Возможным фактором, влияющим на чувство присутствия, является когнитивный контроль.

Когнитивный контроль. Когнитивный контроль – это система мета-когнитивных функций, обеспечивающих настройку специализированных когнитивных процессов на решение определенных задач в определенных условиях (Величковский, 2009; Lorist et al., 2005; Notebaert, Verguts, 2008). Например, к процессам когнитивного контроля относятся процессы управления вниманием, связанные с выделением тех атрибутов стимуляции, которые являются релевантными для решения текущей задачи. Очевидно, что в зависимости от задачи релевантность различных перцептивных признаков может изменяться в широких пределах, и жесткая настройка процессов внимания на выделение конкретных признаков при этом будет неадаптивной. Следовательно, можно предположить существование системы метакогнитивных процессов, позволяющих управлять функционированием когнитивной сферы в целях решения самых разных задач.

К функциям когнитивного контроля относятся: «сборка» последовательностей процессов когнитивной обработки, удовлетворяющих требованиям конкретной задачи; инициация когнитивных процессов; настройка сенсомоторных процессов на требования конкретной задачи; подавление реакций, не соответствующих требованиям текущей задачи; координация одновременного выполнения нескольких задач; обнаружение и коррекция ошибок; завершение выполнения когнитивных процессов (Rogers, Monsell, 1995). Таким образом, процессы когнитивного контроля являются процессами регуляции когнитивной деятельности, и их реализация тесно связана с активностью префронтальных отделов коры и с внутренней речью. Несмотря на большое разнообразие отдельных функций когнитивного контроля, факторные исследования показывают возможность выделения как общего фактора когнитивного контроля, так и ряда элементарных контрольных функций. Наиболее актуальная модель А. Мияке (Miyake et al., 2000) предполагает выделение трех таких базовых функций: переключения между задачами, контроля интерференции и обновления содержимого рабочей памяти.



Когнитивный контроль и чувство присутствия. Функции когнитивного контроля могут быть задействованы в возникновении чувства присутствия при работе в виртуальных средах. Это связано с самим определением когнитивного контроля как системы процессов, настраивающих когнитивную систему человека на выполнение конкретной задачи в специфическом контексте. Это означает, что процессы когнитивного контроля позволяют настраивать когнитивную систему человека на эффективное функционирование практически в любых условиях – в частности, в условиях виртуальной реальности, отличной от реальности настоящей. От эффективности работы системы когнитивного контроля зависят быстрота и скорость настройки на работу в условиях виртуальной реальности. Таким образом, индивидуальные особенности когнитивного контроля могут определять естественность взаимодействия пользователя с виртуальной средой и, как следствие, определять вероятность возникновения чувства присутствия и его эффективность.

Можно выделить ряд когнитивных механизмов, с помощью которых процессы когнитивного контроля оказывают влияние на возникновение чувства присутствия.

1. *Управление вниманием.* Управление процессами внимания позволяет выделить те аспекты окружения, которые будут подвергаться преимущественной перцептивной обработке. С помощью процессов когнитивного контроля пользователь может произвольно концентрировать внимание на виртуальной среде. Концентрация внимания на виртуальной среде повышает вероятность возникновения чувства присутствия.

2. *Произвольное подавление.* Использование функций произвольного подавления позволяет игнорировать внешние и внутренние дистракторы, не связанные с взаимодействием с виртуальной средой и отвлекающие когнитивные ресурсы пользователя от переработки виртуальной стимуляции. Способность игнорировать иррелевантные по отношению к виртуальной среде дистракторы оказывает положительный эффект на вероятность возникновения феномена присутствия.

3. *Переключение.* Контрольные процессы переключения позволяют человеку гибко переходить от решения одной задачи к решению другой. Эта функция облегчает переход от взаимодействия с реальной средой к взаимодействию с виртуальной средой, которое основывается на использовании особых сенсомоторных отображений и когнитивных репрезентаций. Эффективная смена установок повышает вероятность возникновения феномена присутствия.

4. *Рабочая память.* Рабочая (оперативная) память может пониматься как пространство, в котором осуществляется хранение и трансформация информации, необходимой для решения текущей задачи. В силу этого механизмы рабочей памяти могут использоваться для построения целостной модели виртуальной среды на основе интеграции информации о виртуальной стимуляции. При отсутствии такой модели эффективное взаимодействие с виртуальной средой оказывается невозможным, что снижает вероятность возникновения феномена присутствия.

5. *Мониторинг и коррекция ошибок.* Процессы мониторинга и коррекции ошибок, входящие в состав системы процессов когнитивного контроля, обнаруживают расхождение между ожидаемыми значениями когнитивных параметров и их реальными значениями (детекция рассогласования). Предъявление пользователю виртуального окружения будет с необходимостью вызывать сигнал о рассогласовании между установками пользователя, сформированными под влиянием взаимодействия с реальной средой, и требованиями виртуальной среды. Поэтому развитые функции мониторинга ошибок могут приводить к снижению вероятности возникновения феномена присутствия.



В данной работе проводится анализ зависимостей между индивидуальными особенностями когнитивного контроля и выраженностью чувства присутствия при работе в виртуальных средах, характеризующихся различным технологическим потенциалом возникновения данного эффекта. Обнаружение таких связей будет служить подтверждением того, что когнитивный контроль оказывает влияние на возникновение чувства присутствия при взаимодействии пользователей с виртуальными сценариями. В настоящем исследовании мы ограничимся рассмотрением взаимосвязи чувства присутствия лишь с элементарными контрольными функциями – переключением между задачами, подавлением интерференции и обновлением рабочей памяти.

