

Оценка успешности воспроизведения эгоцентрических и аллоцентрических пространственных репрезентаций при использовании систем виртуальной реальности

Г.Я. Меньшикова, О.А. Савельева, М.С. Ковязина

МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

Поступила 26 октября 2017/ Принята к публикации: 19 ноября 2017

Assessing successful reproduction of egocentric and allocentric spatial representations using virtual reality

Galina Ya. Menshikova*, Olga A. Savelyeva, Maria S. Kovyazina

Lomonosov Moscow State University Moscow, Russia

*Corresponding author E-mail: gmenshikova@gmail.com

Received October 26, 2017 / Accepted for publication: November 19, 2017

Актуальность. В настоящее время в сфере психологической реабилитации возросла необходимость разработки инновационных методов тестирования когнитивных нарушений с помощью современных технологий. Одной из актуальных задач является разработка методов диагностики и коррекции нарушений пространственных представлений, которые, в частности, проявляются в снижении успешности запоминания пространственных свойств среды.

Цель. Для изучения этого вопроса мы разработали метод оценки точности кодирования пространственной информации, используя который исследовалась успешность воспроизведения трехмерных сложных сцен. Предполагалось, что точность их воспроизведения будет значимо различаться в зависимости от системы координат (эгоцентрической или аллоцентрической) мысленной реконструкции сцены.

Описание хода исследования. Были созданы библиотека виртуальных объектов и шесть уникальных виртуальных сцен. Каждая сцена включала семь объектов и предъявлялась на 25 секунд. Тридцать шесть человек в возрасте от 18 до 26 лет приняли участие в эксперименте. Их задачей было запомнить объекты и их местоположение, а затем воспроизвести сцену по памяти, используя заданный ракурс наблюдения. Предлагались три ракурса: «спереди» (из эгоцентрической позиции), «слева» и «сверху» (из воображаемых аллоцентрических позиций «слева» и «сверху»). Для выполнения задачи участники выбирали объекты из библиотеки виртуальных объектов и расставляли их в виртуальном пространстве в соответствии с запомненной сценой. Регистрировались их координаты в виртуальном пространстве. Затем рассчитывались точность воспроизведения сцены в блоках эгоцентрических репрезентаций (ЭР) и аллоцентрических репрезентаций (АР) кодирования пространственной информации по параметрам метрики, топологии и глубины.

Результаты. Показано, что эгоцентрические репрезентации (ракурс «спереди») по всем указанным параметрам формируются значимо точнее, по сравнению с аллоцентрическими репрезентациями (ракурсы «слева» и «сверху»). Независимо от ракурса, топологические параметры пространства сохраняются в кратковременной памяти значимо точнее, чем параметры глубины, которые, в свою очередь, кодируются более точно, чем параметры метрики. Также показано, что точность кодирования пространственных представлений различается для двух типов аллоцентрических ракурсов – ракурс «сверху» воспроизводится значимо точнее, чем ракурс «слева».

Выводы. Разработанный нами метод позволил выявить особенности кодирования пространственной информации в ЭР и АР блоках по параметрам метрики, топологии и глубины. Он может использоваться в клинической реабилитации для тестирования нарушений восприятия пространства и нарушений кратковременной памяти. Полученные нами результаты позволяют уточнить современные модели кодирования пространственной информации.

Ключевые слова: кратковременная память, кодирование пространственных репрезентаций, эгоцентрическая и аллоцентрическая системы, технология виртуальной реальности, CAVE системы.

Background. Currently in psychological rehabilitation the necessity of developing innovative methods for testing cognitive dysfunctions with via the modern sophisticated technology is becoming increasingly important. One of the urgent requests is associated with developing the methods of diagnostics and correction of spatial representations disorders, which are manifested by decreasing accuracy of spatial representations of the environment in particular.

Objective. To study this issue the method for evaluating the accuracy of spatial information using which the ability to memorize the three-dimensional complex scenes was developed. It was assumed that the accuracy of reproduction would differ significantly depending on the coordinate (egocentric or allocentric) system of mental reconstruction processing.

Design. The library of virtual objects and six unique virtual scenes were created. Each scene of seven objects was shown to the participants within the interval for 25 seconds. Thirty six subjects (aged from 18 to 26) participated in the experiment. They were told to memorize the objects and their locations, and then to reproduce the memorized scene using the given viewpoint of the scene. Three viewpoints were chosen: the «front» (to reproduce the scene from the egocentric position); the «left» and the «above» (to reproduce the memorized scene from on the left and above imaginary allocentric positions, respectively). To perform the task the participants chose objects from the library of virtual objects using the flystick 2 and placed them in virtual space in accordance with the memorized scene. The object locations in virtual space were recorded. Moreover, the accuracy of egocentric and allocentric representations in terms of measurements, topology and depth parameters were calculated.

Conclusion. The results show that the egocentric representations (the «front» viewpoint) were more accurate for all parameters in comparison with the allocentric representations (the «left» and the «above» viewpoints), and the «above» representations were more accurate compared with the «left» ones. The topological accuracy was much better than the measurements and depth accuracy. Regardless of the viewpoints, the topological space parameters are stored in memory much more accurately than the depth parameters, which, in turn, are reproduced more accurately than metric parameters. It was also shown that the accuracy of spatial representations differs for different allocentric viewpoints: the «above» view is reproduced much more accurately than the «left» view.

The method developed made it possible to reveal the features of encoding spatial information in ER and AP blocks in terms of measurements, topology and depth parameters. It can be used in clinical rehabilitation to test impairments in the perception of space, and also violations of short-term memory. The results obtained allow refining the existing models of encoding spatial information.

Keywords: short-term memory, accuracy of spatial representation coding, egocentric and allocentric systems, virtual reality, VR, CAVE.

Способность адекватно оценивать пространственные свойства окружающей среды играет важную роль в повседневной жизни, поскольку позволяет человеку без затруднений перемещаться в знакомой и незнакомой местности, оценивать взаимное расположение объектов и запоминать их локализацию. Формирование простран-

ских закономерностей, обеспечивающих успешное кодирование пространственной информации, является одной из важных задач многих отраслей психологической науки: психологии обучения, когнитивной и социальной психологии, психологии спорта. В частности, в последнее время резко возросла необходимость разработки методов диагностики

Изучение психологических закономерностей, обеспечивающих успешное кодирование пространственной информации, является одной из важных задач многих отраслей психологической науки: психологии обучения, когнитивной и социальной психологии, психологии спорта

венных представлений является базовой когнитивной функцией, лежащей в основе не только восприятия, но и других когнитивных процессов: пространственной памяти (spatial memory), пространственного интеллекта (spatial intelligence), пространственного внимания (spatial attention) и др. Изучение психологиче-

и коррекции нарушений пространственных представлений в области психологической реабилитации (Dobrushina, Varako, Kovyazina, 2016; Ковязина, Варако, Рассказова, 2017).

