

АНАЛИЗ ДВИЖЕНИЙ ГЛАЗ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЗАДАЧИ МЫСЛЕННОГО ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ МАРШРУТА НА КАРТЕ ГОРОДСКОЙ МЕСТНОСТИ. ВЛИЯНИЕ ТИПА МЕТОК И ПОЛА

© 2023 г. А. Б. Кушнир^{1,*}, Е. С. Михайлова¹, Н. Ю. Герасименко¹, И. А. Казарезова¹

¹ ФГБУН Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН,
117485, Москва, ул. Бутлерова, 5А, Россия

*E-mail: naya.kushnir@gmail.com

Поступила в редакцию 17.02.2023 г.

После доработки 10.03.2023 г.

Принята к публикации 21.03.2023 г.

В психофизиологическом эксперименте с регистрацией движений глаз исследовали особенности навигации по карте (ознакомление с картой, запоминание и воспроизведение маршрута) в зависимости от типа меток на местности (отсутствие меток, с объектными метками, с вербальными метками, с двумя типами меток) и пола. Показаны снижение количества фиксаций и нарастание их длительности при воспроизведении маршрута по сравнению с ознакомлением и запоминанием. Зависимость глазодвигательных реакций от выполняемой задачи неодинакова в зонах карты, отличающихся степенью близости к маршруту. В более близких к маршруту зонах количество фиксаций при воспроизведении маршрута по сравнению с запоминанием. Напротив, в отдаленной от него “зоне вне маршрута” количество фиксаций при воспроизведении увеличивается. Эти изменения отчетливы у мужчин и не достигают уровня значимости у женщин. Мужчины при запоминании совершают больше переходов из ближней зоны в “зону вне маршрута”, тем самым формируя связь маршрута с отдаленным пространством. Женщины, напротив, чаще посещают отдаленные от маршрута участки пространства при воспроизведении. Карта с объектными метками отличается от других типов карт меньшим количеством фиксаций и большей их длительностью, что указывает на преимущество объектных меток и, как предположение, на использование испытуемыми при выполнении задания объектного визуального когнитивного стиля.

Ключевые слова: человек, пол, зрение, навигация, движения глаз

DOI: 10.31857/S0235009223020026, **EDN:** QSWNUU

ВВЕДЕНИЕ

Навигационные способности лежат в основе множества действий, связанных с планированием и осуществлением движения в пространстве. Это и регулярное следование по известному маршруту от дома на работу, и путешествие в совершенно незнакомой местности с предварительным изучением карты и составлением на ней маршрута. В целом карты, представленные в различных форматах (например, бумажном или цифровом, двумерном или трехмерном), являются наиболее распространенным вспомогательным инструментом для поиска пути. Обычно на них представлена информация об улицах, дорогах и возможных ориентирах, необходимых для успешной навигации по местности (Klippel et al., 2010). Тем не менее фокус внимания к этим элементам может различаться у отдельных людей. Так, например, есть те, кто предпочитает в основном рассматривать словесные обозначения, дру-

гие могут сосредоточиться на визуальных характеристиках карты и направить свое внимание и ресурсы обработки информации на объекты, специфически выделенные на карте. Однако кто-то и вовсе сосредотачивается на пространственных свойствах карты, мысленно создавая схематическое представление местности в целом (Pazzaglia, Moè, 2013).

В основе таких различий лежит использование людьми разных когнитивных стилей (Pazzaglia, Moè, 2013; Piccardi et al., 2015; Bocchi et al., 2018). В соответствии с многими работами (Blajenkova et al., 2006; Blazhenkova, Kozhevnikov, 2009; Kozhevnikov, 2007) выделяют вербальный и визуальный когнитивный стили. Последний также принято разделять отдельно на пространственный и объектный стили (Blajenkova et al., 2006). Ряд авторов считают, что вербальный стиль является более успешным ввиду того, что ориентиры на местности зачастую либо исходно имеют название, либо сам человек присваивает им назва-

ние, которое использует при навигации, что в свою очередь способствует лучшему выполнению задачи (Piccardi et al., 2015). Другие авторы полагают, что более успешным вариантом для навигационного поведения может быть или пространственный когнитивный стиль (за счет отсутствия привязки к определенным ориентирам), или же смешанный вариант за счет кодирования информации одновременно по двум каналам (Höffler et al., 2017). В своей работе (Pazzaglia, Moè, 2013) авторы показали, что люди с вербальным стилем практически игнорируют не свойственные этому стилю метки. Используются и другие разделения на когнитивные стили. Так, например, Нори и Гусберти использовали разделение на такие стили, как “survey”, “route” и “landmark” (Nori, Giusberti, 2006). Показано, что используемый когнитивный стиль влияет на успешность решения задачи запоминания—воспроизведения маршрута (Pazzaglia, De Beni, 2001), время изучения маршрута, запоминания расположения объектов (Mitoletto et al., 2015).