Методика

Испытуемые. Выборку составили 39 человек в возрасте от 18 до 27 лет, студенты факультета психологии МГУ имени М.В. Ломоносова (32 женщины и 7 мужчин).

Задачи на когнитивный контроль. Для исследования сферы когнитивного контроля нами были выбраны следующие задачи:

Задача Эриксонов. Стимулы: 5 горизонтально расположенных черных стрелок и знаков «-» на белом фоне, составленных конгруэнтно (>>>>, <<<<<), неконгруэнтно (>><<>>, <<>><<) или нейтрально (- - > - -, - - < - -). Задача испытуемого: следить за средней целевой стрелкой и нажимать на клавиатуре клавишу «z», когда стрелка направлена влево, или клавишу «/», когда стрелка направлена вправо. Серии: тренировочная серия – 36 предъявлений (каждая комбинация предъявляется по 6 раз). Основная серия – 4 блока, в котором каждое уникальное условие предъявлялось 36 раз. Межстимульный интервал: 1000 мс. Время предъявления: максимум 1500 мс. Если испытуемый не успевал ответить за отведенное время, то засчитывался неправильный ответ. Измеряемые шкалы: среднее время реакции; процент правильных ответов в пробе каждого типа; разность времени реакции и точности между конгруэнтными и неконгруэнтными пробами.

Задача Go-No Go. Стимулы: целевой стимул – X (80% предъявлений); остальные стимулы – A, Г, Е, И, К, Л, М, Н, П, Т, О, Э, Ю, Я; распределение рандомное; буквы в центре экрана, черные на белом фоне. Задача испытуемого: при предъявлении целевого стимула нажимать на кнопку своей ведущей рукой. Время предъявления: 300 мс. Межстимульный интервал: 700 мс (итого у испытуемого 1000 мс на ответ). Если испытуемый не успевал ответить за отведенное время, то засчитывался неправильный ответ. Тренировочная серия: 20 предъявлений (16 – целевой стимул, 4 – остальные). Основная серия: 200 предъявлений (160 – целевой стимул, 40 – остальные); время выполнения – 3,5 мин. Измеряемые шкалы: среднее время реакции для правильных ответов; процент правильных ответов (всего), процент «хитов», процент «ложных тревог».

Задача на антисаккаду. Стимулы: сначала в середине экрана предъявляется точка фиксации в течение разного количества времени (1 из 9 раз от 1500 до 3500 мс с интервалом в 250 мс). Затем на одной стороне экрана (например, левой) появляется визуальный дистрактор ($0,4^\circ$) в течение 16,2 мс, сопровождаемый предъявлением на противоположной стороне целевого стимула ($2,0^\circ$) в течение 16,2 мс, который затем закрывается серой штриховкой. Визуальный дистрактор – черный квадрат, целевой стимул – стрелка в квадрате. Сигнал и стимул – оба расположены на 8,5 см от точки фиксации, но на противоположных сторонах. Расстояние от испытуемого до экрана монитора – примерно 50 см. Следующий стимул предъявляется сразу после ответа испытуемого на предыдущий. Серии: тренировочная



серия – 16 задач, основная серия – 96 заданий. Задача испытуемого: указать направление стрелки (влево или направо) нажатием соответствующей кнопки. Измеряемые шкалы: время реакции; процент правильных ответов.

Задача на переключение (предсказуемая смена задач). Стимулы: экран монитора, разделенный на 4 квадрата (2 сверху, 2 снизу). В квадратах предъявляется пара «число–буква»: четные (2, 4, 6, 8) и нечетные (3, 5, 7, 9) числа; согласные (Г, К, М, Р) и гласные (А, Я, Е, И) буквы. Тренировочная серия – 24 предъявления пары «число–буква» во всех частях экрана по часовой стрелке (из верхнего левого квадрата – к нижнему правому). В первой половине тренировочного теста испытуемый получает обратную связь в случае неправильного ответа – пара «число–буква» окрашивается в красный цвет. Основная серия – 128 предъявлений. Все стимулы находятся на экране до тех пор, пока испытуемый не даст ответ. Межстимульный интервал: между ответом испытуемого и следующим предъявлением – 500 мс. Задача испытуемого: если пара появляется в одном из двух верхних квадратов экрана, нужно определить нажатием кнопки, было ли число четным или нечетным; если пара появляется в двух нижних частях экрана, определить, была ли буква согласной или гласной. Ответ с помощью нажатия клавиши «/» или «z». Перечень измеряемых шкал: время реакции и точность в пробах с переключением, время реакции и точность в пробах с повторением, разность времени реакции и точности в пробах с переключением и в пробах с повторением («стоимость переключения»).

Задача на переключение (случайная смена задач). Стимулы: четные (2, 4, 6, 8) и нечетные (3, 5, 7, 9) числа, гласные (А, Я, Е, И) и согласные (Г, К, М, Р) буквы; стимулы черные, шрифт – Courier; размер – 1,2 см в высоту. Каждая пара стимулов демонстрировалась в прямоугольнике 7,5x7,5 см, обведенном тонкой черной линией в центре светло-серого экрана. Цвет фона прямоугольника – сигнал задачи; фоновые цвета – синий и зеленый. Интервал между сигналом (фоном) и стимулом – 600 мс. Интервал между ответом и стимулом – 500 мс. Все стимулы находятся на экране до тех пор, пока испытуемый не даст ответ. Тренировочная серия: 24 предъявления, основная серия – 128 предъявлений. Половина всех предъявлений – на задачу переключения (текущая задача не совпадает с предыдущей – цвет не совпадает: синий/зеленый, зеленый/синий), половина – на задачу повторения (актуальная задача совпадает с предыдущей – цвет прямоугольника одинаков: синий/синий, зеленый/зеленый). Следовательно, каждый вариант встречается в ¼ случаев. Общий дизайн: 1) появляется прямоугольник, окрашенный в синий или зеленый цвет; 2) через 600 мс появляется стимульная пара: если прямоугольник окрашен в синий цвет, испытуемый должен оценить четность чисел, если в зеленый – гласность букв; 3) стимульная пара предъявляется до ответа испытуемого; 4) после ответа стимульная пара пропадает, на экране – пустой прямоугольник в течение 500 мс, дальше п. 1. Ответ с помощью нажатия клавиши «/» (нечетные числа, согласные буквы) или «z» (четные числа, гласные буквы). Измеряемые шкалы: время реакции и точность в пробах с переключением, время реакции и точность в пробах с повторением, разность времени реакции и точности в пробах с переключением и в пробах с повторением («стоимость переключения»).

