

DOI: 10.17586/1023-5086-2024-91-08-89-98

УДК 612.821,572.57.02, 535.2

Применение технологий виртуальной реальности для оценки эгоцентрических и аллоцентрических пространственных репрезентаций в рабочей памяти

Ольга Александровна Савельева^{1✉}, Галина Яковлевна Меньшикова²,
Борис Борисович Величковский³, Григорий Степанович Бугрий⁴

¹Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова, Москва, Россия

^{1, 2, 3, 4}Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

³Московский государственный лингвистический университет, Москва, Россия

¹SavelevaPsy@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-5993-747X>

²gmenshikova@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-5670-921X>

³velitchk@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0001-7823-0605>

⁴gregbugr@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0002-6971-418>

Аннотация

Предмет исследования. В работе предложена методика оценки точности эгоцентрических и аллоцентрических пространственных репрезентаций, которые выступают основой для описания пространства. На точность формирования репрезентаций влияет множество факторов: личностных, эмоциональных, когнитивных, средовых и других. **Целью исследования** была разработка и апробация методики оценки точности формирования эгоцентрических и аллоцентрических репрезентаций в рабочей памяти. **Метод исследования** — иммерсивные технологии виртуальной реальности CAVE. Результаты показали, что в рабочей памяти пространство представления информации зависит от решаемой задачи и индивидуальных особенностей человека-оператора. **Выводы:** теоретическим базисом пространства представления визуальной информации оператором выступает согласованная работа визуальной и пространственной когнитивных систем, кодирующих метрические, глубинные и топологические параметры локализации объектов в пространстве. Вариабельность полученных данных выступает практической основой контроля стрессовой реакции различного уровня в условиях виртуальной реальности в зависимости от сложности решаемой когнитивной задачи и личностных особенностей (когнитивный стиль, черты личности, сформированность пространственных способностей и др.). Результаты применимы в робототехнике, здравоохранении и смежных областях для совершенствования процедур дифференциальной диагностики, тестирования, коррекции пространственных нарушений и др.

Ключевые слова: пространство представления информации оператором, эгоцентрические и аллоцентрические пространственные репрезентации, рабочая память, топология, метрика, глубина, виртуальная реальность

Благодарность: исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 23-78-10090. Работа выполнена на оборудовании, поставленном по программе развития МГУ имени М.В. Ломоносова.

Ссылка для цитирования: Савельева О.А., Меньшикова Г.Я., Величковский Б.Б., Бугрий Г.С. Применение технологий виртуальной реальности для оценки эгоцентрических и аллоцентрических пространственных репрезентаций в рабочей памяти // Оптический журнал. 2024. Т. 91. № 8. С. 89–98. <http://doi.org/10.17586/1023-5086-2024-91-08-89-98>

Коды OCIS: 330.4300, 330.4270, 330.5020.

Using the virtual reality technologies to assess egocentric and allocentric spatial representations in working memory

OLGA A. SAVELEVA¹✉, GALINA YA. MENSHIKOVA²,
BORIS B. VELICHKOVSKY³, GRIGORY S. BUGRIY⁴

¹I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University) Moscow, Russia

^{1, 2, 3, 4}Lomonosov Moscow State University (Lomonosov MSU), Moscow, Russia

³Moscow State Linguistic University, Moscow, Russia

¹SavelevaPsy@gmail.com <https://orcid.org/0000-0001-5993-747X>

²gmenshikova@gmail.com <https://orcid.org/0000-0001-5670-921X>

³velitchk@mail.ru <https://orcid.org/0000-0001-7823-0605>

⁴gregbugr@yandex.ru <https://orcid.org/0000-0002-6971-418>

Abstract

Subject of study. The paper proposes the method for assessing the accuracy of egocentric and allocentric spatial representations, which serve as the basis for describing the surrounding space. The accuracy of spatial representations depends on many factors: personal, emotional, cognitive, environmental and others. **The aim of the study** was to develop and test a methodology for assessing the accuracy of the egocentric and allocentric representations in working memory. **Research method** is using immersive CAVE virtual reality technologies. **The results** showed that in working memory the representation space of information depends on the task being solved and the individual characteristics of the human operator. **Conclusions.** The theoretical foundation for space of visual information representation by the operator is the coordinated work of the visual and spatial cognitive systems, encoding the metric, depth and topological parameters of the localization of objects in the surrounding space. Data variability is considered as a practical basis for controlling stress reactions of various levels in virtual reality, depending on the complexity of the cognitive task being solved and personal characteristics (cognitive style, personality traits, development of spatial abilities, etc.). The results are applicable in robotics, healthcare and related fields to improve procedures for differential diagnosis, testing, correction of spatial disorders, etc.

Keywords: space of information representation by the operator, egocentric and allocentric spatial representations, working memory, topology, metric, depth, virtual reality

Acknowledgment: the study was supported by the Russian Scientific Found, Project № 23-78-10090. The work was performed on the equipment of Lomonosov MSU.