Впервые предположение об особом типе интеллекта, ответственном за восприятие пространства, было высказано

Э. Терстоуном (Thurstone, 1924). Этот тип был назван пространственным фактором интеллекта и определен как способность оперировать мысленными пространственными образами, схемами и моделями реальности. Функционально выделенный фактор отвечал за успешность и скорость восприятия пространственных отношений, а также за способность мысленно манипулировать зрительными образами. Позднее понятие пространственного интеллекта было развито в работах Х. Гарднера (Gardner, 1996), в которых он понимался как способность воспринимать и модифицировать пространственную информацию, а также воссоздавать зрительные образы без обращения к реальным стимулам. Отмечалось, что характерными свойствами мысленных образов является их трехмерность и способность подвергаться мысленному перемещению и вращению. Для изучения пространственных свойств мысленных образов была сформулирована проблема перцептивной конгруэнтности, суть которой состояла в выявлении закономерностей метрической соотнесенности реальных пространственных сцен и их ментальных образов. Ее изучением занимались многие западные (Март, 1986; Ричардсон, 2006; Kosslyn et al., 2006) и отечественные исследователи (Веккер, 1998; Величковский, 2006). Они экспериментально показали, что мысленные репрезентации не являются точным слепком реальных сцен, и их пространственные свойства зависят от многих психологических факторов. Например, было показано, что метрика пространственных репрезентаций искажается в зависимости от того, насколько знаком путь прохождения, а также под действием фактора конфигурации окружающих ориентиров (Величковский и др., 1986). Другим примером является исследование формирования когнитивных карт пространства в виртуальных средах, где был выявлен феномен «сжатия» пространства под воздействием негативных эмоциональных состояний субъекта (Меньшикова и др., 2014).

В научной литературе выделяют два типа пространственных репрезентаций, кодирующих информацию о расположении объектов: эгоцентрические репрезентации (ЭР) и аллоцентрические репрезентации (АР) (Klatzky, 1998). В первом типе положение объектов ко-



Галина Яковлевна Меньшикова –
доктор психологических наук, зав. лабораторией
«Восприятие» факультета психологии МГУ
имени М.В. Ломоносова
E-mail: gmenshikova@gmail.com
https://istina.msu.ru/profile/Menshikova_Galina/



Ольга Александровна Савельева –
аспирант кафедры общей психологии факультета
психологии МГУ имени М.В. Ломоносова
E-mail: savelevapsy@gmail.com
https://istina.msu.ru/profile/Saveleva_Olga/



Мария Станиславовна Ковязина –
доктор психологических наук, член-корреспондент
РАО, профессор кафедры нейро- и патопсихологии
факультета психологии МГУ имени М.В. Ломоносова,
старший научный сотрудник ФГБНУ «Научный центр
неврологии»
E-mail: kms130766@mail.ru
<https://istina.msu.ru/profile/KovyazinaMariaStanislavovna/>

дируется относительно наблюдателя, при этом точка начала координат располагается на теле наблюдателя. Во втором типе местоположение объектов кодируется друг относительно друга, а локализация объектов осуществляется безотносительно позиции наблюдателя. Основные принципы кодирования пространственной информации в ЭР и АР блоках пространственной памяти представлены на рис. 1.

Актуализация информации посредством данных каждого из блоков тесно связана с выполняемыми субъектом задачами. Так, данные блока ЭР, как правило, более важны в таких задачах, как «достать рукой» или «присесть на стул». Однако в задачах «дойти из пункта А в пункт Б» или «переставить вазу в другое место» более важную роль должны играть данные аллоцентрической системы кодирования.

Разработка моделей кодирования пространственной информации проводилась при изучении процессов долговременной памяти. В одних моделях пространственной памяти предполагалось, что локализация и взаимная ориентация объектов кодируется сначала в блоке ЭР, а затем пересчитывается в блок АР с учетом изменения положения наблюдателя при навигации в среде (Wang, Spelke, 2000). Позднее была предложена модель параллельной обработки пространственной информации в ЭР и АР блоках, причем, предполагалось, что соотношение их вкладов динамически меняется в зависимости от решаемой субъектом задачи (Burgess, 2006). Позднее были высказаны предположения о приоритете блока АР, которые основывались на современных поведенческих, нейропсихологических и нейрофизиологических данных о кодировании пространственной информации (Filimon, 2015). В настоящее время большинство исследователей согласны с тем, что в процессе обработки актуальной пространственной информации одновременно участвуют оба типа кодирования. Однако мнения исследователей расходятся относительно роли тех факторов, которые определяют вклад каждого из блоков в процесс кодирования пространственной информации в долговременной памяти. Проведенный нами анализ научной литературы показал, что вопрос о роли ЭР и АР блоков в процессе формирования

образов в кратковременной памяти не исследовался.

При изучении особенностей функционирования пространственной памяти активно дискутировался вопрос о точности кодирования пространственной информации. Основные результаты в этом направлении были получены при изучении особенностей формирования когнитивных карт пространства в долговременной памяти (Tolman, 1948; Найссер, 1981; Wang, Spelke, 2002; Rinck, Denis, 2004). При использовании методов прямой и косвенной реконструкции воспринимаемого пространства было выявлено, что ментальные карты пространства (особенно знакомого пространства) достаточно точно отображают свойства окружающего пространства. Эти данные позволили высказать предположение о том, что между окружающей средой и ее ментальным отображением существует структурное подобие, обозначенное как изоморфизм второго порядка (Shepard, Chipman, 1970). Наличие механизма изоморфного отображения показывает значимую роль кодирования не только топографических, но и метрических свойств среды. Были получены и многочисленные данные о систематических искажениях при запоминании пространственных отношений между объектами. Так, было показано, что когнитивные карты пространства носят скорее обобщенный и схематичный характер. Это проявляется, в частности, в том, что в ментальных образах более адекватно представлена топологическая и менее

точно метрическая информация (Величковский, 2006). Были высказаны предположения о том, что несоответствия в оценке расстояний и направлений могут быть связаны с когнитивными принципами организации информации (Tversky, 1992). Одним из источников ошибок может являться иерархическая структура когнитивных карт, согласно которой более точно отображаются пространственные факторы, занимающие в иерархии более высокое положение (ориентиры, пересечения, направления), тогда как факторы, относящиеся к низкой иерархии, могут отображаться менее точно. Также причиной искажений пространственных репрезентаций может являться неадекватная интерпретация признаков глубины и удаленности. Следует отметить, что указанные ошибки принципиально не могут быть нивелированы, из чего следует, что любая мысленная репрезентация обладает неточностями.

В ряде работ изучались характеристики кодирования пространственной информации в кратковременной памяти при использовании специальной методики мысленного вращения (Shepard, 1971). Полученные результаты позволили сделать вывод о том, что зрительные образы хранятся, скорее всего, в виде зрительных кодов, сохраняющих метрические свойства реального пространства, их можно мысленно сканировать, причем, время сканирования зависит от воспринимаемых размеров образа и сложности его пространственной структуры.