Задача N-Back. Стимулы: цифры 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8. Стимульные пары не перекрывались (например, 2–5 и 4–6), но могли соприкасаться (3–5 и 6–8). Тренировочная серия – 40 предъявлений. Основная серия – 3 блока по 48 предъявлений каждый. Каждая цифра появлялась в списке 6 раз, один раз – как целевая. Итого в блоке – 8 целевых стимулов (16,67 % предъявлений) и 40 «сбивающих» стимулов. Предъявление начинается с точки фиксации



(крестик) в центре экрана, которая через 500 мс сменяется стимулом. Время предъявления стимула – 500 мс. Межстимульный интервал – 2000 мс. Задача испытуемого: ответить быстро и правильно, насколько это возможно, совпадает ли цифра с цифрой, которая была 2 предъявления назад. Ответ с помощью нажатия клавиши «/» (да) или «z» (нет). Измеряемые шкалы: «хиты», пропуски, время реакции.

Опросник для оценки выраженности чувства присутствия. Для оценки выраженности чувства присутствия использовался русскоязычный вариант опросника ITC-SOPI (Lessiter et al., 2001). Опросник состоит из 44 утверждений, затрагивающих различные аспекты чувства присутствия, справедливость которых оценивается по пятибалльной шкале. Опросник включает в себя шкалы Пространственное присутствие, Эмоциональная вовлеченность, Естественность виртуального сценария и Выраженность негативных эффектов. Общий индекс присутствия (Присутствие) рассчитывался как сумма баллов по всем утверждениям опросника.

Виртуальный сценарий. Для измерения выраженности чувства присутствия у испытуемых мы ставили перед ними задачу, требующую ориентировки, перемещения и активного взаимодействия с элементами виртуального пространства. Главный фактор, который варьировался в эксперименте, – это техническая реализация взаимодействия с виртуальным пространством (система виртуальной реальности или персональный компьютер), предполагающая различную степень включенности в процесс взаимодействия, что, предположительно, оказывает влияние на особенности формирования и поддержания чувства присутствия.

Для реализации поставленной задачи были созданы компьютерные приложения на задачу поиска цифр от 1 до 9 в однородном трехмерном пространстве. Цифры располагались случайным образом в квадратном виртуальном помещении. Приложения с задачей на поиск цифр в помещении были разработаны в двух вариантах:

- приложение для системы виртуальной реальности типа CAVE;
- приложение для запуска на персональном компьютере с одним монитором.

В каждом приложении испытуемый проходил три серии: одна (первая) серия – тренировочная (поиск цифр от 1 до 5) и две основные серии (поиск цифр от 1 до 9).

Процедура. На первом этапе исследования все испытуемые выполнили задачи на когнитивный контроль в компьютеризированном виде. На втором этапе исследования испытуемым была предложена задача на поиск цифр в двух виртуальных пространствах: в системе виртуальной реальности типа CAVE и за персональным компьютером с одним монитором. Порядок выполнения заданий в разных виртуальных средах был сбалансирован между испытуемыми. Сразу после выполнения задачи в каждой из виртуальных сред испытуемые заполняли опросник для оценки выраженности чувства присутствия.

Результаты

Подсчет дескриптивной статистики показал, что все показатели присутствия и когнитивного контроля обнаруживают значительную изменчивость значений, а следовательно, правомерно применение к собранным данным процедуры корреляционного анализа. Проверка распределений измеренных показателей на соответствие нормальному распределению обнаружила, что в части случаев распределения показателей не соответствуют нормальному. В силу этого корреляционный анализ проводился на основе непараметрического коэффициента корреляции Спирмена. Ниже приводятся результаты корреляционного ана-



лиза связей элементарных функций когнитивного контроля и выраженности чувства присутствия в виртуальных средах с высоким (CAVE) и низким (стандартный дисплей) уровнем иммерсивности.

Переключение. Корреляции показателей стоимости переключений для задач со случайными и предсказуемыми переключениями и показателей чувства присутствия приведены в табл. 1 для среды CAVE и в табл. 2 для среды стандартного монитора.

Таблица 1

Зависимость чувства присутствия от эффективности переключения в среде CAVE

Переключение	Показатели присутствия				
	Присутствие	Пространственное присутствие	Включенность	Естественность	Негативные эффекты
Случайное C_B	0,223	0,130	0,064	0,129	0,328*
C_T	-0,092	0,025	-0,106	-0,069	-0,007
Предсказуемое C_B	0,205	-0,02	0,138	0,225	0,222
C_T	0,007	0,055	-0,122	0,135	0,052

Примечание. C_B – временная стоимость переключения, C_T – точностная стоимость переключения. Уровень значимости (здесь и далее): «*» – $p < 0,05$; «**» – $p < 0,01$; «?» – $p < 0,1$.