For citation: Saveleva O.A., Menshikova G.Ya., Velichkovsky B.B., Bugriy G.S. Using the virtual reality technologies to assess egocentric and allocentric spatial representations in working memory [in Russian] // Opticheskii Zhurnal. 2024. V. 91. № 8. P. 89–98. <http://doi.org/10.17586/1023-5086-2024-91-08-89-98>

OCIS codes: 330.4300, 330.4270, 330.5020.

1. ВВЕДЕНИЕ

Распознавание и корректная обработка визуальной информации является актуальной междисциплинарной проблемой для целого

ряда биологических, математических, технических, клиничко-психологических дисциплин. Методология таких исследований сосредоточена на изучении живых систем, про-

шедших жёсткий эволюционный отбор, для того, чтобы имитировать природные процессы обработки визуальной информации при помощи технических интеллектуальных систем. Сфера практического применения таких устройств простирается от промышленно-инженерного полюса робототехнического зрения в разнообразных условиях, например, при беспилотном управлении автомобилем, до максимально приближенных к человеку, например, при разработке программно-аппаратных комплексов или даже киберпротезов для коррекции визуально-пространственных нарушений, возникающих по разным причинам.

В каждой отдельной дисциплине разрабатывается собственная терминология по указанной проблематике, учитывающая специфику научного направления. В когнитивных исследованиях можно встретить термин «иконика» (греч. *εἰκόνα* — изображение, образ), соответствующий направлению работ в области синтеза, обработки, передачи, восприятия содержания изображений и вопросам понимания изображения. Частью иконики является нейроиконика, как наука об алгоритмах и нейронных механизмах описания изображений окружающей среды, о механизмах восприятия и распознавания зрительных образов объектов и сцен [1].

По данным обзора, обобщающего современные исследования, на сетчатку глаза человека поступает порядка $4,56 \times 10^6$ бит в секунду, в то время как в силу физиологических ограничений объём осознанно извлекаемой визуальной информации составляет около 70 бит [2]. Такое рассогласование реального, внешнего для оператора пространства, и сформированной оператором внутренней репрезентации, отражающей свойства и характеристики внешнего пространства, требует изучения в контексте процессов восприятия, внимания и памяти.

Объём подлежащих дальнейшей обработке данных о реальных визуальных сценах, который поступает на сетчатку глаза человека-оператора, ограничен объёмом внимания. Нейрофизиологической основой функции внимания является небольшая область фовеа, размером 2° – 4° , внутри которой информация фиксируется ясно и отчётливо. За счёт быстрых саккад — скачков зрачка, за короткое время собираются данные о сцене, аккумулируемые в иконической сенсорной памяти.

Движения глаз отражают процессы переключения внимания и определяются решаемой задачей. Так, в исследованиях А.Л. Ярбуса показано, что разные задачи (оценка возраста персонажей или их социального статуса) инициируют разные траектории движения глаз [3]. Также на отбор визуальной информации влияют эмоциональные факторы, например, при посттравматическом стрессовом расстройстве в поле внимания приоритетно попадают стимулы, ассоциативно связанные с актуальной психологической травмой человека-оператора [4]. Данные в иконической памяти подлежат дальнейшей обработке, и на их основе выстраивается образ восприятия — мысленная репрезентация внешней сцены, отражающая свойства и характеристики внешнего пространства.

Не во всех случаях человек-оператор может дать осознанный отчёт о воспринимаемых визуальных образах и пространственных отношениях между ними. В работе Ю.Е. Шелепина и коллег [1] показано, что оптическим аналогом канала зрительной системы, который обеспечивает осознанное восприятие, может служить узкоугольная камера с высоким разрешением — так называемая система «телескопического» зрения, а аналогом зрительной системы, обеспечивающей неосознаваемое восприятие — система «перископического» зрения в виде широкоугольной камеры с относительно невысокой разрешающей способностью. Для создания оптимальных интеллектуальных технических систем, выступающих аналогом зрительной системы человека-оператора, необходимо уточнение когнитивных моделей обработки зрительно-пространственной информации.

Целью данного исследования была разработка и апробация методики оценки точности эгоцентрических и аллоцентрических пространственных репрезентаций в рабочей памяти.

1.1. Типы пространственных репрезентаций в пространстве представления информации

В когнитивной психологии было разработано понятие пространственных репрезентаций, благодаря которому формируются мысленные представления о локализации объектов и их взаимном расположении в пространстве [5].

Мысленные пространственные репрезентации позволяют отобразить характеристики внешнего для оператора окружающего пространства, формируясь в процессе взаимодействия с объектами с учётом индивидуальных факторов внимания оператора.

В последние годы изучение пространственных репрезентаций получило развитие в контексте реабилитации, автоматизации, разработке распознающих систем и роботизированного зрения, а также автономных интеллектуальных систем, способных к ориентировке и целенаправленному поведению на базе внутренней репрезентации окружающего пространства.