Рис. 1. Кодирование пространственной информации в аллоцентрическом (слева) и эгоцентрическом (справа) блоках пространственной памяти.

Fig. 1. Encoding spatial information in the allocentric (left) and egocentric (right) blocks of spatial memory.

Зрительные образы хранятся, скорее всего, в виде зрительных кодов, сохраняющих метрические свойства реального пространства, их можно мысленно сканировать, причем, время сканирования зависит от воспринимаемых размеров образа и сложности его пространственной структуры.

Процессы кодирования пространственной информации в кратковременной памяти рассматривались в работах Познера и его коллег (Posner, Voies, 1971). Результаты проведенных им исследований позволили выделить самостоятельный блок визуально-пространственной матрицы, имеющей две составляющие: визуальную (яркость, форма, цвет, размер) и пространственную (местоположение, взаимное расположение). Согласно предложенной модели, осуществляется кодирование пространственной информации о взаимном расположении объектов сцены. Возникает вопрос о том, какие механизмы используются в кратковременной памяти для кодирования пространственной информации? Существуют ли в кратковременной памяти рассмотренные выше ЭР и АР типы пространственных репрезентаций? Ответ на этот вопрос может быть утвердительным, если обратиться к теории уровней переработки информации, предложенной Ф. Крэйком и Р. Локхардом (Craik, Lockhart, 1972). Авторы высказали гипотезу о том, что не существует кратковременной и долговременной памяти в виде отдельных структур со своими специфическими закономерностями обработки информации, напротив, структура памяти едина и имеет общие механизмы функционирования. Используя эту гипотезу, можно предположить, что в кратковременной памяти (так же, как и в долговременной) формируются эгоцентрические и аллоцентрические репрезентации, которые

работы эгоцентрического и аллоцентрического блоков кодирования. Например, в модели долговременной пространственной памяти Р. Ванга и Е. Спелке (Wang, Spelke, 2000), точность формирования аллоцентрической репрезентации зависит не только от эффективности кодирования эгоцентрической информации, но и от эффективности работы промежуточного модуля, в котором обрабатывается информация об особенностях изменения эгоцентрических репрезентаций в процессе навигации. В модели подчеркивалась важность этого модуля, поскольку предполагалось, что именно он отвечает за точность перекодирования эгоцентрических репрезентаций, сформированных на более раннем сенсорном уровне, в более поздние абстрактные аллоцентрические репрезентации.

Для изучения процессов кодирования пространственной информации в ЭР и АР блоках необходимо найти методы оценки точности кодирования и дальнейшего воспроизведения информации, сохраненной в ЭР и АР блоках кратковременной памяти. Для этого на этапе планирования эксперимента были разработаны: во-первых, метод предъявления объектов в задаче запоминания и последующего воспроизведения сложных трехмерных сцен, во-вторых, метод оценки успешности воспроизведения пространственных репрезентаций и, в-третьих, метод анализа успешности воспроизведения пространственных репрезентаций.

Мы предположили, что наиболее адекватным для предъявления объектов в задачах запоминания и последующего воспроизведения трехмерной сцены является использование технологии виртуальной реальности, поскольку она обладает рядом неоспоримых преимуществ при решении наших задач

могут отличаться по точности кодирования пространственной информации. Это предположение основано на гипотезах о временных ограничениях обработки информации в кратковременной памяти, а также о функциональных особенностях

В последнее время для изучения когнитивных процессов (восприятия, внимания, памяти) все чаще стали использоваться современные цифровые технологии, среди которых одной из наиболее эффективных считается техноло-

гия виртуальной реальности (Zinchenko et al., 2015; Smith, 2015; Menshikova et al., 2017). Ее применение позволило найти новые способы решения научных и прикладных задач, которые было невозможно или затруднительно решать при помощи классических методов психологического исследования. Мы предположили, что наиболее адекватным для предъявления объектов в задачах запоминания и последующего воспроизведения трехмерной сцены является использование технологии виртуальной реальности, поскольку она обладает рядом неоспоримых преимуществ при решении наших задач. К ним следует отнести высокую экологическую валидность, возможность предъявления трехмерных сцен, возможность манипуляции виртуальными объектами, широкий обзор зрения и др. (Зинченко и др., 2010).

Описание исследования

В качестве метода оценки успешности воспроизведения пространственных репрезентаций нами был выбран метод реконструкции, модифицированный в соответствии с нашими целями и задачами. Классический метод реконструкции состоит в оценке правильности воспроизведения зрительно предъявленного ряда стимулов при использовании различных приемов экстерниоризации расположения объектов среды. Мы модифицировали этот метод для оценки ошибок воспроизведения ЭР и АР при использовании CAVE технологии виртуальной реальности. Суть нашего метода состояла в том, что наблюдателю сначала предъявлялась трехмерная виртуальная сцена, состоящая из 7 объектов, потом обозначался ракурс мысленного наблюдения этой сцены, а затем при помощи библиотеки виртуальных объектов ему предлагалось воспроизвести мысленный образ в соответствии с заданным ракурсом наблюдения. Успешность воспроизведения предполагалось тестировать в зависимости от ракурса мысленного наблюдения сцены. Были выбраны три ракурса «спереди», «слева» и «сверху». В задаче «воспроизвести сцену спереди» участник должен был реконструировать сцену из оригинального ракурса, т.е. так, как он

видел ее при предъявлении. Предполагалось, что в этой задаче будет актуализирована эгоцентрическая система кодирования пространственной информации. Задача «воспроизвести сцену слева или сверху» требовала воссоздать трехмерный образ сцены в аллоцентрической системе кодирования, а затем мысленно перенести ракурс наблюдения так, чтобы мысленный образ воспринимался из позиции «слева» или «сверху». Оценку ошибок при воспроизведении мысленных репрезентаций сцены в зависимости от заданного ракурса (эгоцентрического «спереди» или аллоцентрических «слева» или «сверху») предполагалось проводить комплексным методом. Мы выделили три параметра для оценки точности воспроизведения локализации объектов сцены:

- Топологический, отражающий точность воспроизведения взаимного расположения всех объектов сцены;
- Метрический, отражающий метрические характеристики воспринимаемых расстояний между объектами;
- Параметр глубины, отражающий точность воспроизведения расположения объектов по глубине.

Целью нашего исследования являлось изучение успешности воспроизведения пространственных эгоцентрической и аллоцентрической репрезентаций в кратковременной памяти.