Таблица 2

Зависимость чувства присутствия от эффективности переключения в среде монитора

Переключение	Показатели присутствия				
	Присутствие	Пространственное присутствие	Включенность	Естественность	Негативные эффекты
Случайное C_B	0,367*	0,451**	0,07	0,21	0,378*
C_T	-0,013	0,021	-0,017	0,063	-0,097
Предсказуемое C_B	0,142	0,03	0,238	-0,004	0,174
C_T	0,124	0,185	-0,004	0,126	0,075

Примечание. Условные обозначения те же, что и в табл. 1.

Полученные данные свидетельствуют о том, что эффективность переключения связана с выраженностью чувства присутствия. Это особенно заметно в среде стандартного монитора, где временная стоимость переключения оказалась связанной как с общим индексом присутствия, так и с двумя его частными компонентами. В среде CAVE временная стоимость переключения также была связана с выраженностью негативных эффектов взаимодействия с виртуальной средой. Следует отметить, что эти закономерности были обнаружены только для случайных переключений, а также что высокие показатели присутствия были связаны с низкой эффективностью переключения.



Детальный анализ зависимости эффективности переключения и выраженности чувства присутствия показал, что в среде CAVE обнаруживается связь общего индекса присутствия и пространственного компонента присутствия со временем выполнения проб разных типов ($r = 0,28-0,33$, $p < 0,05-0,1$). Также обнаруживается характерная связь времени выполнения проб с переключением с выраженностью негативных эффектов при работе в виртуальной среде ($r = 0,27-0,33$, $p < 0,05-0,1$). В среде монитора пространственное присутствие также напрямую связано со временем выполнения проб с переключением ($r = 0,37$, $p < 0,05$), а негативные эффекты взаимодействия с виртуальной средой обнаруживают многочисленные обратные связи с показателями точности и скорости выполнения разных видов проб на переключение ($|r| = 0,28-0,38$, $p < 0,05-0,1$).

Подавление интерференции. Корреляции показателей контроля интерференции для задачи на антисаккаду, фланговой задачи Эриксонов и задачи Go-No Go с показателями чувства присутствия приведены в табл. 3 для среды CAVE и в табл. 4 для среды стандартного монитора.

Таблица 3

Зависимость чувства присутствия от эффективности произвольного подавления в среде CAVE

Подавление	Показатели присутствия				
	Присутствие	Пространственное присутствие	Включенность	Естественность	Негативные эффекты
Антисаккада В	-0,01	0,012	-0,008	-0,127	0,205
Т	-0,048	-0,261?	0,196	-0,164	0,038
Фланговая задача И _в	0,106	0,148	0,035	-0,021	0,08
И _т	0,213	0,215	-0,037	0,182	0,281?
Go-No Go В	0,009	0,173	-0,089	-0,133	0,039
Т	-0,172	-0,1	-0,098	-0,311?	-0,14

Примечание. В – время реакции, Т – точность, И_в – временной эффект интерференции, С_т – точностной эффект интерференции.

Таблица 4

Зависимость чувства присутствия от эффективности произвольного подавления в среде монитора

Подавление	Показатели присутствия				
	Присутствие	Пространственное присутствие	Включенность	Естественность	Негативные эффекты
Антисаккада В	-0,006	0,074	-0,094	0,126	0,167
Т	-0,236	-0,225	-0,102	0,019	-0,113
Фланговая задача И _в	0,002	-0,057	0,13	0,001	-0,071
И _т	0,168	0,123	0,095	0,082	0,141
Go-No Go В	0,138	0,293?	-0,033	0,077	0,055
Т	-0,222	-0,132	-0,231	-0,213	0,115

Примечание. Условные обозначения те же, что и в табл. 3.



Полученные данные свидетельствуют о наличии связи между эффективностью контроля интерференции и выраженностью чувства присутствия. Эти зависимости значительно различаются в разных виртуальных средах. Наиболее выраженными они являются в среде CAVE. В этой среде точность выполнения задачи на антисаккаду обратно связана с пространственным присутствием, эффективность подавления интерференции обратно связана с негативными эффектами, а точность выполнения задания Go-No Go обратно связана с естественностью виртуальной среды. В целом следует отметить, что сниженная способность контролировать различные виды интерференции непосредственно связана с выраженностью чувства присутствия в высокоиммерсивной среде.

В среде с низким уровнем иммерсивности (стандартный монитор) зависимость между эффективностью контроля интерференции и выраженностью чувства присутствия обнаруживается только в связи скорости выполнения задания Go-No Go и пространственного присутствия. При этом сниженная скорость выполнения этого задания на контроль интерференции связана с повышенной выраженностью чувства присутствия.

Детальный анализ зависимостей эффективности контроля интерференции и выраженности чувства присутствия показал, что в среде CAVE обнаруживаются выраженные связи точности выполнения фланговой задачи Эриксонов (подавление зрительной интерференции) и общего индекса присутствия, пространственного присутствия и естественности виртуального сценария, в основном обусловленные точностью выполнения неконгруентных проб ($r = 0,29-0,52$, $p < 0,01-0,1$). Обратная связь точности выполнения задания Go-No Go и естественности виртуального сценария обусловлена зависимостью этого показателя от частоты ложных тревог ($r = -0,30$, $p < 0,1$), т. е. от неэффективности подавления импульсивных реакций. В среде монитора зависимость эффективности выполнения задания Go-No Go и пространственного присутствия обусловлена его обратной зависимостью от скорости правильных ответов ($r = -0,31$, $p < 0,1$).

Обновление рабочей памяти. Корреляции показателей эффективности обновления рабочей памяти и показателей чувства присутствия приведены в табл. 5 для среды CAVE и в табл.6 для среды стандартного монитора.