Помимо сведений о влиянии когнитивного стиля на выполнение навигационных задач, в литературе широко представлены сведения о влиянии пола, в том числе при навигации с использованием карт местности (Gagnon et al., 2018; Harris et al., 2019; Nazareth et al., 2019). Из литературы известно, что мужчины совершают меньше ошибок при воспроизведении ранее виденного маршрута, хотя женщины запоминают больше меток на маршруте (Yagi, Galea, 2019) и при наличии большого количества меток на местности могут даже опережать мужчин в нахождении пути (Saucier et al., 2002). Преимущество мужчин возрастает при выполнении навигационных задач с высокой нагрузкой на рабочую память (Nazareth et al., 2019). Такой уровень нагрузки достигается за счет включения дополнительного компонента задачи, например, когда необходимо не просто вспомнить местоположение объекта, а определить последовательность расположения нескольких объектов, или пройти по маршруту, включающему ряд поворотов, или разворотов, где необходимо следовать в обратном направлении относительно первоначального направления движения, а также в задачах со значительным ограничением времени (Voyer et al., 2017; Nazareth et al., 2019). Следует выделить исследования, в которых при решении определенных навигационных задач половые различия не были выявлены. К таким задачам относятся реальную и виртуальную навигацию в знакомой или новой среде, богатой ориентирами, при наличии неограниченного времени на изучение незнакомой окружающей среды (Nori et al., 2018; Harris et al., 2019; Nazareth et al., 2019). В недавнем исследовании с применением ПЭТ в процессе демонстрации навигации в реальном пространстве, несмотря на отсутствие половых раз-

личий на поведенческом уровне, было показано увеличение регионального метаболизма глюкозы в левом гиппокампе и правой средней височной извилине у женщин, и в черве мозжечка у мужчин (Irving et al., 2018).

В литературе есть сведения о связи когнитивных стилей с полом. В исследовании (Merrill et al., 2016) показано, что мужчины в большей степени используют пространственный когнитивный стиль, а женщины — вербальный. По данным других авторов, женщины преимущественно используют объектный визуальный стиль (Bocchi et al., 2018). Предположительно данное несоответствие в результатах исследований о предпочтении стилей у женщин может быть связано с культурными особенностями.

Несмотря на большое число исследований по навигации у человека, объем работ с регистрацией движений глаз сравнительно невелик (Mueller et al., 2008; Piccardi et al., 2016; Кушнир и др., 2019). Так, например, в работе (Mueller et al., 2008) было обнаружено, что мужчины в процессе выполнения задачи навигации в виртуальном водном лабиринте на этапе изучения пространства охватывали взором значительно более обширную область по сравнению с женщинами, в то время как женщины по сравнению с мужчинами демонстрировали большую длительность фиксации и увеличение диаметра зрачка, связанное с обработкой информации в памяти. В исследовании Пиккарди с коллегами была показана зависимость выполнения задач запоминания и воспроизведения маршрута на схематической карте от используемого когнитивного стиля, при котором учитываются визуальные характеристики пространства (Piccardi et al., 2016). Так, при использовании стиля “landmark” хорошо запоминаются метки на местности, но объединение их в единую систему не происходит; при использовании стиля “route” так же хорошо запоминаемая последовательность меток формируется в единую систему, благодаря чему запоминается маршрут, а при использовании стиля “survey” создается мысленная глобальная карта местности с учетом кардинальных направлений и метрических характеристик без акцента на отдельные метки. При воспроизведении маршрута более успешная “survey style” группа характеризовалась большим количеством фиксаций в зоне самого маршрута при воспроизведении, а менее успешная “landmark style” группа отличалась более короткими фиксациями и снижением общего времени фиксации на маршруте относительно зон вне его (Piccardi et al., 2016). В нашей предыдущей работе (Кушнир и др., 2019) были показаны сходные результаты в группах мужчин и женщин. При воспроизведении маршрута мужчины по сравнению с женщинами больше времени уделяли участкам карты, связанным с маршрутом. Нами были отмечены более

высокие показатели общего времени, количества фиксаций и их длительности у мужчин по сравнению с женщинами.