Гипотеза исследования заключалась в том, что успешность воспроизведения трехмерной сцены зависит от того, какая из систем кодирования пространства – аллоцентрическая или эгоцентрическая – используется для воспроизведения. Поскольку эгоцентрическая репрезентация (ракурс воспроизведения «спереди») первична и формируется на более ранних этапах обработки пространственной информации, ее формирование и воспроизведение будет подвержено меньшим искажениям. Напротив, искажения в воспроизведении более абстрактных аллоцентрических репрезентаций (ракурсы воспроизведения «сверху» и «слева») будут более выраженными в силу того, что они формируются на более поздних стадиях в условиях ограниченного временного диапазона переработки информации в кратковременной памяти. В частности, мы предположили, что ракурс «сверху» будет воспроизводиться

более точно относительно ракурса «сбоку» в силу более развитых способностей человека к двумерному картированию трехмерного пространства из ракурса «сверху». Оценку искажений воспроизведения мысленных репрезентаций сцены предполагалось проводить комплексным методом, основанным на оценке точности воспроизведения объектов сцены, а также точности воспроизведения их локализации по параметрам топологии, метрики и глубины.

Участники. В эксперименте принимали участие 36 добровольцев (18 женщин и 18 мужчин, средний возраст 23 ± 2 года). Все испытуемые обладали нормальным или скорректированным до нормального зрением, все они не имели нарушений вестибулярного аппарата и травм головного мозга.

Аппаратура. Исследование проводилось на базе научного центра «Виртуальная реальность» факультета психологии МГУ имени М.В. Ломоносова. Для изучения особенностей кодирования пространственной информации в кратковременной памяти использовалась CAVE технология виртуальной реальности Varco Ispace 4, позволяющая создавать виртуальные трехмерные среды с контролируемыми параметрами. Система CAVE представляет собой четыре больших плоских квадратных экрана (каждый $2,5 \text{ м} \times 2,5 \text{ м}$), соединенных в куб (рис. 2). Для формирования стерео-эффектов в виртуальной среде использовались активные затворные очки CrystalEyes 3 Stereographics. Для управления положением виртуальных объектов, а также для перемещения наблюдателя в виртуальном пространстве использовался флайстик Flaystick 2. Положение наблюдателя и флайстика в виртуальной среде отслеживалось системой трекинга A.R.T. GmbH, состоящей из 8 инфракрасных камер ART track 2\CIR. Виртуальные сцены разрабатывались при помощи программного приложения VirTools 4.0.

Стимулы. Было разработано 6 виртуальных сцен, в каждой из них размещались 7 различных объектов в виртуальном объеме ($1,5 \text{ м} \times 1,5 \text{ м} \times 0,5 \text{ м}$), зрительный угол которого составлял $20^\circ \times 20^\circ$. Угловой размер каждого объекта составлял $2^\circ \times 2^\circ$. Средняя яркость объектов незначительно варьировала в пределах 15–20

кд/м². Для обеспечения относительного постоянства угловых размеров запоминаемых виртуальных объектов участника просили находиться в неизменной позиции (2,3 м) относительно фронтального экрана. Объекты располагались на фоне, который представлял собой темное трехмерное пространство, в котором равномерно были размещены маленькие шарики белого цвета с угловыми размерами $0,5^\circ \times 0,5^\circ$. Их плотность размещения по пространству составляла 6 ед./угл. град.

Процедура. Участнику последовательно предъявлялись 6 оригинальных сцен, каждая по 3 раза. Последовательность предъявления имела квазислучайный характер. Время предъявления каждой сцене

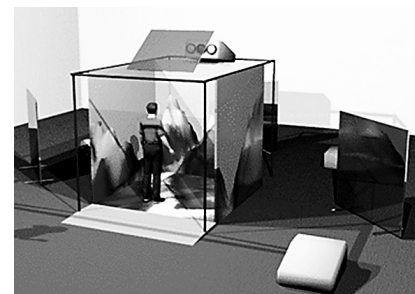


Рис. 2. Общий вид CAVE системы виртуальной реальности.

Fig. 2. General VR CAVE view.

ны – 25 сек. Задачей участника было запомнить объекты и их локализацию, а затем воспроизвести запомненную сцену в виртуальной среде сразу после предъявления. Воспроизведение проводилось по следующему алгоритму. После окончания предъявления сцены перед участником на 3 сек. появлялась стрелка. Ее ориентация в пространстве показывала, из какого ракурса наблюдения участник должен был мысленно представить себе, а затем воспроизвести 3D сцену, которую он только что видел. Стрелка предъявлялась в трех ориентациях: «спереди», «слева» и «сверху». Ориентация «спереди» означала, что участник должен был воспроизвести сцену из оригинального ракурса наблюдения. Ориентации «слева» и «сверху» означали воспроизведение сцены, используя мысленные ракурсы в аллоцентрической системе кодирования, т.е. так, как увидел бы ее участник, если бы он находился слева или сверху от предъявленной сцены. Затем участнику предъявлялся интерфейс, представля-

ющий собой библиотеку из 21-го объекта, в которой были представлены неизвестные объекты, а также объекты, только что предъявленные ему в виртуальной сцене. На этом этапе задачей наблюдателя было при помощи джойстика «взять» из библиотеки запомненные объекты сцены и расположить их в виртуальном пространстве в соответствии с указанным ракурсом. Для этого участник должен был, нажав кнопку на флайстике, «захватить» виртуальный объект, «перетащить» его, а затем, отпустив кнопку, оставить на нужном месте. Регистрировались точность идентификации и локализации объектов в воспроизведенной сцене. После воспроизведения первой сцены участнику предъявлялась вторая сцена и процедура повторялась. Перед проведением эксперимента проводилась серия тренировочных заданий, в которых участник знакомился с виртуальной средой и учился управлять виртуальными объектами при помощи флайстика. Средняя длительность воспроизведения сцены составляла 20–30 с. Время проведения тренировочных заданий и основного эксперимента для одного участника занимало в среднем 16–20 мин.

Обработка результатов. Оценка успешности воспроизведения объектов (объем пространственной кратковременной памяти) проводилась в соответствии с модифицированным методом Джекобсона и рассчитывалась как среднее по выборке число правильно воспроизведенных объектов сцены отдельно для каждого ракурса воспроизведения. Оценка успешности локализации объектов рассчитывалась раздельно по трем параметрам: топологии, метрике и глубине.

Результаты

В качестве независимой переменной выступил мысленный ракурс воспроизведения сцены: «спереди» – мысленный ракурс воспроизведения сцены из оригинального ракурса (эгоцентрическая система кодирования), «слева» и «сверху» – мысленные ракурсы воспроизведения сцены (аллоцентрическая система кодирования).

Анализировались четыре зависимые переменные:

- успешность идентификации объектов;
- успешность локализации объектов (топология);
- успешность локализации объектов (метрика);
- успешность локализации объектов (глубина).

Успешность идентификации объектов. Для каждого участника рассчитывалось число правильно воспроизведенных объектов по всем сценам отдельно для каждого ракурса. Затем оценивались усредненные по выборке значения вероятности P правильно воспроизведенных объектов отдельно для каждого ракурса воспроизведения. Усредненные значения вероятности воспроизведения и стандартные отклонения для ракурсов «спереди», «слева» и «сверху» представлены в таблице 1.