Таблица 5

Зависимость чувства присутствия от эффективности обновления рабочей памяти в среде CAVE

Обновление (n-back)	Показатели присутствия				
	Присутствие	Пространственное присутствие	Включенность	Естественность	Негативные эффекты
В	0,079	0,08	0,126	0,025	0,07
Т	-0,227	-0,262?	0,017	-0,337*	-0,112

Примечание. В – время реакции, Т – точность.

Таблица 6

Зависимость чувства присутствия от эффективности обновления рабочей памяти в среде монитора

Обновление (n-back)	Показатели присутствия				
	Присутствие	Пространственное присутствие	Включенность	Естественность	Негативные эффекты
В	-0,277?	-0,154	-0,306?	-0,045	-0,112
Т	-0,197	-0,245	-0,086	-0,019	-0,159

Примечание. Условные обозначения те же, что и в табл. 5.



Полученные данные свидетельствуют о наличии зависимостей между эффективностью обновления рабочей памяти и чувством присутствия. Эти зависимости различаются в разных виртуальных средах. В среде CAVE обнаруживается обратная зависимость между пространственным присутствием в виртуальном сценарии и его воспринимаемой естественностью от точности выполнения задания n-back. Таким образом, выраженность этих компонентов присутствия повышается при снижении эффективности обновления рабочей памяти.

В среде монитора обнаруживается прямая зависимость общего индекса присутствия и чувства вовлеченности в выполнение сценария от скорости выполнения задания n-back. В этой среде высокая эффективность обновления рабочей памяти приводит к повышению выраженности чувства присутствия. Таким образом, в виртуальных средах с разным уровнем иммерсивности процессы обновления рабочей памяти оказывают дифференцированное влияние на возникновение чувства присутствия при взаимодействии с виртуальным сценарием.

Детальный анализ зависимости между показателями эффективности контроля рабочей памяти и выраженностью чувства присутствия показал, что в среде CAVE она ограничивается обратной связью между точностью (количество правильных ответов, количество ложных тревог) выполнения задания n-back и воспринимаемой естественностью виртуального сценария ($|r| = 0,24-0,30$, $p < 0,1$). В среде монитора зависимости между эффективностью выполнения задания n-back и выраженностью чувства присутствия могут быть описаны через общий индекс присутствия и вовлеченность, а также отражают негативный эффект взаимодействия с виртуальным сценарием. Зависимости эффективности обновления с общим индексом присутствия и вовлеченностью обусловлены скоростью обновления информации в рабочей памяти ($|r| = 0,27-0,31$, $p < 0,1$). Выраженность негативных эффектов взаимодействия с виртуальным сценарием обусловлена точностью выполнения задания n-back ($r = 0,32$, $p < 0,05$).

Обсуждение результатов

Полученные результаты позволяют сделать предварительный вывод о том, что возникновение и выраженность чувства присутствия и его отдельных компонентов может зависеть от индивидуальных особенностей когнитивного контроля. В виртуальных средах с различными уровнями технологически обусловленной реалистичности нами были обнаружены зависимости между показателями выраженности чувства присутствия и показателями когнитивного контроля. Хотя и в разной степени, это касалось всех элементарных функций когнитивного контроля – переключения, подавления интерференции и обновления рабочей памяти.

Переключение является элементарной контрольной функцией, для которой обнаружение закономерных связей с феноменом присутствия было ожидаемым. Функция переключения подразумевает гибкую смену перцептивных и моторных установок при быстрой смене задачи (т. е. не в результате постепенного изменения условий взаимодействия со средой, а в результате дискретного изменения инструкции). Такая дискретная замена одной среды (реальной) на другую (виртуальную) как раз характеризует работу пользователя в виртуальной реальности. Для обеих виртуальных сред было обнаружено, что недостаточная гибкость переключения влечет за собой возникновение различных негативных эффектов, что свидетельствует о недостаточной перцептивно-моторной перенастройке пользова-



теля на работу в виртуальной среде. При этом косвенным эффектом сниженной когнитивной гибкости можно считать увеличенную иллюзию пространственного присутствия, которая представляется следствием нарушения сенсомоторных координаций в контексте взаимодействия с виртуальной средой, которая наблюдается в этом случае.

Анализ и описание связи между эффективностью переключения и перцептивно-моторной настройкой на особенности взаимодействия с виртуальной средой может иметь практическое значение. Нарушение сенсомоторных координаций во время и после работы с виртуальными сценариями лежит в основе так называемой «симуляторной болезни» – различного рода кратковременных вестибулярных и вегетативных нарушений, препятствующих эффективному взаимодействию пользователей с системами виртуальной реальности. Оценка эффективности функции переключения может быть использована для выявления тех пользователей, которые могут испытывать дискомфорт при работе с виртуальной средой.

Подавление интерференции также является контрольной функцией, для которой обнаружение связей с выраженностью феномена присутствия было ожидаемым. Это связано с тем, что высокий уровень присутствия может зависеть от способности пользователя игнорировать элементы реального окружения (и иррелевантные мысли) и концентрироваться на взаимодействии с виртуальной средой. Однако полученные результаты не являются столь однозначными. Для среды CAVE действительно обнаружена выраженная зависимость выраженности различных компонентов чувства присутствия от эффективности выполнения фланговой задачи Эриксонов, оценивающей эффективность подавления иррелевантных зрительных дистракторов. Таким образом, в иммерсивных виртуальных средах феномен присутствия обусловлен эффективностью подавления зрительной интерференции. Кроме того, эффективное подавление интерференции приводит к снижению выраженности негативных эффектов взаимодействия, что также свидетельствует в пользу положительного влияния контроля зрительной интерференции на выраженность феномена присутствия.