Пространство представления информации задаётся характерными признаками и степенью их выраженности [6]. Структура пространственных репрезентаций описывается через образы (объекты) и пространственные отношения между ними. Существует два типа кодирования пространственных отношений: эгоцентрический и аллоцентрический [7–10]. При формировании эгоцентрических репрезентаций локализация объектов в пространстве происходит относительно оператора. При формировании аллоцентрических репрезентаций локализация объектов кодируется относительно друг друга безотносительно позиции оператора.

Эгоцентрические репрезентации формируются на основе оптического потока, поступившего на сетчатку глаза человека-оператора. Аллоцентрические репрезентации формируются на основе дополнительных когнитивных преобразований: перерасчёта пространственных отношений при необходимости представить визуальную сцену из другой точки наблюдения (allocentric viewpoint) [9]. Эгоцентрические и аллоцентрические репрезентации участвуют в решении любых пространственных задач. Были выявлены зоны мозга, которые активируются при мысленном решении пространственных задач – гиппокамп и прилегающие области [4, 10–13]. Полученные данные с точки зрения нейроиконики (науки о понимании мозговых механизмов построения человеком зрительной картины мира) эффективно использовать как нейрокогнитивные единицы для изучения поэтапной обработки зрительно-пространственной информации в мозге человека-оператора.

1.2. Свойства пространственных репрезентаций

Пространство представления информации может быть описано на основе пространственных репрезентаций, которые иерархически организованы и динамически изменяются течением времени [14].

На точность и скорость формирования пространственных репрезентаций у людей влияют различные когнитивные и эмоциональные факторы. Так, например, увеличение когнитивной нагрузки снижает точность как эгоцентрических, так и аллоцентрических репрезентаций [13], а вот влияние эмоциональных факторов, в частности стресса неоднозначно. На выборках с клинически выраженными аффективными состояниями показано снижение точности формирования аллоцентрических репрезентаций в большей степени, чем эгоцентрических. На выборке людей со стрессовыми состояниями показаны противоречивые результаты: часть испытуемых формировала пространственные репрезентации в зрительно-пространственной памяти лучше [15], а другая часть испытуемых — хуже [4, 15]. Учитывая данные об угнетении зоны Брока при стрессе [16], особенно важной задачей становится диагностика и коррекция стрессовых состояний невербальными способами. Возраст человека является важным фактором, влияющим на точность формирования пространственных репрезентаций [8, 17], поэтому при разработке экспериментальных дизайнов необходим контроль возраста участников-операторов.

Исследования процессов формирования пространственных репрезентаций показали, что они развиваются поэтапно от схематичных к более подробным с течением времени, а значит их свойства различаются на разных временных этапах и в разных видах памяти: рабочей и долговременной [14]. Также были выявлены индивидуальные различия их структуры [18].

1.3. Формирование пространственных репрезентаций в рабочей памяти

Предполагается, что процессы формирования пространства представления информации начинают развиваться в рабочей памяти. Рабочая память — это когнитивная система, обеспечивающая временное хранение и обработку

поступающей извне информации [19]. В состав рабочей памяти входит визуально-пространственная подсистема, которая обрабатывает потоки пространственной и визуальной информации независимо друг от друга. В частности, именно визуально-пространственная рабочая память отвечает за формирование пространственных репрезентаций на самых ранних этапах процессов памяти и внимания, что уже было отмечено в разных исследованиях [20–22].

Мы разработали пространственную задачу, в которой оператор должен был запомнить 3D сцену, кратковременно предъявляемую в системе виртуальной реальности, а затем реконструировать её из разных мысленных точек наблюдения. Предполагалось, что в задаче реконструкции из точки наблюдения «спереди» (из той же точки, в которой сцена предъявлялась, egocentric viewpoint) оператор будет воспроизводить эгоцентрическую пространственную репрезентацию. Если же оператору дать инструкцию реконструировать запомненную сцену из другой точки наблюдения (например, «сверху» или «слева»), то реконструированная сцена будет воспроизводиться из аллоцентрической точки наблюдения (allocentric viewpoint).

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

2.1. Применение технологий виртуальной реальности для оценки точности формирования пространственных репрезентаций

Технологии виртуальной реальности позволяют имитировать условия, реализация которых не всегда доступна в обычных экспериментальных лабораториях, и фиксировать большее количество пространственных данных. Отмечается высокое сходство процессов формирования пространственных репрезентаций в реальных средах и в пространствах виртуальной реальности [14].