Цель настоящего исследования — по показателям глазодвигательной активности оценить особенности навигационного поведения в зависимости от типа карт местности (без меток и с различными типами меток на местности, а именно с условными обозначениями (объектные метки) и названиями улиц (вербальные метки)), а также выявить особенности выполнения задачи у мужчин и женщин.

ОПИСАНИЕ МЕТОДИКИ

Испытуемые

В эксперименте с регистрацией движений глаз приняли участие 40 здоровых испытуемых (20 мужчин, 20 женщин) с нормальным или скорректированным до нормы зрением, имеющих высшее образование. Средний возраст испытуемых составил 24.25 ± 0.79 года, у мужчин — 23.45 ± 0.21 года, у женщин — 25.05 ± 0.28 года (здесь и далее, в качестве разброса значений приведена стандартная ошибка среднего). Согласно информации, полученной от испытуемых, 34 из них были правшами, четверо — левшами, один — переученный левша и один — амбидекстр. По проведении теста Долмана (Cheng et al., 2004) установлено, что 26 испытуемых имели правый ведущий глаз, 14 — левый. От всех испытуемых было получено письменное согласие на проведение исследования, согласно протоколу, утвержденному этической комиссией ИВНД и НФ РАН (протокол № 4 от 26.10.2021).

Условия эксперимента, оборудование, программное обеспечение

В ходе исследования испытуемые сидели в кресле в звукозаглушенной камере перед экраном монитора MultiSync EA193mi (разрешение экрана 1280×1024 , размер экрана 37.7×30.1 см, частота 60 Гц). Светимость в камере составляла 10 лк. Голова была зафиксирована на подбородочной опоре на расстоянии 57 см от экрана. Движения глаз регистрировали при помощи айтрекера Smart-EyePro 5.9 (пространственное разрешение 0.5 град, частота 60 Гц, SMART EYE AB, Швеция) и программного обеспечения GazeTracker 9.0 (EyeTelllect, LLC, США). Перед началом исследования для каждого испытуемого проводили калибровку оборудования при просмотре стимульного изображения на мониторе.

Стимульный материал

В качестве стимулов использовали четыре самостоятельно нарисованные цветные карты го-

родской местности, основанные на карте города Limburg an der Lahn (Германия) и его окрестностей. Цвета, в которые были окрашены структурные элементы, взяты на основании цветовой гаммы, используемой в цифровых и бумажных картах (<https://yandex.ru/maps>). Угловой размер каждого стимула соответствовал 37.5×30 град. Для каждой карты городской местности было создано четыре варианта карт: без меток; с объектными метками; с вербальными метками; с двумя типами меток. Для вариантов карт с объектными метками (карты 2 и 4) — в качестве меток использовали самостоятельно нарисованные условные обозначения таких мест, как “музей”, “информационный пункт”, “аптека” и другие. На каждую карту было нанесено по десять меток. Для вариантов карт с вербальными метками (карты 3 и 4) — в качестве вербальных меток использовали нейтральные названия улиц, такие как “Озерная”, “Школьная”, “Северная” и другие. На каждую карту нанесено по 20 названий улиц. Представленные названия были записаны на русском языке. Такой тип карт используется во многих экспериментальных исследованиях по анализу карт местности (Wolbers, Wiener, 2014; Piccardi et al., 2016; Pazzaglia et al., 2018). Всего в эксперименте использовали четыре варианта карт городской местности, каждая с четырьмя типами меток. Таким образом, вся библиотека стимулов состояла из 16 карт. Карты приведены на рис. 1.

На каждую карту был нанесен маршрут для последующего выполнения задачи запоминания маршрута. Маршрут представлял собой контрастную голубую пунктирную линию, нарисованную от одного края карты до другого. Так как перед нами стояла задача оценить возможные различия в зависимости от типа меток, точки начала и конца маршрута специально не выделялись, чтобы не создавать дополнительные ориентиры. Каждый представленный маршрут имел от 10 до 14 поворотов, и не имел пересечений с самим собой. Средняя протяженность маршрута составляла 3337 пх.