Однако и в среде CAVE, и в среде стандартного монитора выраженность ряда компонентов присутствия (пространственного присутствия и естественности виртуальной среды) оказывается связанной со сниженной эффективностью выполнения другого задания на подавление интерференции – задания Go-No Go. Сам по себе факт связи эффективности выполнения этого задания с выраженностью феномена присутствия является неожиданным, так как номинально это задание оценивает эффективность контроля моторной интерференции, т. е. иррелевантных моторных реакций. Можно рассматривать эти результаты как свидетельствующие о роли импульсивности в возникновении феномена присутствия, а подавление интерференции в задании Go-No Go в этой связи следует рассматривать как проявление общего конструкта произвольного подавления – базовой функции когнитивного контроля.

Повышенная импульсивность, связанная со спецификой процессов когнитивного контроля у отдельных групп пользователей, может являться когнитивным механизмом возникновения связи между личностными свойствами психологической абсорбции и экстраверсии и феноменом присутствия, существование которой неоднократно отмечалась в исследованиях психологических детерминант феномена присутствия (Sacau et al., 2008).

Обращает на себя внимание отсутствие значимой связи между выраженностью чувства присутствия и эффективностью выполнения теста на антисаккаду. Кроме того, связь эффективности выполнения этого задания с феноменом присутствия, обнаруживаемая в



среде CAVE, носит обратный характер. Полученные результаты свидетельствуют о том, что способность произвольно управлять направлением взгляда не является обязательным условием возникновения чувства присутствия (контроль внимания оказывается более значимым фактором в этом отношении, как свидетельствуют данные по фланговой задаче Эрик-сенов). Кроме того, если рассматривать задачу на антисаккаду как тест на произвольный контроль поведения, опосредованный префронтальными отделами коры, то полученные результаты говорят о возможной негативной роли развитого когнитивного контроля в возникновении чувства присутствия. В частности, развитый когнитивный контроль может препятствовать субъективному принятию виртуальной среды в качестве замены реальной среде. Этот вывод хорошо согласуется с данными о более выраженном чувстве присутствия у испытуемых-детей по сравнению со взрослыми испытуемыми, что связывается с менее развитыми функциями когнитивного контроля у детей (Jäncke et al., 2009).

Для функции обновления рабочей памяти также обнаружено ее влияние на выраженность чувства присутствия, причем эта зависимость значительно различается в виртуальных средах с разным уровнем иммерсивности. В среде CAVE сниженная точность выполнения задания на обновление рабочей памяти коррелирует с повышенным пространственным присутствием и естественностью виртуального сценария. Точность выполнения заданий на обновление рабочей памяти преимущественно связана с ее объемом, т. е. со способностью удерживать информацию на фоне когнитивной обработки. Представляется возможным, что в высокоиммерсивных виртуальных средах, где реалистичность виртуального сценария сама по себе достаточно высока, низкий объем рабочей памяти способствует возникновению чувства присутствия. Это может быть связано с тем, что у испытуемых со сниженным объемом рабочей памяти ментальная модель виртуальной среды полностью вытесняет ментальную модель реального окружения из фокуса сознательной переработки.

В среде монитора обнаруживается принципиально другая зависимость феномена присутствия от особенностей обновления рабочей памяти. Здесь выраженность чувства присутствия прямо связана со скоростью выполнения задания n-back, т. е. с показателем, характеризующим эффективность изменения содержимого рабочей памяти. Эта функция может быть связана с построением непротиворечивой ментальной модели виртуальной среды, что особенно важно в низкоиммерсивных средах, где репрезентация виртуального окружения не является сама по себе достаточно реалистичной. В силу этого высокая эффективность обновления рабочей памяти может играть важную роль в возникновении феномена присутствия.

Полученные результаты показывают, что индивидуальные особенности функций когнитивного контроля связаны с феноменом присутствия. Такого рода взаимосвязь может иметь разнонаправленный характер и быть обусловлена действием разных когнитивных механизмов. В силу этого, влияние уровня развития когнитивного контроля на выраженность феномена присутствия не является однозначным – развитый когнитивный контроль может оказывать как позитивное, так и негативное влияние на уровень чувства присутствия. При этом следует отметить, что различные функции когнитивного контроля оказываются связанными с различными компонентами присутствия.

Два фактора могут оказывать опосредующее влияние на зависимость чувства присутствия от когнитивного контроля. Различия в уровне иммерсивности виртуальной среды приводят к тому, что функции когнитивного контроля по-разному влияют на выраженность феномена присутствия. В высокоиммерсивных средах важными факторами является



не только высокая эффективность переключений и контроля зрительной интерференции, но и низкая эффективность контроля рабочей памяти и моторной интерференции. Можно отметить, что в таких средах, предоставляющих достаточно богатую виртуальную стимуляцию, низкий уровень развития отдельных функций когнитивного контроля может даже способствовать возникновению более выраженного чувства присутствия. В низкоиммерсивных средах роль развитого когнитивного контроля является более определенной – развитый контроль необходим для возникновения чувства присутствия.

Другим фактором, влияющим на зависимость чувства присутствия от когнитивного контроля, является реалистичность (экологическая валидность, естественность) виртуальных сценариев. В данном исследовании применялся относительно искусственный виртуальный сценарий, что не позволяет оценить роль данного фактора в полной мере. Тем не менее, полученные результаты показывают, что реалистичность виртуальных сценариев может быть связана с контролем функций рабочей памяти. Данная взаимосвязь особенно четко проявляется в мало реалистичных сценариях, для которых построение ментальной модели виртуальной среды и возможных способов взаимодействия с ней на основе эффективного обновления содержимого рабочей памяти приобретает большое значение.