Мы разработали и апробировали методику, позволяющую при помощи технологий виртуальной реальности оценивать успешность формирования эгоцентрических и аллоцентрических репрезентаций в рабочей памяти оператора, а также варьировать когнитивные и эмоциональные факторы, влияющие на их

формирование. Разработанная методика имеет перспективы применения для более эффективного изучения процессов обработки визуально-пространственной информации живыми системами. Иммерсивные технологии виртуальной реальности дают возможность создавать субъективно опасные условия для участников при сохранении полной объективной безопасности. Кроме того, разрабатываемая методика позволяет повышать точность оценивания успешности формирования репрезентаций за счёт регистрации ряда психофизиологических показателей, главным из которых является отслеживание взгляда человека.

2.2. Участники

Согласно критериям включения, таким как возраст в диапазоне 20–25 лет [8, 17], нормальное или скорректированное до нормального зрение и отсутствие вестибулярных дисфункций или травм, было отобрано для участия в исследовании 36 человек (18 женщин, 18 мужчин, средний возраст 23 ± 2 года).

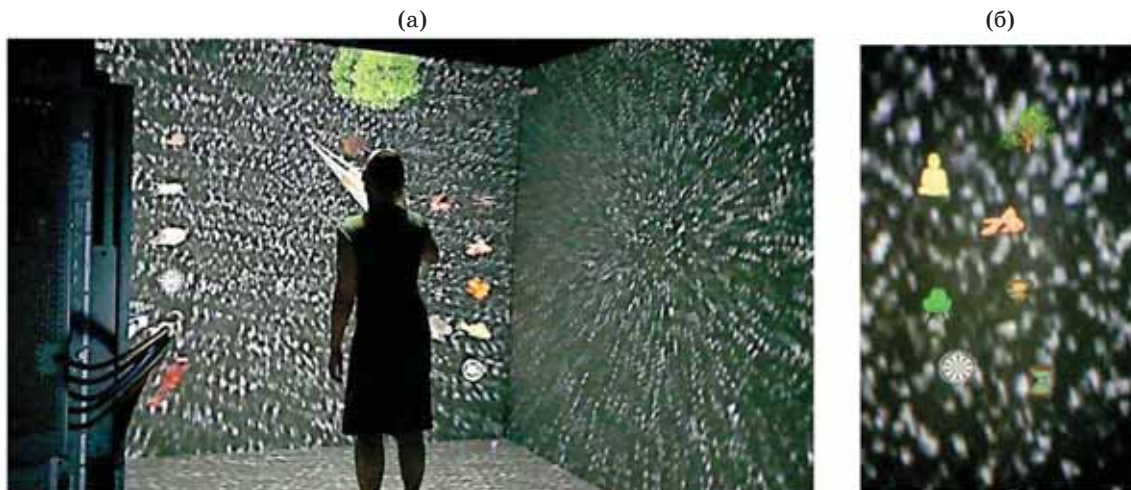
2.3. Стимуляция

Была разработана библиотека из 21-го виртуального объекта с хорошо различимыми зрительными признаками: дерево, машина, корова и др. Разработано 6 виртуальных сцен, в которых располагались по 7 виртуальных объектов (рис. 6). Объекты занимали виртуальный объём ($20^\circ \times 20^\circ \times 7^\circ$), угловой размер каждого объекта — $2^\circ \times 2^\circ$. Средняя яркость объектов варьировалась в диапазоне 15–20 Кд/м². Участникам было рекомендовано сохранять постоянное положение (2,3 м) относительно виртуальной сцены для контроля угловых размеров виртуальных объектов. В качестве фона использовалось пространство, в котором равномерно были распределены маленькие белые шарики размером $0,5^\circ \times 0,5^\circ \times 0,5^\circ$.

2.4. Процедура

Тренировка. Перед экспериментом проводилась тренировка для овладения навыками взаимодействия с виртуальной средой при выполнении пространственной задачи.

Эксперимент. Участникам предъявлялась для запоминания виртуальная 3D сцена с 7-ю объектами на 25 секунд. Их задачей было запомнить объекты и их расположение, а затем реконструировать эту сцену из опреде-



(a) Внешний вид системы виртуальной реальности CAVE, (б) вид типичной сцены
(a) CAVE virtual reality system, (б) typical scene view

лённой мысленной точки наблюдения. Было выбрано 3 условия воспроизведения: «спереди» — для реконструкции запомненной сцены из мысленной эгоцентрической позиции (egocentric viewpoint)), «слева» и «сверху» — для реконструкции сцены, как если бы участник увидел её слева или сверху из мысленной аллоцентрической позиции соответственно (allocentric viewpoint). Точка наблюдения задавалась стрелкой, предъявляемой на 3 секунды. После её исчезновения перед участником появлялась библиотека виртуальных объектов и он выбирал контроллером нужные объекты, которые должен был разместить в виртуальном пространстве в соответствии с заданной точкой мысленного наблюдения. Регистрировалась точность выбора объектов и их местоположения. Время реконструкции сцены составляло 20–30 секунд. Тренировка и эксперимент занимали примерно 20–25 минут.