Ход эксперимента

В эксперименте каждый испытуемый выполнял четыре блока зрительно-пространственных задач навигации по карте. Блоки различались по типу меток на карте: без меток; с объектными метками; с вербальными метками; с двумя типами меток. Последовательность выполнения блоков задач с разными вариантами меток на карте была псевдорандомизирована. Всего использовались четыре схемы предъявления карт, при этом каждый испытуемый выполнял только одну из них. Группа испытуемых была разделена случайным образом так, чтобы каждую из четырех схем выполняли по десять испытуемых из группы

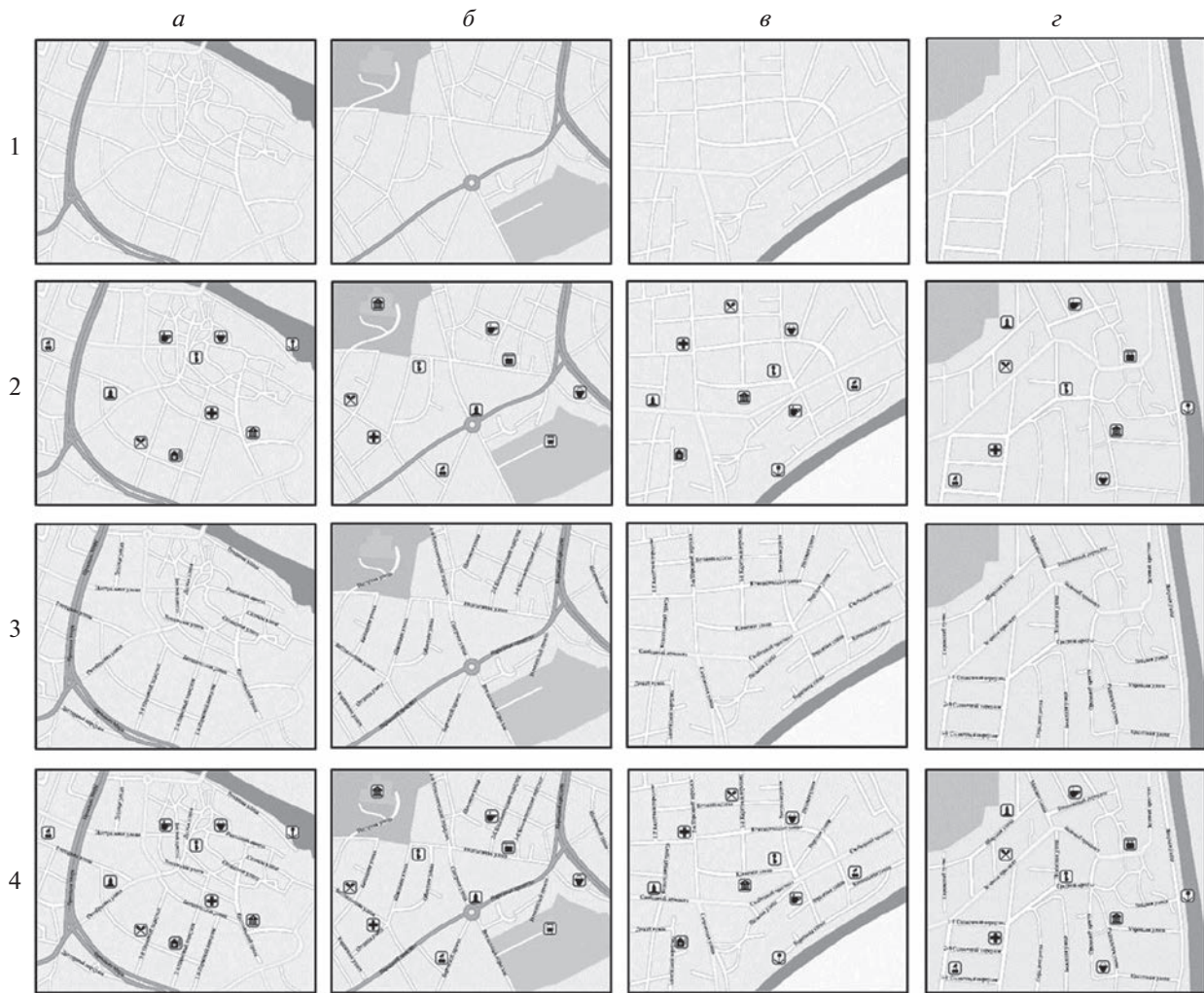


Рис. 1. Стимулы, используемые в эксперименте.

Буквами (*а, б, в, г*) обозначены варианты городской местности. Цифрами обозначен тип карт по характеру меток: 1 — без меток; 2 — с объектными метками; 3 — с вербальными метками; 4 — с двумя типами меток.