Представленные в таблице 1 данные успешности идентификации объектов отдельно по ракурсам «спереди», «слева» и «сверху», усредненные по всей выборке участников, отражены на диаграмме (рис. 3). По оси абсцисс представлена успешность идентификации

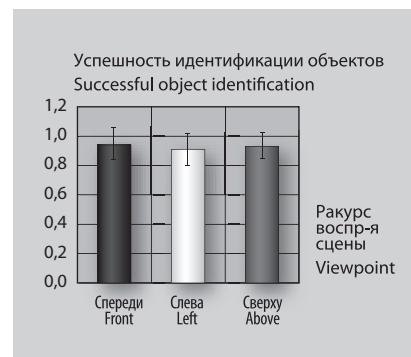


Рисунок 3. Успешность идентификации объектов в зависимости от ракурса воспроизведения сцены.

Fig. 3. Successful object identification using the given viewpoint.

в процессе воспроизведения, по оси ординат – ракурсы воспроизведения сцены.

Использование процедуры сравнения средних по Т-критерию Стьюдента для независимых выборок показало, что не обнаружено статистически значимой разницы между средними значениями успешности идентификации для ракурсов «спереди»–«слева» ($t = 0,89$; $df = 35$; $p = 0,38$), «слева»–«сверху» ($t = -0,95$; $df = 35$; $p = 0,35$) и «сверху»–«спереди» ($t = -0,01$; $df = 35$; $p = 0,99$). Мы также проанализировали данные успешности идентификации отдельно по мужской и женской выборкам. Для мужской выборки значение успешности идентификации составило $P(\text{муж}) = 0,93 \pm 0,05$, для женской – $P(\text{жен}) = 0,92 \pm 0,07$. Статистически значимой разницы между значениями $P(\text{муж})$ и $P(\text{жен})$ не обнаружено ($t = -0,27$; $df = 31$; $p = 0,79$). Полученные нами результаты успешности идентификации объектов при воспроизведении выявили, что участники успешно воспроизводили 6–7 объектов вне зависимости от того, из какого мысленного ракурса – эгоцентрического или аллоцентрического сцена воспроизводилась, а также независимо от гендерной принадлежности участников. В процессе воспроизведения все участники делали мало ошибок – в среднем по одной в каждой сцене. Полученные данные согласуются и с их самооценками – большинство участников на вопрос о том, сколько предметов удалось уверенно запомнить, ответили: «шесть» или «семь». Учитывая, что созданные виртуальные сцены содержали семь

Табл. 1. Средние значения вероятности P и стандартные отклонения SD переменной «успешность идентификации объектов».

Успешность идентификации Тип ракурса	P	SD
Спереди	0,94	0,11
Слева	0,91	0,11
Сверху	0,93	0,09

Table 1. Mean values of P -probability and SD -standard deviations of the "successful object identification" variable.

Successful Object Identification Viewpoint	P	SD
Front	0.94	0.11
Left	0.91	0.11
Above	0.93	0.09

объектов, полученные нами результаты хорошо согласуются с классическими данными по оценке объема кратковременной памяти. Неоднократно было показано, что при одновременном показе отдельных объектов участники способны запомнить «магическое число» 7 ± 2 , демонстрирующее ограниченность объема кратковременной памяти (Miller, 1956).

Успешность локализации объектов (топология). Под топологическими ошибками мы понимали ситуации, в которых наблюдатель изменял взаимное расположение любой пары из всех семи объектов при воспроизведении запомненной сцены. Для расчета этого типа ошибок для каждого участника и для каждого ракурса подсчитывалось число правильно воспроизведенных взаимных расположений объектов для любой пары из всего набора объектов по всем сценам раздельно. Затем были рассчитаны значения успешности локализации объектов по топологическому параметру и их среднеквадратичные отклонения, усредненные по всей выборке участников. Эти значения составили для ракурса «спереди» $P = 0,90 \pm 0,16$, ракурса «слева» $P = 0,79 \pm 0,19$, а для ракурса «сверху» $P = 0,68 \pm 0,21$. Полученные данные показывают, что участники достаточно адекватно запоминали и воспроизводили взаимное расположение объектов сцены в задаче воспроизведения «спереди» (эгоцентрическая система координат). Число топологических ошибок возрастало при воспроизведении сцены из ракурсов «слева» и «сверху» (аллоцентрическая система координат), причем, их число было значимо выше в задаче воспроизведения из ракурса «спереди», по сравнению с ракурсом «слева». Были выявлены статистически значимые различия между средними значениями успешности локализации по параметру топологии между ракурсами «спереди»–«слева» ($t = 3,01$; $df = 34$; $p = 0,005$), «слева»–«сверху» ($t = 3,57$; $df = 27$; $p = 0,001$) и «спереди»–«сверху» ($t = -4,80$; $df = 27$; $p = 0,001$). Проведенный анализ показал, что успешность локализации объектов по топологическому параметру высока, однако при воспроизведении взаимного расположения объектов в сцене большие трудности у участников вызывает задача воспроизведения из ракурса «сверху».

Успешность локализации объектов (метрика). Под метрическими ошибками мы понимали отклонение координат объектов X_0, Y_0, Z_0 в задаче воспроизведения сцены более, чем на 20% относительно координат объектов X_1, Y_1, Z_1 в задаче запоминания. Для оценки успешности воспроизведения локализации объектов по метрическому параметру для каждого участника рассчитывалось число отклонений координат при воспроизведении каждого объекта во всех сценах, не превышающих 20% отклонение координат при запоминании объектов. Значения усредненной по всей выборке успешности воспроизведения локализации объектов по метрическому параметру были равны: для ракурса «спереди» $P = 0,48 \pm 0,25$, для ракурса «слева» $P = 0,44 \pm 0,23$ и для ракурса «сверху» $P = 0,40 \pm 0,21$. По Т-критерию Стьюдента для парных выборок не обнаружено статистически значимых различий в метрической точности для ракурсов «спереди»–«слева» ($t = 0,89$; $df = 35$; $p = 0,38$), «слева»–«сверху» ($t = 0,82$; $df = 35$; $p = 0,42$) и «сверху»–«спереди» ($t = -1,46$; $df = 35$; $p = 0,15$). Полученные данные, с нашей точки зрения, свидетельствуют об относительно низком уровне кодирования метрической информации в кратковременной памяти, что проявляется в высокой вариативности данных по выборке при воспроизведении метрических параметров сцены.