2.5. Оборудование

Система виртуальной реальности CAVE Barco Ispace 4.0 состояла из четырёх больших плоских экранов (каждый размером 2,5×2,5 м), объединённых в форме куба (рис.). Виртуальная среда была разработана с использованием программного обеспечения VirTools 4.0. Взаимодействие с виртуальными объектами обеспечивалось контроллером Flystick 2. Трёхмерное изображение обеспечивалось при помощи очков CrystalEyes 3 Stereographics. Местоположение виртуальных объектов ре-

гистрировалось при помощи системы инфракрасного трекинга A.R.T. DTrack 2 с частотой обновления 8 Гц.

2.6. Анализ данных

Пространство представления информации оператором оценивалось при помощи вычисления точности формирования эгоцентрических и аллоцентрических пространственных репрезентаций по следующим параметрам:

1) Точность идентификации как среднее по выборке количество правильно реконструированных объектов;

2) Точность локализации как среднее по выборке количество правильно реконструированного местоположения виртуальных объектов.

Вводились три параметра оценки точности локализации – топология, глубина и метрика, рассчитанным на основе зарегистрированных координат объектов в исходных и реконструированных сценах. Топологические ошибки были связаны с ошибками перестановки объектов в сцене, что влияло на изменение относительных расстояний между объектами в исходной и в реконструированной сценах. Параметр «глубина» рассчитывался аналогично топологии только с учётом сдвига вдоль одной оси по глубине (ось Z из точки обозрения «спереди», ось X из точки обозрения «слева» и ось Y из точки обозрения «сверху»). Метрическая ошибка кодировалась как отклонение положения объекта более чем на 20% от исходного положения.

Данные точности идентификации и локализации рассчитывались отдельно для каждой мысленной точки наблюдения.

Применялись следующие статистические методы: дисперсионный анализ и сравнение средних.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ

Точность идентификации объектов значительно не различалась в зависимости от условий воспроизведения из разных мысленных точек наблюдения. Показатели точности в % составляли значения $(0,94 \pm 0,11)$ для ракурса «спереди», $(0,91 \pm 0,11)$ для ракурса «слева» и $(0,93 \pm 0,09)$ для ракурса «сверху» (все $p > 0,1$). Участники реконструировали 6–7 объектов. Эти данные превышают предел объёма рабочей памяти, определённого в 4 элемента [22], что с нашей точки зрения связано с тем, что в нашем эксперименте не использовалась дополнительная задача как в классическом исследовании Luck & Vogel. Полученное нами число успешных воспроизведений хорошо соответствовало магическому числу 7 ± 2 , названному Миллером (1956) «числом рабочей памяти» [23].

В то время как точность идентификации оставалась на высоком уровне, точность локализации существенно изменялась в зависимости от условий воспроизведения из разных точек наблюдения (табл.).

Топология хорошо сохраняется в рабочей памяти при формировании эгоцентрических репрезентаций (около 90% пространственной информации), но не аллоцентрических (79% в условии «слева» и 68% в условии «справа»). Средние по всем пробам и испытуемым отклонения сравнивались по экспериментальным условиям при помощи t -тестов (табл.).

T -тест выявил достоверные различия между всеми условиями воспроизведения («спереди» – «слева», $t(34) = 3,01$, $p < 0,01$; «слева» – «сверху», $t(27) = 3,57$, $p < 0,01$; «спереди» – «сверху», $t(27) = -4,80$; $p < 0,01$). Эти результаты показывают постепенное снижение точности топологического параметра при воспроизведении аллоцентрических репрезентаций, что, с нашей точки зрения, свидетельствует о более сложных процессах преобразовании пространственной информации при изменении мысленной точки наблюдения.

Расчётные данные точности реконструкции по глубине показали, что степень сохранности зависит от мысленной точки воспроизведения: лучше всего сохраняется информация о глубине при воспроизведении из эгоцентрической точки «спереди» (52%) с постепенным снижением при воспроизведении из аллоцентрических точек «слева» (42%) и «сверху» (30%). Парные сравнения средних по T -критерию Стьюдента выявили существенные статистические различия («спереди» – «слева» $t(35) = 2,05$, $p = 0,05$; «слева» – «сверху» $t(35) = 3,43$, $p = 0,01$; «спереди» – «сверху» $t(35) = -5,30$, $p = 0,01$). Эти данные позволяют предположить, что информация о глубине лучше всего сохраняется и воспроизводится на основе эгоцентрических репрезентаций.

Результаты расчёта и анализа метрики показали, что метрическая точность значительно ниже, чем топологическая, и слабо зависит от типа пространственной репрезентации. T -тесты не выявили различий между точностью метрических оценок локализации в зависимости от мысленной точки наблюдения (все $p > 0,1$). Обращает на себя внимание величина стандартных отклонений, которая составляет около 0,2, и широкий разброс данных от 20% до 60%.