(пять мужчин, пять женщин). Ниже приведены варианты схем предъявления блоков (в круглых скобках использованы обозначения из рис. 1).

Первый вариант схемы предъявления: *первая карта* предъявляется без меток (1*а*), *вторая* — только с объектными метками (2*б*), *третья* — только с вербальными метками (3*в*), *четвертая* — с двумя типами меток (4*г*).

Второй вариант схемы: *первая карта* предъявляется только с объектными метками (2*а*), *вторая* — только с вербальными метками (3*б*), *третья* — с двумя типами меток (4*в*), *четвертая* — без меток (1*г*).

Третий вариант схемы: *первая карта* предъявляется только с вербальными метками (3*а*), *вторая* — с двумя типами меток (4*б*), *третья* — без меток (1*в*), *четвертая* — только с объектными метками (2*г*).

Четвертый вариант схемы: *первая карта* предъявляется с двумя типами меток (4*а*), *вторая* — без меток (1*б*), *третья* — только с объектными метками (2*в*), *четвертая* — только с вербальными метками (3*г*).

Каждый блок состоял из трех последовательно выполняемых задач: изучение карты городской местности без нанесенного маршрута; запоминание маршрута, нанесенного пунктирной линией контрастного цвета на эту карту; зрительное воспроизведение маршрута на ней же, но уже без нанесенного маршрута. При этом испытуемый должен был проследить на карте запоминаемый маршрут взглядом от начальной до конечной точки. На выполнение задачи каждого типа отводилось 30 с. Перед каждым предъявлением карты в центре экрана на 3 с предъявлялась фиксационная точка, на которой испытуемый фиксировал взгляд. Между блоками на экране появлялось со-

общение с предложением отдохнуть, в процессе чего испытуемые могли снять голову с подбородочной опоры, размять шейный и плечевой отделы, а также глазодвигательные мышцы. Эксперимент продолжался по возвращении головы на подбородочную опору и нажатии испытуемым кнопки на клавиатуре, которая располагалась перед испытуемым.

Испытуемые были заранее проинструктированы о ходе эксперимента, также в процессе эксперимента непосредственно перед выполнением задачи ознакомления с картой на экране предъявляли инструкции с предложением изучить условные обозначения (на картах 2 и 4), а затем — изучить карту городской местности; а перед выполнением задач запоминания и воспроизведения маршрута — запомнить и затем максимально точно взглядом воспроизвести изученный маршрут на карте. Общее время эксперимента составляло около 10 мин.

Обработка показателей движений глаз

При помощи программного обеспечения OGAMA (open source software, <http://www.ogama.net>) измеряли параметры движений глаз для каждой карты без учета зон интереса и внутри зон интереса, выделенных в зависимости от степени удаленности от маршрута: “ближняя зона” включала сам маршрут и зону вокруг него, ширина которой составляла 2 угл. град.; “дальняя зона” включала интервал, который начинался от внешней границы “ближней зоны”, и завершался на расстоянии 1 угл. град. от ее края; “зона вне маршрута” — интервал от границы “дальней зоны” до края карты (рис. 2).

Выделение зон интереса выполняли в программе “Photoshop 6.0”, опции “выделение” и “уточнение края”. Данный метод выделения зон интереса относительно маршрута был использован в нашей предыдущей работе (Кушнir и др., 2019) и показал свою эффективность для анализа различий между мужчинами и женщинами. Для проведения статистического анализа были отобраны следующие характеристики движений глаз: количество фиксаций (n , fixation count/number of fixations), длительность фиксаций (мс, fixation duration mean) для каждой карты без учета зон интереса и внутри описанных выше зон интереса. Для зон интереса измеряли общее время фиксации в зоне (мс, complete fixation time) и количество переходов из одной зоны интереса в другую (n , transition count between AOI).

Статистический анализ

При использовании программного обеспечения STATISTICA 12 был проведен дисперсионный анализ с повторными измерениями, с факто-

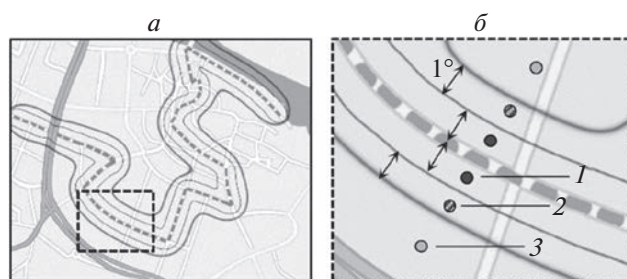


Рис. 2. Зоны, в которых проводили анализ движений глаз.

a — представлены зоны на всей карте; *б* — увеличенный фрагмент карты. Пунктирной линией отмечен маршрут. Цифрами обозначены зоны: 1 — ближняя зона; 2 — дальняя зона; 3 — зона вне маршрута.