Выводы

В исследовании показано существование взаимосвязи между индивидуальными особенностями когнитивного контроля и чувством присутствия, которое возникает в ходе взаимодействия с виртуальными средами. Наличие такого рода зависимостей обнаруживается во всех случаях работы элементарных механизмов когнитивного контроля, выделяемых в современной когнитивной психологии, – переключения задач, подавления интерференции и обновления рабочей памяти. Процессы когнитивного контроля могут оказывать влияние на возникновение чувства присутствия при работе в виртуальных средах и лежать в основе влияния личностных особенностей на формирование чувства присутствия.

Было показано, что низкая эффективность переключения приводит к неэффективной смене сенсомоторных установок, необходимых для настройки перцептивной и моторной системы на работу в виртуальной среде, следствием чего является увеличение негативных эффектов взаимодействия с виртуальной средой и, косвенно, увеличение пространственного присутствия в виртуальных средах. Обнаруживается связь эффективности подавления зрительной интерференции с выраженностью чувства присутствия. Также обнаруживается связь низкой эффективности подавления моторной интерференции и выраженности чувства присутствия, что может быть связано с ролью повышенной импульсивности в возникновении чувства присутствия. Чувство присутствия также связано с эффективностью функционирования рабочей памяти в той мере, в которой индивидуальные особенности рабочей памяти способствуют формированию непротиворечивых ментальных моделей виртуальной среды, способных служить эффективной основой для организации поведения пользователей виртуальных сред.

Полученные результаты показывают, что высокий уровень развития когнитивного контроля может иметь как позитивный, так и негативный эффект на выраженность чувства присутствия. При этом выделяются два фактора, опосредующих влияние когнитивного контроля на чувство присутствия. Одним фактором является степень иммерсивности виртуальной среды, причем для высокоиммерсивных сред благоприятное влияние на выраженность чувства присутствия может оказывать сниженный уровень когнитивного кон-



троля. Другими фактором является реалистичность виртуального сценария, которая также снижает требования к уровню когнитивного контроля, необходимого для возникновения полноценного чувства присутствия.

Когнитивный контроль является фактором, влияющим на возникновение чувства присутствия и его выраженность. Это влияние прослеживается для различных аспектов когнитивного контроля, но не является однозначным. Изучение зависимости чувства присутствия от когнитивного контроля позволит раскрыть когнитивные механизмы возникновения чувства присутствия в виртуальных средах.

Финансирование

Исследование поддержано грантом РФФИ 15-06-08998.

Литература

1. Авербух Н.В. Психологические аспекты феномена присутствия в виртуальной среде // Вопросы психологии. 2010. № 5. С. 105–113.
2. Величковский Б.Б. Возможности когнитивной тренировки как средства коррекции возрастных изменений когнитивного контроля // Экспериментальная психология. 2009. Т. 2. № 4. С. 67–91.
3. Войскунский А.Е., Меньшикова Г.Я. О применении систем виртуальной реальности в психологии // Вестник Московского университета. Серия 14. Психология. 2008. № 1. С. 22–36.
4. Войскунский А.Е., Кукишинов Е.Ю. Социальное присутствие в виртуальном окружении // Психология общения и доверия: теория и практика: сб. материалов Международной конференции УРАО, ПИ РАО, МГУ (6–7 ноября 2014 г.) / Под ред. Т.П. Скрипкиной. М.: Университет РАО, 2014. С. 678–681.
5. Добычина Н.В. Онтология виртуального пространства: информация, символ, гипертекст // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 2. С. 468.
6. Jäncke L., Cheetham M., Baumgartner T. Virtual reality and the role of the prefrontal cortex in adults and children // *Frontiers in Neuroscience*. 2009. Vol. 3. P. 52–59.
7. Lessiter J., Freeman J., Keogh E., Davidoff J. A cross-media presence questionnaire: The ITC-Sense of Presence Inventory // *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*. 2001. Vol. 10. P. 282–297.
8. Lorist M.M., Boksem M., Ridderinkhof K. Impaired cognitive control and reduced cingulate activity during mental fatigue // *Cognitive Brain Research*. 2005. Vol. 24. P. 199–205.
9. Miyake A., Friedman N., Emerson M., Witzki A., Howerter A., Wager T. The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex «Frontal Lobe» tasks: a latent variable analysis // *Cognitive Psychology*. 2000. Vol. 41. P. 49–100.
10. Notebaert W., Verguts T. Cognitive control acts locally // *Cognition*. 2008. Vol. 106. P. 1071–1080.
11. Rogers R., Monsell S. Costs of a predictable switch between simple cognitive tasks // *Journal of Experimental Psychology: General*. 1995. Vol. 124. P. 207–231.
12. Sacau A., Laarni J., Hartmann T. Influence of individual factors on presence // *Computers in Human Behavior*. 2008. Vol. 24. P. 2255–2273.
13. Sas C. Individual differences in virtual environments // *Computational science – ICCS 2004, fourth international conference, proceedings, Part III. Lecture Notes in Computer Science*. 2004. Vol. 3038. P. 1017–1024.
14. Thomson C., Goldiez B., Huy L. Predicting presence: Constructing the tendency toward presence inventory // *International Journal of Human-Computer Studies*. 2009. Vol. 67. P. 62–78.
15. Witmer B., Singer M. Measuring presence in virtual environments: A presence questionnaire // *Presence*. 1998. Vol. 7. P. 225–240.