Точность параметров локализации с трёх точек мысленного обозрения
Accuracy of localization parameters from three mental viewpoints

Параметры локализации	Эгоцентрические репрезентации	Аллоцентрические репрезентации		F -test	F -Value	p -Value
	Точка обозрения «Спереди»	Точка обозрения «Слева»	Точка обозрения «Сверху»			
Топология	0,90 (0,16)	0,79 (0,19)	0,68 (0,21)	0,01	--	--
Глубина	0,52 (0,21)	0,42 (0,17)	0,30 (0,12)	0,01	--	--
Метрика	0,48 (0,25)	0,44 (0,23)	0,40 (0,21)	0,20	1,06	0,35

В поисках индивидуальных различий, объясняющих разброс данных, мы дополнительно диагностировали участников. Субъективная оценка сложности предложенной задачи стала важным стрессорирующим фактором. Также объективно лучше с задачей справлялись люди, которые сообщали о себе как о «понимающих геометрию и подобные дисциплины». Диагностическая процедура позволила выделить следующий ряд характеристик, которые необходимо контролировать в дальнейшей работе: когнитивный стиль, черты личности, сформированность пространственных способностей и др.

Было показано, что данные о метрической точности воспроизведения в большей степени, чем топологические зависят от индивидуальных особенностей участников и, возможно, других неучтенных факторов.

4. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Как и в любой междисциплинарной проблеме, дискуссия по проблеме может вестись в нескольких направлениях. Исследование особенностей формирования пространственных репрезентаций в рабочей памяти человека имеет высокую значимость для понимания работы зрительной системы человека в целом.

На основе полученных данных можно сделать выводы относительно закономерностей иконической организации пространства представления информации человеком в рабочей памяти. Полученные данные также важны для перспектив развития методики оценки разного типа пространственных репрезентаций с применением технологий виртуальной реальности.

Выявленные в нашем исследовании свойства эгоцентрических и аллоцентрических репрезентаций в рабочей памяти можно качественно сравнить со свойствами репрезентаций, кодируемых в долговременной памяти. Анализ показывает схожесть по многим функциям: и для долговременной, и для рабочей памяти выявлена хорошая сохранность информации по идентификации и топологии при переключении от эгоцентрических к аллоцентрическим репрезентациям и значительная потеря информации о метрике и глубине. Эти данные демонстрируют специфику кодирования пространственной информации как в ра-

бочей, так и в долговременной памяти, связанную с тенденцией более схематично, упрощенно кодировать пространственные отношения. Эти выводы хорошо соотносятся с данными о работе визуальной и вербальной компонент рабочей памяти [24]. Эмпирические данные об особенностях формирования пространственных репрезентаций позволяют модифицировать модели рабочей памяти, предложенные в работах А. Бэддели [25]. В системе рабочей памяти можно предположить наличие подсистем, независимо обрабатывающих потоки информации о топологии и метрике. При этом подсистема, обрабатывающая топологическую информацию, работает значительно эффективнее остальных.

Согласно нашим данным, эгоцентрические репрезентации формируются точнее, чем аллоцентрические. Этот результат хорошо согласуется с данными других исследователей и в целом объясняется важной ролью иконической памяти, которая лежит в основе формирования эгоцентрических репрезентаций [19, 26]. Наши результаты позволяют говорить о преимуществах пространственных репрезентаций, формирующихся в рабочей памяти, и их дальнейших преобразований в долговременной памяти, как это показано в классической модели когнитивной памяти [27]. По крайней мере это утверждение относится к эгоцентрическим репрезентациям.

Следует отметить неожиданные результаты, которые мы получили при сравнении точности двух аллоцентрических репрезентаций, одна из которых формировалась в условиях воспроизведения запомненной сцены из точки наблюдения «сверху», а другая — из точки наблюдения «слева». Показано, что пространственная информация лучше сохраняется из точки мысленного наблюдения «слева», чем «сверху». В литературе недостаточно данных для обсуждения этих результатов, так как при обилии результатов о мысленных преобразованиях из точки «сверху», редко встречаются экспериментальные данные о формировании пространственных репрезентаций из других аллоцентрических точек мысленного обозрения. Этот вопрос требует более тщательной разработки в будущих исследованиях.

В нашем исследовании был получен большой разброс данных по показателям метрики и глубины, который можно интерпретировать

как влияние индивидуальных различий в процессах формирования пространственных репрезентаций. К ним можно отнести актуальное эмоциональное состояние (наличие или отсутствие стрессовых реакций или ситуативной тревоги) [4], особенности когнитивного стиля (полезависимость/полenezависимость, ригидность/гибкость), личностные черты (тревожность, перфекционизм и т.д.) [21], разный уровень сформированности пространственных способностей и т.д. Перечисленные

факторы ложатся в основу контроля стрессовой реакции различного уровня при решении пространственных задач.