рами внутригрупповой вариабельности — Карта (четыре уровня: карта без меток; с объектными метками; с вербальными метками; с двумя типами меток), Задача — (три уровня: ознакомление с картой; запоминание маршрута; воспроизведение маршрута) и фактором межгрупповой вариабельности — Пол. Для анализа post-hoc сопоставлений использовали Тьюки-тест.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Анализ характеристик движений глаз по всей карте

Количество фиксаций (КФ). Дисперсионный анализ КФ выявил значимые эффекты факторов Карта, Задача и их взаимодействие. Результаты ANOVA RM приведены в табл. 1, диаграммы средних значений КФ — на рис. 3, *a*.

Влияние фактора Карта ($p < 0.0001$) проявлялось в меньшем КФ для карт без меток и карт с объектными метками по сравнению с картами с вербальными метками ($p = 0.008$ — карты 1 и 3, $p = 0.0001$ — карты 2 и 3) и с двумя типами меток ($p = 0.02$ — карты 1 и 3, $p = 0.0001$ — карты 2 и 3). Эффект Задачи ($p < 0.0001$) проявился как уменьшение КФ при воспроизведении маршрута по сравнению с ознакомлением ($p = 0.003$) и запоминанием ($p = 0.0001$), что характерно для всех типов карт (рис. 3, *a*). Эффект Задачи зависел от типа Карты: Карта $\times$ Задача ($p = 0.05$). Это проявлялось как увеличение КФ при запоминании по сравнению с ознакомлением ($p = 0.0009$) только для карты с объектными метками (рис. 3, *б*). В свою очередь различия между типами карт были неодинаковыми в разных задачах. При ознакомлении и при воспроизведении КФ меньше для карт с объектными метками по сравнению с картами с вербальными метками ($p = 0.008$ — при ознакомлении, $p = 0.03$ — при воспроизведении) и с двумя типами меток ($p = 0.007$ — при ознакомлении, $p = 0.004$ — при воспроизведении); при запо-

Таблица 1. Результаты ANOVA RM характеристик движений глаз (количество, длительность и общее время фиксации)

Параметр	Зона интереса	Фактор	df	F	<i>p</i>	η_p^2
Количество фиксаций	Вся карта	Карта	3.108	11.97	<0.0001	0.25
		Задача	2.72	16.65	<0.0001	0.32
		Задача × Пол	2.72	3.79	0.03	0.09
		Карта × Задача	6.216	2.12	0.05	0.05
	Ближняя зона	Карта	3.105	9.29	<0.0001	0.21
		Задача	1.35	46.5	<0.0001	0.57
		Задача × Пол	1.35	4.5	0.04	0.11
Длительность фиксаций	Дальняя зона	Задача	1.37	12.37	0.001	0.25
		Задача	1.37	11.84	0.001	0.24
	Зона вне маршрута	Задача	1.37	11.84	0.001	0.24
		Задача	1.37	11.84	0.001	0.24
	Вся карта	Карта	3.108	4.67	0.004	0.11
		Задача	2.72	12.28	<0.0001	0.25
	Ближняя зона	Карта	3.105	4.68	0.004	0.12
		Задача	1.35	18.16	0.0001	0.34
		Задача × Пол	1.35	3.86	0.057	0.1
	Дальняя зона	Карта	3.111	5.23	0.002	0.12
		Задача	1.37	28.19	<0.0001	0.43
		Карта × Задача	3.111	5.97	0.0008	0.13
	Зона вне маршрута	Пол	1.37	3.78	0.059	0.09
		Задача	1.37	9.43	0.004	0.2
Общее время фиксаций	Ближняя зона	Задача	1.37	15.32	0.0004	0.29
		Карта	3.111	3.13	0.03	0.08
	Дальняя зона	Карта	3.111	3.13	0.03	0.08
		Задача	1.37	24.98	<0.0001	0.4
		Карта × Задача × Пол	3.111	2.86	0.04	0.07

минания различия не обнаружены (рис. 3, в). Влияние Пола проявлялось в виде взаимодействия Задача × Пол ($p = 0.03$). Только в группе мужчин отмечено значимое уменьшение КФ при воспроизведении по сравнению с ознакомлением ($p = 0.004$) и запоминанием маршрута ($p = 0.0001$) (рис. 3, г).