Успешность локализации объектов (глубина). Под ошибками по глубине мы понимали ошибки порядка расположения объектов по оси Z в задаче воспроизведения из ракурса «спереди», по оси X – из

ракурса «слева», и по оси Y – из ракурса «сверху». К ним относились ситуации воспроизведения, в которых более далекий предмет воспроизводился как более близкий, изменив свой ранговый порядок по глубине. Была рассчитана успешность локализации объектов по параметру глубины для каждого участника, а затем средние значения по всей выборке участников. Они составили: $P = 0,52 \pm 0,21$ для ракурса «спереди», $P = 0,42 \pm 0,17$ для ракурса «слева» и $P = 0,30 \pm 0,12$ для ракурса «сверху». Статистически значимые различия получены для ракурсов «спереди»–«слева» ($t = 2,05$; $df = 35$; $p = 0,05$), «слева»–«сверху» ($t = 3,43$; $df = 35$; $p = 0,01$) и «сверху»–«спереди» ($t = -5,30$; $df = 35$; $p = 0,01$). Полученные данные показывают, что точность воспроизведения локализации объектов по глубине достаточно низкая. При этом лучше всего воспроизводятся параметры глубины из эгоцентрического ракурса «спереди», хуже – из аллоцентрического ракурса «слева» и еще хуже – из аллоцентрического ракурса «сверху».

Значения успешности воспроизведения локализации объектов по параметрам топологии, метрики и глубины P и стандартные отклонения SD для эгоцентрического ракурса «спереди», и аллоцентрических ракурсов «слева» и «сверху» сведены в таблицу 2.

Данные таблицы 2 представлены графически на рис. 4. По оси абсцисс отложены значения успешности воспроизведения локализации объектов по параметрам топологии, метрики и глубины, по оси ординат – ракурсы воспроизведения сцены. Столбики серого цвета отражают топо-

Табл. 2. Усредненные по выборке значения успешности локализации P и стандартные отклонения SD переменных «успешность локализации объектов по параметрам топологии, метрики и глубины».

Успешность локализации Тип ракурса	Топология		Метрика		Глубина	
	P	D	P	D	P	SD
Спереди	0,90	0,16	0,48	0,25	0,52	0,21
Слева	0,79	0,19	0,44	0,23	0,42	0,17
Сверху	0,68	0,21	0,40	0,21	0,30	0,12

Table 2. Mean value of successful P-pinpointing and SD-standard deviations of «successful pinpointing of object location by topology, measurements and depth» variables.

Successful pinpointing of object location Viewpoint	Topology		Measurements		Depth	
	P	D	P	D	P	SD
Front	0,90	0,16	0,48	0,25	0,52	0,21
Left	0,79	0,19	0,44	0,23	0,42	0,17
Right	0,68	0,21	0,40	0,21	0,30	0,12

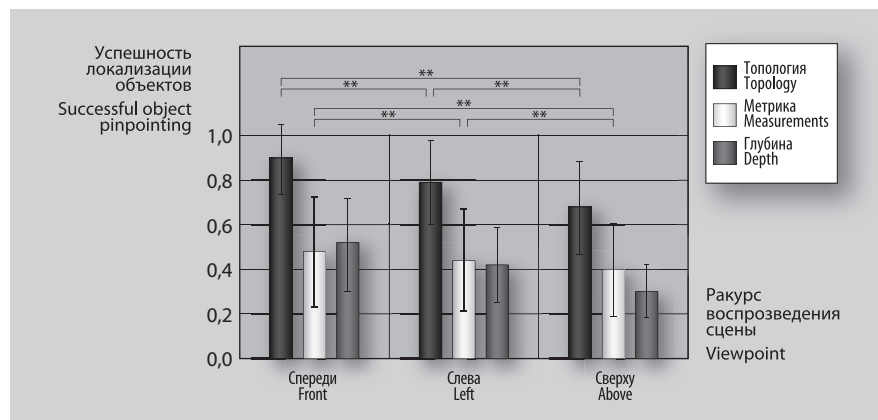


Рис. 4. Успешность воспроизведения локализации объектов по параметрам топологии (столбики серого цвета), метрики (столбики светло-серого цвета) и глубины (столбики темно-серого цвета) в зависимости от ракурса воспроизведения сцены.

Fig. 4. Successful pinpointing of object location by topology parameters (mid grey), measurements (light grey) and depth (dark grey) depending on the angle type.

гическую точность воспроизведения, столбики светло-серого цвета – метрическую точность и столбики темно-серого цвета – точность воспроизведения по глубине.

В нашем исследовании мы проверяли гипотезу о том, что успешность воспроизведения трехмерной сцены зависит от типа систем кодирования пространственной информации (аллоцентрической и эгоцентрической систем). Мы предположили, что эгоцентрические репрезентации в задаче кодирования пространственной информации из ракурса «спереди» формируются и воспроизводятся значительно точнее относительно аллоцентрических репрезентаций, реконструированных из ракурсов «слева» и «сверху». Также мы ожидали, что репрезентации из ракурса «сверху» будут воспроизводиться точнее по сравнению с репрезентациями из ракурса «сбоку». Полученные нами результаты подтвердили высказанную гипотезу: пространственная информация из ракурса «спереди» воспроизводится значительно точнее относительно аллоцентрических репрезентаций по параметрам топологии, метрики и глубины. Эти данные хорошо согласуются с многочисленными исследованиями, в которых было выявлено более точное воспроизведение эгоцентрических репрезентаций, по сравнению с аллоцентрическими репрезентациями (Shepard, Metzler, 1971; Diwadkar, McNamara, 1997; Coluccia et al., 2007). Аналогично нашим данным, в указанных работах было показано, что воспроизведение сцены ухуд-

шается при увеличении угла, под которым мысленно видится сцена – чем больше мысленный ракурс отличается от того, под которым сцена запоминалась, тем хуже точность воспроизведения. Таким образом, в нашей работе была подтверждена идея о том, что точность воспроизведения зависит от сложности пространственных преобразований, которые необходимо мысленно произвести со сценой.

Выводы

Проведенное нами исследование процессов воспроизведения мысленных трехмерных сцен при использовании технологии виртуальной реальности позволяет сделать следующие выводы.

- Разработан метод оценки характеристик пространственной памяти с помощью системы виртуальной реальности CAVE, включающий разработку виртуальной среды, представляющей из себя библиотеку трехмерных предметов, разработку возможности манипулировать с объектами с помощью флайстика, а также первичный анализ пространственного положения воспроизведенных объектов.
- Разработан оригинальный дизайн эксперимента для изучения особенностей формирования эгоцентрических и аллоцентрических пространственных репрезентаций, включающий предъявление и воспроизведение виртуальных

трехмерных объектов из разных пространственных ракурсов.

- Разработан метод анализа координат виртуальной сцены, реконструированной из различных мысленных ракурсов, позволивший оценить точность воспроизведения пространственных репрезентаций по параметрам топологии, метрики и глубины.
- Оценка успешности идентификации объектов при воспроизведении показала, что участники, независимо от гендерной принадлежности, с высокой вероятностью воспроизводили 6–7 объектов сцены, вне зависимости от того, из какого мысленного ракурса осуществлялось ее воспроизведение.
- Выявлены особенности кодирования пространственной информации в эгоцентрическом и аллоцентрическом блоках кодирования пространственной информации по параметрам метрики, топологии и глубины. Эгоцентрические репрезентации (ракурс «спереди») по всем параметрам (метрика, топология, глубина) формируются значительно точнее, чем аллоцентрические репрезентации (ракурсы «слева» и «сверху»), независимо от ракурса.
- Топологические параметры пространства сохраняются в кратковременной памяти значительно точнее, чем параметры глубины, которые, в свою очередь, кодируются более точно, чем параметры метрики, независимо от ракурса.
- Точность кодирования пространственных представлений различается для двух типов аллоцентрических ракурсов: ракурс «сверху» воспроизводится значительно точнее, чем ракурс «слева».