Полученные результаты не только имеют теоретическое значение в когнитивной науке, но и потенциал для широкого практического применения в здравоохранении, робототехнике, психологии развития и спорта, педагогике и близких областях для совершенствования процедур дифференциальной диагностики, тестирования, коррекционных программ и др.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Шелепин Ю.Е., Луцив В.Р., Коротаев В.В. Оптические технологии и зрительная картина мира: иконика и нейроиконика // Оптический журнал. 2022. Т. 89. № 8. С. 3–7. <https://doi.org/10.17586/1023-5086-2022-89-08-03-07>
Shelepin Yu.E., Lutsiv V.R., Korotaev V.V. Optical technologies and the visual picture of the world: iconics and neuroiconics // Journal of Optical Technology. 2022. V. 8. № 8. P. 434–436. <https://doi.org/10.1364/JOT.89.000434>
2. Шелепин Ю.Е., Хараузов А.К., Жукова О.В., Пронин С.В., Куприянов М.С., Цветков О.В. Маскировка и обнаружение скрытых сигналов в динамических изображениях // Оптический журнал. 2020. Т. 87. № 10. С. 89–102. <https://doi.org/10.17586/1023-5086-2020-87-10-89-102>
Shelepin Yu.E., Kharauzov A.K., Zhukova O.V., Pronin S.V., Kupriyanov M.S., Tsvetkov O.V. Masking and detection of hidden signals in dynamic images // Journal of Optical Technology. 2020. V. 87. № 10. P. 624–632.
3. Ярбус А.Л. Движения глаз при восприятии сложных объектов // Роль движений глаз в процессе зрения. М.: Наука, 1965. С. 125–148.
4. Ziemer J.L. The effects of chronic stress on allocentric versus egocentric spatial memory // Doctoral thesis. Canada, Regina, Saskatchewan: The University of Regina, 2023. 85 p.
5. Shepard R.N. Form, formation, and transformation of internal representations // Information processing and cognition. Routledge. 1975. С. 87–122.
6. Малахова Е.Ю. Пространство описания зрительной сцены в искусственных и биологических нейронных сетях // Оптический журнал. 2020. Т. 87. № 10. С. 50–58.
Malakhova E.Yu. Information representation space in artificial and biological neural networks // Journal of Optical Technology. 2020. V. 87. № 10. P. 598–603. <https://doi.org/10.1364/JOT.87.000598>
7. Colombo D., Serino S., Tuena C., Pedrolì E., Dakanalis A., Cipresso P., Riva G. Egocentric and allocentric spatial reference frames in aging: A systematic review // Neuroscience and Biobehavioral Reviews. 2017. V. 80. P. 605–621. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2017.07.012>
8. Derby A.Y., Bolton K.H., Chau Clive H., Wong Y. et al. Common and distinct neural trends of allocentric and egocentric spatial coding: An ALE meta-analysis // European Journal of Neuroscience. 2021. V. 53(11). P. 3672–3687. <https://doi.org/10.1111/ejn.15240>
9. Klatzky R.L. Allocentric and egocentric spatial representations: definitions, distinctions and interconnections // Spat. Cogn. 1998. V. 1404. P. 1–17. https://doi.org/10.1007/3-540-69342-4_1
10. Wang C., Chen X., Knierim J.J. Egocentric and allocentric representations of space in the rodent brain // Current opinion in neurobiology. 2020. V. 60. C. 12–20. <https://doi.org/10.1016/j.conb.2019.11.005>
11. Bird C.M., Burgess N. The hippocampus and memory: insights from spatial processing // Nature Reviews Neuroscience. 2008. 9. 182–194. <https://doi.org/10.1038/nrn2335>
12. Danjo T. Allocentric representations of space in the hippocampus // Neuroscience research. 2020. V. 153. P. 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.neures.2019.06.002>
13. Tuena C., Mancuso V., Stramba-Badiale C. et al. Egocentric and allocentric spatial memory in mild cognitive impairment with real-world and virtual navigation tasks: a systematic review // Journal of Alzheimer's Disease. 2021. V. 79(1). P. 95–116. <https://doi.org/10.3233/JAD-201017>
14. Kuipers B. A hierarchy of qualitative representations for space // Spatial cognition: An interdisciplinary approach to representing and processing spatial knowledge. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1998. P. 337–350.
15. Hørlyck L.D., Jespersen A.E., King J.A. et al. Impaired allocentric spatial memory in patients with affective disorders // Journal of Psychiatric Research. 2022. V. 150. P. 153–159. <https://doi.org/10.1016/j.jpsychires.2022.01.042>
16. Van der Kolk B. The body keeps the score: Brain, mind, and body in the healing of trauma. NY: Penguin, 2014. 356 p.
17. Fernandez-Baizan C., Arias J.L., Mendez M. Spatial memory assessment reveals age-related differences in egocentric and allocentric memory performance // Behavioural Brain Research. 2020. V. 388. P. 112646. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2020.112646>
18. Wen W., Ishikawa T., Sato T. Individual differences in the encoding processes of egocentric and allocentric survey knowledge // Cognitive Science. 2013. V. 37. P. 176–192. <https://doi.org/10.1111/cogs.12005>
19. Baddeley A. Working memory: theories, models, and controversies // Annual review of psychology. 2012. V. 63. P. 1–29. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-120710-100422>
20. Iachini T., Ruotolo F., Iavarone A. et al. From aMCI to AD: the role of visuo-spatial memory span and execu-