Длительность фиксаций (ДФ). Для ДФ выявлено значимое влияние Карты ($p = 0.004$): большая ДФ характерна для карт с объектными метками по сравнению с картами с вербальными метками ($p = 0.01$) и двумя типами меток ($p = 0.007$). Эффект Задачи ($p < 0.0001$) проявлялся в виде увеличения ДФ при воспроизведении по сравнению с ознакомлением ($p = 0.002$) и запоминанием ($p = 0.0001$) (рис. 3, б).

Анализ характеристик движений глаз в зонах интереса

Нами был проведен дисперсионный анализ (ANOVA RM) с факторами Карта (без меток; с объектными метками; с вербальными метками; с двумя типами меток), Задача (запоминание

маршрута; воспроизведение маршрута), Зона (ближняя зона; дальняя зона; зона вне маршрута) и Пол для параметров движений глаз. Был выявлен высокосignificant эффект Зоны для КФ – $F(2.70) = 523.95$, $p < 0.0001$, $\eta_p^2 = 0.93$, и общего времени фиксации (ОВФ) – $F(2.74) = 415.34$, $p < 0.0001$, $\eta_p^2 = 0.92$, ввиду чего дальнейший анализ всех параметров проводили отдельно для каждой зоны.

Количество фиксаций. Дисперсионный анализ КФ в ближней зоне выявил влияние фактора Карта ($p < 0.0001$): КФ для карт с объектными метками меньше по сравнению с картами с вербальными метками ($p = 0.0001$) и с двумя типами меток ($p = 0.002$). Сходно, уменьшение КФ показано для карт без меток по сравнению с картами с вербальными метками ($p = 0.004$), рис. 4, а.

Эффект Задачи ($p < 0.0001$) проявлялся как большее КФ при запоминании по сравнению с воспроизведением, что отчетливо видно на рис. 4, а для всех типов карт. Отмечено взаимодействие Задача × Пол ($p = 0.04$). Так, наблюдаемые различия между задачами более отчетливы у мужчин