Полученные результаты позволяют уточнить современные модели кодирования пространственной информации в кратковременной памяти человека. Разработанный нами метод может использоваться в клинической реабилитации для тестирования нарушений восприятия пространства, а также нарушений кратковременной памяти.

Благодарность

Исследование выполнено за счет гранта РФФИ (Грант № 17-29-02169). Работа выполнена с использованием оборудования, приобретенного за счет средств Программы развития Московского университета.

Литература:

- Беккер Л.М. Психика и реальность: единая теория психических процессов. – Москва : Смысл, 1998. – 685 с.
- Величковский Б.М., Блинникова И.В., Лапин Е.А. Представление реального и воображаемого пространства // Вопросы психологии. – 1986. – № 3. – С. 103–113.
- Величковский Б.М. Когнитивная наука: основы психологии познания. В 2 тт. Т. 2. – Москва : Академия, 2006. – 432 с.
- Зинченко Ю.П., Меньшикова Г.Я., Баяковский Ю.М., Черноризов А.М., Войскунский А.Е. Технологии виртуальной реальности: методологические аспекты, достижения и перспективы // Национальный психологический журнал. – 2010. – № 1(3). – С. 54–62.
- Ковязина М.С., Варако Н.А., Расказова Е.И. Психологические аспекты проблемы реабилитации // Вопросы психологии. – 2017. – № 3. – С. 40–50.
- Март Д. Зрение. Информационный подход к изучению представления и обработки зрительных образов. – Москва : Радио и связь, 1987. – 400 с.
- Меньшикова Г.Я., Тетерева А.О., Пестун М.В. Влияние аффективных факторов на формирование когнитивных карт пространства // Естественно-научный подход в современной психологии / отв. ред. В.А. Барabanщиков. – Москва : Изд-во «Институт психологии РАН», 2014. – С. 542–548.
- Найссер У. Познание и реальность. – Москва : Прогресс, 1981. – 230 с.
- Ричардсон Дж.Т.Э. Мысленные образы: когнитивный подход. – Москва : Когито-Центр, 2006. – 175 с.
- Burgess, N. (2006) Spatial memory: How egocentric and allocentric combine. *Trends Cogn. Sci.*, 10(12), 551–557. doi: 10.1016/j.tics.2006.10.005
- Coluccia, E., Iouse, G., & Brandimonte, M. (2007) The relationship between map drawing and spatial orientation abilities: A study of gender differences. *Journal of Environmental Psychology*, 27, 135–144. doi: 10.1016/j.jenvp.2006.12.005
- Craik, F.I.M., & Lockhart, R.S. (1972) Levels of processing: A frame work for memory research. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 14–18.
- Diwadkar, V.A., & McNamara, T.P. (1997) Viewpoint dependence in scene recognition. *Psychological Science*. 8, 302–307. doi: 10.1111/j.1467-9280.1997.tb00442.x
- Dobrushina, O.R., Varako, N.A., & Kovyazina, M.S. (2016) Integration of neurofeedback into holistic model of neurorehabilitation, 22(S2). doi: 10.1017/S1355617717000030
- Filimon, F. (2015) Are all spatial reference frames egocentric? Reinterpreting evidence for allocentric, object-centered, or world-centered reference frames. *Frontiers in Human Neuroscience*, 9 (648), 1–21. doi: 10.3389/fnhum.2015.00648
- Gardner, H., Kornhaber, M.L., & Wake, W.K. (1996) *Intelligence: Multiple Perspectives*. Harcourt Brace College Publishers, 351.
- Klatzky, R.L. (1998) Allocentric and egocentric spatial representations: definitions, distinctions and interconnections. *Spat.Cogn.*, 1404, 1–17. doi: 10.1007/3-540-69342-4_1
- Kosslyn, S.M., Thompson, W.L., & Ganis, G. (2006) *The case for mental imagery*. New York: Oxford University Press. Chicago. doi: 10.1093/acprof:oso/9780195179088.001.0001
- Menshikova, G.Ya., Kovalev, A.I., Klimova, O.A., & Barabanshikova, V.V. (2017) The application of virtual reality technology to test the motion sickness resistance. *Psychology in Russia: State of the Art*, 10(3), 151–164. doi: 10.11621/pir.2017.0310
- Miller, G. (1956) The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, 63, 81–97. doi: 10.1037/h0043158
- Posner, M.I., & Boies, S.J. (1971) Components of attention. *Psychological Review*, 78(5), 391–408. doi: 10.1037/h0031333
- Rinck, M., & Denis, M. (2004) The metrics of spatial distance traversed during mental imagery. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition*, 30, 1211–1218. doi: 10.1037/0278-7393.30.6.1211
- Shepard, R.N., & Chipman, S. (1970) Second-order isomorphism of internal representation: shapes of states. *Cogn. Psychol.*, 1, 1–17. doi: 10.1016/0010-0285(70)90002-2
- Shepard, R.N., & Metzler, J. (1971) Mental rotation of three-dimensional objects. *Science*, 171, 701–703. doi: 10.1126/science.171.3972.701
- Smith, J.W. (2015) Immersive Virtual Environment Technology to Supplement Environmental Perception, Preference and Behavior Research: A Review with Applications. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 12, 11486–11505. doi: 10.3390/ijerph120911486
- Tolman, E.C. (1948) Cognitive maps in rats and men. *Psychological Review*, 55, 189–208. doi: 10.1037/h0061626
- Thurstone, L.L. (1924) The Stimulus-Response Fallacy in psychology. In *The Nature of Intelligence*. London: Kegan paul, Trench Trubner&Co., 1–23. doi: 10.1037/11388-001
- Tversky, B. (1992) Distortions in cognitive maps. *Geoforum*, 23(2), 131–138. doi: 10.1016/0016-7185(92)90011-R
- Wang, R.F., & Spelke, E.S. (2000) Updating egocentric representations in human navigation. *Cognition*, 77, 215–250. doi: 10.1016/S0010-0277(00)00105-0
- Wang, R.F., & Spelke, E.S. (2002) Human spatial representation: insights from animals. *Trends in cognitive sciences*, 6(9), 376–382. doi: 10.1016/S1364-6613(02)01961-7
- Zinchenko, Yu.P., Kovalev, A.I., Menshikova, G.Ya., & Shaigerova, L.A. (2015) Postnonclassical methodology and application of virtual reality technologies in social research. *Psychology in Russia: State of the Art*, 8(4), 60–71. doi: 10.11621/pir.2015.0405

References

- Burgess, N. (2006) Spatial memory: How egocentric and allocentric combine. *Trends Cogn. Sci.*, 10(12), 551–557. doi: 10.1016/j.tics.2006.10.005
- Coluccia, E., Iouse, G., & Brandimonte, M. (2007) The relationship between map drawing and spatial orientation abilities: A study of gender differences. *Journal of Environmental Psychology*, 27, 135–144. doi: 10.1016/j.jenvp.2006.12.005
- Craik, F.I.M., & Lockhart, R.S. (1972) Levels of processing: A frame work for memory research. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 14–18.