- tive functions in egocentric and allocentric spatial impairments // *Brain Sciences*. 2021. V. 11. № 11. P. 1536. <https://doi.org/10.3390/brainsci11111536>
21. Ishikawa T. Individual differences and skill training in cognitive mapping: How and why people differ // *Topics in Cognitive Science*. 2023. V. 15(1). P. 163–186. <https://doi.org/10.1111/tops.12605>
 22. Luck S.J., Vogel E.K. The capacity of visual working memory for features and conjunctions // *Nature*. 1997. V. 390(6657). P. 279. <https://doi.org/10.1038/36846>
 23. Miller G.A. The magical number of seven, plus or minus two: Some limit on our capacity for processing information // *The Psychological Review*. 1956. V. 63. P. 81–97.
 24. Wagoner B. Bartlett's concept of schema in reconstruction // *Theory & Psychology*. 2013. V. 23(5). P. 553–575. <https://doi.org/10.1177/0959354313500166>
 25. Бэддели А., Айзенк М., Андерсон М. Память. СПб.: Питер, 2011. 560 с.
 26. Conrad R., Hull A.J. Information, acoustic confusion and memory span // *British Journal of Psychology*. 1964. V. 55. P. 429–432. <https://doi.org/10.1111/j.2044-8295.1964.tb00928.x>
 27. Atkinson R.C., Shiffrin R.M. Human memory: A proposed system and its control processes // *Psychology of learning and motivation*. 1968. V. 2. P. 89–195. [https://doi.org/10.1016/S0079-7421\(08\)60422-3](https://doi.org/10.1016/S0079-7421(08)60422-3)

АВТОРЫ

Ольга Александровна Савельева — кандидат психологических наук, доцент Первого МГМУ имени И.М. Сеченова, Москва, 119991, Россия; исследователь лаборатории «Восприятие» ф-та психологии МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, 125009, Россия; Scopus ID: 57202391442; <https://orcid.org/0000-0001-5993-747X>; SavelevaPsy@gmail.com

Галина Яковлевна Меньшикова — доктор психологических наук, заведующий лабораторией «Восприятие» ф-та психологии МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, 125009, Россия; Scopus ID: 36727699700; <https://orcid.org/0000-0001-5670-921X>; gmenshikova@gmail.com

Борис Борисович Величковский — доктор психологических наук, профессор, заведующий лабораторией когнитивных исследований Московского государственного лингвистического университета им. Мориса Тореза, Москва, 119034, Россия; доцент ф-та психологии МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, 125009, Россия; Scopus ID: 57216017177; <https://orcid.org/0000-0001-7823-0605>; velitchk@mail.ru

Бугрий Григорий Степанович — младший научный сотрудник лаборатории математического обеспечения имитационных динамических систем механико-математического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, 125009, Россия; Scopus ID: 57224511679; <https://orcid.org/0000-0002-6971-418>; gregbugr@yandex.ru

AUTHORS

Olga A. Saveleva — PhD (Psychology), Associate Professor of I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), 119991, Moscow, Russia; Researcher of Laboratory "Perception" Department of Psychology Lomonosov Moscow State University, Moscow 125009, Russia, Scopus ID: 57202391442; <https://orcid.org/0000-0001-5993-747X>; SavelevaPsy@gmail.com

Galina Ya. Menshikova — Doctor of Psychology, Professor, Chair of Laboratory "Perception" of Department of Psychology Lomonosov Moscow State University, Moscow, 125009, Russia; Scopus ID: 36727699700; <https://orcid.org/0000-0001-5670-921X>; gmenshikova@gmail.com

Boris B. Velichkovsky — Doctor of Psychology, Professor, Head of Laboratory for Cognitive Studies of Languages of Moscow State Linguistic University, Moscow, 119034, Russia, Chair of Methodology of Psychology Faculty of Psychology of Lomonosov Moscow State University, Moscow, 125009, Russia; Scopus ID: 57216017177; <https://orcid.org/0000-0001-7823-0605>; velitchk@mail.ru

Grigory S. Bugriy — Junior Researcher of Laboratory of software simulation of dynamic systems of Faculty of mechanics and mathematics of Lomonosov Moscow State University, Moscow, 125009, Russia; Scopus ID: 57224511679; <https://orcid.org/0000-0002-6971-418>; gregbugr@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 30.01.2024
Одобрена после рецензирования 21.05.2024
Принята к печати 28.06.2024

The article was submitted to the editorial office 30.01.2024
Approved after review 21.05.2024
Accepted for publication 28.06.2024