COGNITIVE CONTROL AND A SENSE OF PRESENCE IN VIRTUAL ENVIRONMENTS

VELICHKOVSKY B.B.*, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia,
e-mail: velitchk@mail.ru

GUSEV A.N.**, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia,
e-mail: angusev@mail.ru

VINOGRADOVA V.F.***, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia,
e-mail: vvfedorovna@gmail.com

ARBEKOVA O.A.****, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia,
e-mail: inventa17151@gmail.com

User interaction with a virtual reality system may be accompanied with a sense of presence, the illusion of reality of virtual environment. The emergence of a sense of presence is determined by both technological and psychological factors. The authors show that a sense of presence may depend on the individual characteristics of cognitive control, i.e. the system of metacognition providing cognitive system setting on the solution of specific problems in context. It was found that the expression of a feeling of presence may depend on the efficiency of the control switch functions, interference suppression and updating of working memory. At the same time, the dependence of the severity of the sense of presence on the effectiveness of cognitive control differs in virtual environments with different levels of immersion.

Keywords: virtual reality, sense of presence, cognitive control, switching between tasks, interference suppression, working memory update.

Funding

The study was supported by Russian Foundation for Basic Research, grant #15-06-08998.

References

1. Averbukh N.V. Psikhologicheskije aspekty fenomena prisutstvija v virtualnoj srede [Psychological aspects of phenomenon of presence in a virtual environment]. *Voprosy Psikhologii [Issues of Psychology]*, 2010, no. 5, pp. 105–113 (In Russ.).
2. Dobychina N.V. Ontologija virtual'nogo prostranstva: informatsija, simvol, gipetekst [Ontology of virtual space: information, symbol, hypertext]. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya [Modern issues in science and education]*, 2013, no. 2, p. 468 (In Russ.).

For citation:

Velichkovsky B.B., Gusev A.N., Vinogradova V.F., Arbekova O.A. Cognitive control and a sense of presence in virtual environments. *Ekspperimental'naya psikhologiya = Experimental psychology (Russia)*, 2016, vol. 9, no. 1, pp. 5–20. doi:10.17759/exppsy.2016090102

* Velichkovsky B.B. Cand. Sci. (Psychology), Assistant Professor of Psychology, Department of Psychology, Lomonosov Moscow State University. E-mail: velitchk@mail.ru

** Gusev A.N. Dr. Sci. (Psychology), Professor, Chair of Personality Psychology, Department of Psychology, Lomonosov Moscow State University. E-mail: angusev@mail.ru

*** Vinogradova V.F. Student, Department of Psychology, Lomonosov Moscow State University. E-mail: vvfedorovna@gmail.com

**** Arbekova O.A. Postgraduate Student, Department of Psychology, Lomonosov Moscow State University. E-mail: inventa17151@gmail.com



3. Jäncke L., Cheetham M., Baumgartner T. Virtual reality and the role of the prefrontal cortex in adults and children. *Frontiers in Neuroscience*, 2009, vol. 3, pp. 52–59.
4. Lessiter J., Freeman J., Keogh E., Davidoff J. A cross-media presence questionnaire: The ITC-Sense of Presence Inventory. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 2001, vol. 10, pp. 282–297.
5. Lorist M.M., Boksem M., Ridderinkhof K. Impaired cognitive control and reduced cingulate activity during mental fatigue. *Cognitive Brain Research*, 2005, vol. 24, pp. 199–205.
6. Miyake A., Friedman N., Emerson M., Witzki A., Howerter A., Wager T. The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex “Frontal Lobe” tasks: a latent variable analysis. *Cognitive Psychology*, 2000, vol. 41, pp. 49–100.
7. Notebaert W., Verguts T. Cognitive control acts locally. *Cognition*, 2008, vol. 106, pp. 1071–1080.
8. Rogers R., Monsell S. Costs of a predictable switch between simple cognitive tasks. *Journal of Experimental Psychology: General*, 1995, vol. 124, pp. 207–231.
9. Sacau A., Laarni J., Hartmann T. Influence of individual factors on presence. *Computers in Human Behavior*, 2008, vol. 24, pp. 2255–2273.
10. Sas C. Individual differences in virtual environments. Computational science – ICCS 2004, fourth international conference, proceedings, Part III. *Lecture Notes in Computer Science*, 2004, vol. 3038, pp. 1017–1024.
11. Thornson C., Goldiez B., Huy L. Predicting presence: Constructing the tendency toward presence inventory. *International Journal of Human-Computer Studies*, 2009, vol. 67, pp. 62–78.
12. Velichkovsky B. B. Vozmozhnosti kognitivnoj trenirovki kak sredstva korrektsii vozrastnykh izmenenij kognitivnogo kontrolja [Cognitive training as a means of correction of age-related changes in cognitive control]. *Experimentalnaja Psikhologija [Experimental Psychology (Russia)]*, 2009, vol. 2, no. 4, pp. 67–91 (In Russ.; abstr. in Engl.)
13. Voyskunskiy A. E., Kukshinov E. Yu. Sotsial'noje prisutstvije v virtual'nom okruzenii [Social presence in the virtual environment]. In T. P. Skripkina (ed.), *Psikhologija obshhenija i doverija: teorija i praktika. Sbornik materialov mezhdunarodnoi konferentsii URAO, PI RAO, MGU. 6-7 nojabrja 2014 [Psychology of communication and trust: Theory and Practice: Materials of the International Conference URAO, PI RAO, Moscow State University (November 6–7, 2014)]*. Moscow, Universitet RAO Publ., 2014, pp. 678–681 (In Russ.)
14. Voyskunskiy A. E., Menshikova G. Ya. O primenenii system virtual'noj real'nosti v psikhologii [On the application of virtual reality systems in psychology]. *Vestnik Moskovskogo Universiteta. Serija 14. Psikhologija [Moscow University Bulletin. Series 14. Psychology]*, 2008, no. 1, pp. 22–36 (In Russ.)
15. Witmer B., Singer M. Measuring presence in virtual environments: A presence questionnaire. *Presence*, 1998, vol. 7, pp. 225–240.