Для цитирования: Меньшикова Г.Я., Савельева О.А., Ковязина М.С. Оценка успешности воспроизведения эгоцентрических и аллоцентрических пространственных репрезентаций при использовании систем виртуальной реальности // Национальный психологический журнал. – 2018. – №2(30). – С. 113–122. doi: 10.11621/pj.2018.0212

For citation: Menshikova G.Ya., Savelyeva O.A., Kovyazina M.S. (2018) Assessing successful reproduction of egocentric and allocentric spatial representations using virtual reality National Psychological Journal, [Natsional'nyy psikhologicheskij zhurnal], 11(2), 113–122. doi: 10.11621/npsyj.2018.0212

ISSN 2079-6617 Print | 2309-9828 Online
© Lomonosov Moscow State University, 2018
© Russian Psychological Society, 2018

- Diwadkar, V.A., & McNamara, T.P. (1997) Viewpoint dependence in scene recognition. *Psychological Science*, 8, 302–307. doi: 10.1111/j.1467-9280.1997.tb00442.x
- Dobrushina, O.R., Varako, N.A., & Kovyazina, M.S. (2016) Integration of neurofeedback into holistic model of neurorehabilitation. , 22(S2). doi: 10.1017/S1355617717000030
- Filimon, F. (2015) Are all spatial reference frames egocentric? Reinterpreting evidence for allocentric, object-centered, or world-centered reference frames. *Frontiers in Human Neuroscience*, 9 (648), 1–21. doi: 10.3389/fnhum.2015.00648
- Gardner, H., Kornhaber, M.L., & Wake, W.K. (1996) *Intelligence: Multiple Perspectives*. Harcourt Brace College Publishers, 351.
- Klatzky, R.L. (1998) Allocentric and egocentric spatial representations: definitions, distinctions and interconnections. *Spat.Cogn*, 1404, 1–17. doi: 10.1007/3-540-69342-4_1
- Kosslyn, S.M., Thompson, W.L., & Ganis, G. (2006) *The case for mental imagery*. New York: Oxford University Press. Chicago. doi: 10.1093/acprof:oso/9780195179088.001.0001
- Kovyazina, M.S., Varako, N.A., & Rasskazova, E.I. (2017) Psychological aspects of the problem of rehabilitation [*Voprosy psikhologii*], 3, 40–50.
- Marr, D. Sight (1987) Information approach to the study of representation and processing of visual images. Moscow, Radio and Communication, 400.
- Menshikova, G.Ya., Tetereva, A.O., & Pestun, M.V. (2014) Influence of affective factors on the formation of cognitive maps of space. [*Estestvenno-nauchnyy podkhod v sovremennoy psikhologii*]. Moscow, Izdatel'stvo «Institut psikhologii RAN», 542–548.
- Menshikova, G.Ya., Kovalev, A.I., Klimova, O.A., & Barabanshchikova, V.V. (2017) The application of virtual reality technology to test the motion sickness resistance. *Psychology in Russia: State of the Art*, 10(3), 151–164. doi: 10.11621/pir.2017.0310
- Miller, G. (1956) The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, 63, 81–97. doi: 10.1037/h0043158
- Naiasser, U. (1981) *Cognition and Reality*. Moscow, Progress, 230.
- Posner, M.I., & Boies, S.J. (1971) Components of attention. *Psychological Review*, 78(5), 391–408. doi: 10.1037/h0031333
- Richardson, J.T.E. (2006) *Mental images: a cognitive approach*. Moscow, Kogito-Tsenter, 175.
- Rinck, M., & Denis, M. (2004) The metrics of spatial distance traversed during mental imagery. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition*, 30, 1211–1218. doi: 10.1037/0278-7393.30.6.1211
- Shepard, R.N., & Chipman, S. (1970) Second-order isomorphism of internal representation: shapes of states. *Cogn. Psychol*, 1, 1–17. doi: 10.1016/0010-0285(70)90002-2
- Shepard, R.N., & Metzler, J. (1971) Mental rotation of three-dimensional objects. *Science*, 171, 701–703. doi: 10.1126/science.171.3972.701
- Smith, J.W. (2015) Immersive Virtual Environment Technology to Supplement Environmental Perception, Preference and Behavior Research: A Review with Applications. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 12, 11486–11505. doi: 10.3390/ijerph120911486
- Tolman, E.C. (1948) Cognitive maps in rats and men. *Psychological Review*, 55, 189–208. doi: 10.1037/h0061626
- Thurstone, L.L. (1924) The Stimulus-Response Fallacy in psychology. In *The Nature of Intelligence*. London: Kegan paul, Trench Trubner&Co., 1–23. doi: 10.1037/11388-001
- Tversky, B. (1992) Distortions in cognitive maps. *Geoforum*, 23(2), 131–138. doi: 10.1016/0016-7185(92)90011-R
- Vekker, L.M. (1998) *Psychic and reality: a unified theory of mental processes*. Moscow, Smysl, 685.
- Velichkovsky, B.M., Blinnikova, I.V., & Lapin, E.A. Representation of real and imaginary space. [*Voprosy psikhologii*], 3, 103–113.
- Velichkovsky, B.M. (2006) Cognitive science: the basis of the psychology of cognition. In 2 vols. Vol. 2. Moscow, Akademiya, 432.
- Wang, R.F., & Spelke, E.S. (2000) Updating egocentric representations in human navigation. *Cognition*, 77, 215–250. doi: 10.1016/S0010-0277(00)00105-0
- Wang, R.F., & Spelke, E.S. (2002) Human spatial representation: insights from animals. *Trends in cognitive sciences*, 6(9), 376–382. doi: 10.1016/S1364-6613(02)01961-7
- Zinchenko, Yu.P., Menshikova, G.Ya., Bayakovskiy, Yu.M., Chernorizov, A.M., & Voiskunsky, A.E. (2010) Virtual reality technologies: methodological aspects, achievements and prospects. *National Psychological Journal*, 1 (3), 54–62.
- Zinchenko, Yu.P., Kovalev, A.I., Menshikova, G.Ya., & Shaigerova, L.A. (2015) Postnonclassical methodology and application of virtual reality technologies in social research. *Psychology in Russia: State of the Art*, 8(4), 60–71. doi: 10.11621/pir.2015.0405