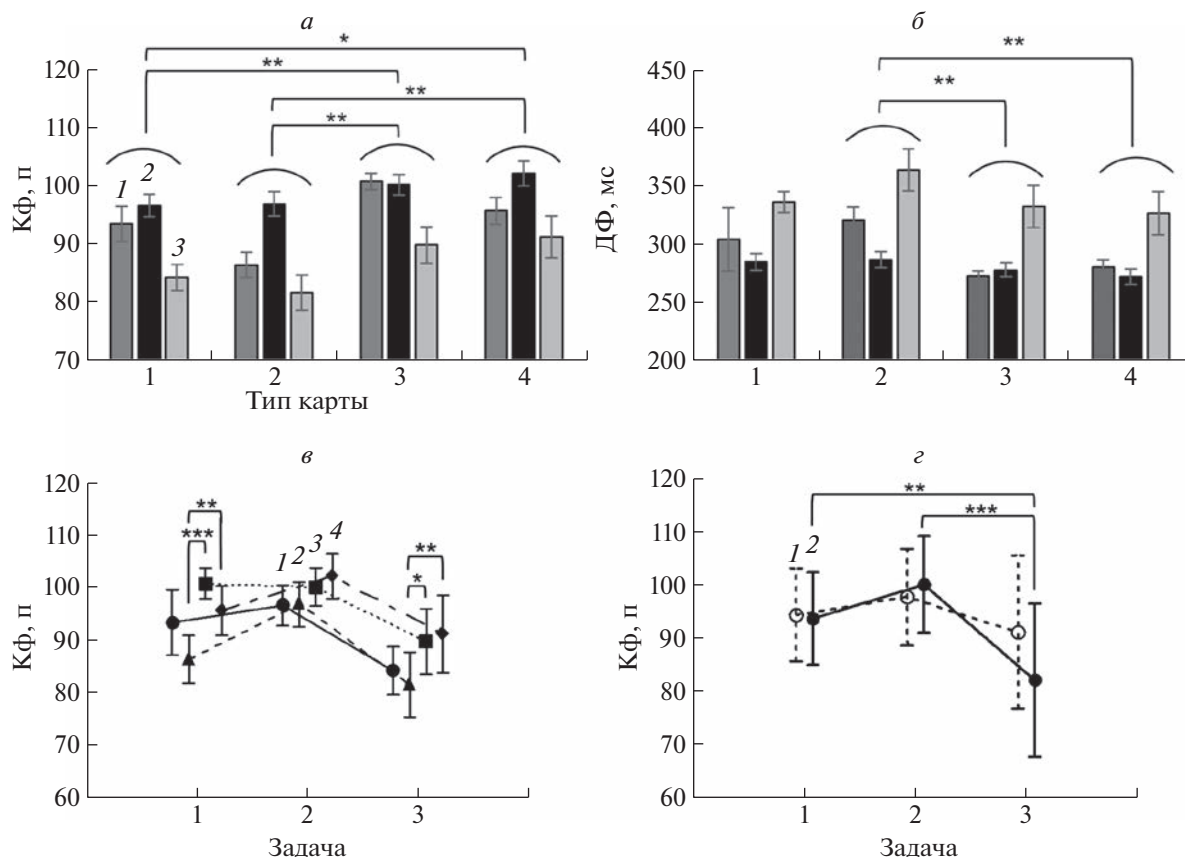


Рис. 3. Характеристики движений глаз при выполнении задач ознакомления, запоминания и воспроизведения маршрута на карте городской местности.

а – количество фиксаций; *б* – длительность фиксаций. По горизонтали – тип карт (1 – без меток; 2 – с объектными метками; 3 – с вербальными метками; 4 – с двумя типами меток). На *а* – цифрами над столбиками обозначены задачи: 1 – ознакомление с картой; 2 – запоминание маршрута; 3 – воспроизведение маршрута. *в* – взаимодействие факторов Карта $\times$ Задача. По горизонтали – задачи (1 – ознакомление с картой; 2 – запоминание маршрута; 3 – воспроизведение маршрута). Разные варианты штриховки соответствуют разным типам карт: 1 (сплошная) – без меток; 2 (пунктир) – с объектными метками; 3 (точечная) – с вербальными метками; 4 (штрихпунктир) – с двумя типами меток. *г* – взаимодействие факторов Задача $\times$ Пол. По горизонтали – задачи (1 – ознакомление с картой; 2 – запоминание маршрута; 3 – воспроизведение маршрута). Разные варианты штриховки соответствуют полу: 1 (сплошная линия) – мужчины; 2 (пунктир) – женщины. На *а* и *б* приведены средние значения характеристик и ошибки среднего. На *в* и *г* приведены средние значения характеристик и 95% доверительный интервал. Достоверность различий: * – $p < 0.05$, ** – $p < 0.01$, *** – $p < 0.001$.

($p = 0.0002$), чем у женщин ($p = 0.01$). Сходный эффект в группе мужчин ранее описан при анализе *всей карты*.

В ходе анализа *дальней зоны*, также, как и в *ближней зоне*, обнаружен эффект Задачи ($p = 0.001$): КФ больше при запоминании по сравнению с воспроизведением (рис. 4, *а*).

При анализе *зоны вне маршрута* выявлено влияние фактора Задача ($p = 0.001$). В отличие от зон, расположенных ближе к маршруту, т.е. *ближней* и *дальней зон*, КФ больше при воспроизведении по сравнению с запоминанием (рис. 4, *а*).

Длительность фиксаций. При проведении дисперсионного анализа в *ближней зоне* выявлен эффект Карты ($p = 0.004$), что проявлялось как большая ДФ для карт с объектными метками по срав-

нению с картами с двумя типами меток ($p = 0.002$). Влияние Задачи ($p = 0.0001$) проявлялось в виде увеличения ДФ при воспроизведении по сравнению с запоминанием, что видно на рис. 4, *б* для всех типов карт. Отмечено взаимодействие Задача $\times$ Пол ($p = 0.057$) в виде увеличения ДФ при воспроизведении по сравнению с запоминанием в группе мужчин ($p = 0.0007$).

При анализе *дальней зоны* выявлены эффекты Карты ($p = 0.002$), Задачи ($p < 0.0001$) и взаимодействие Карта $\times$ Задача ($p = 0.0008$). Влияние Карты проявлялось в большей ДФ для карт с объектными метками по сравнению с другими типами карт ($p = 0.03$ – для карт без меток; $p = 0.004$ – для карт с вербальными метками; $p = 0.007$ – для карт с двумя типами меток), и эта зависимость

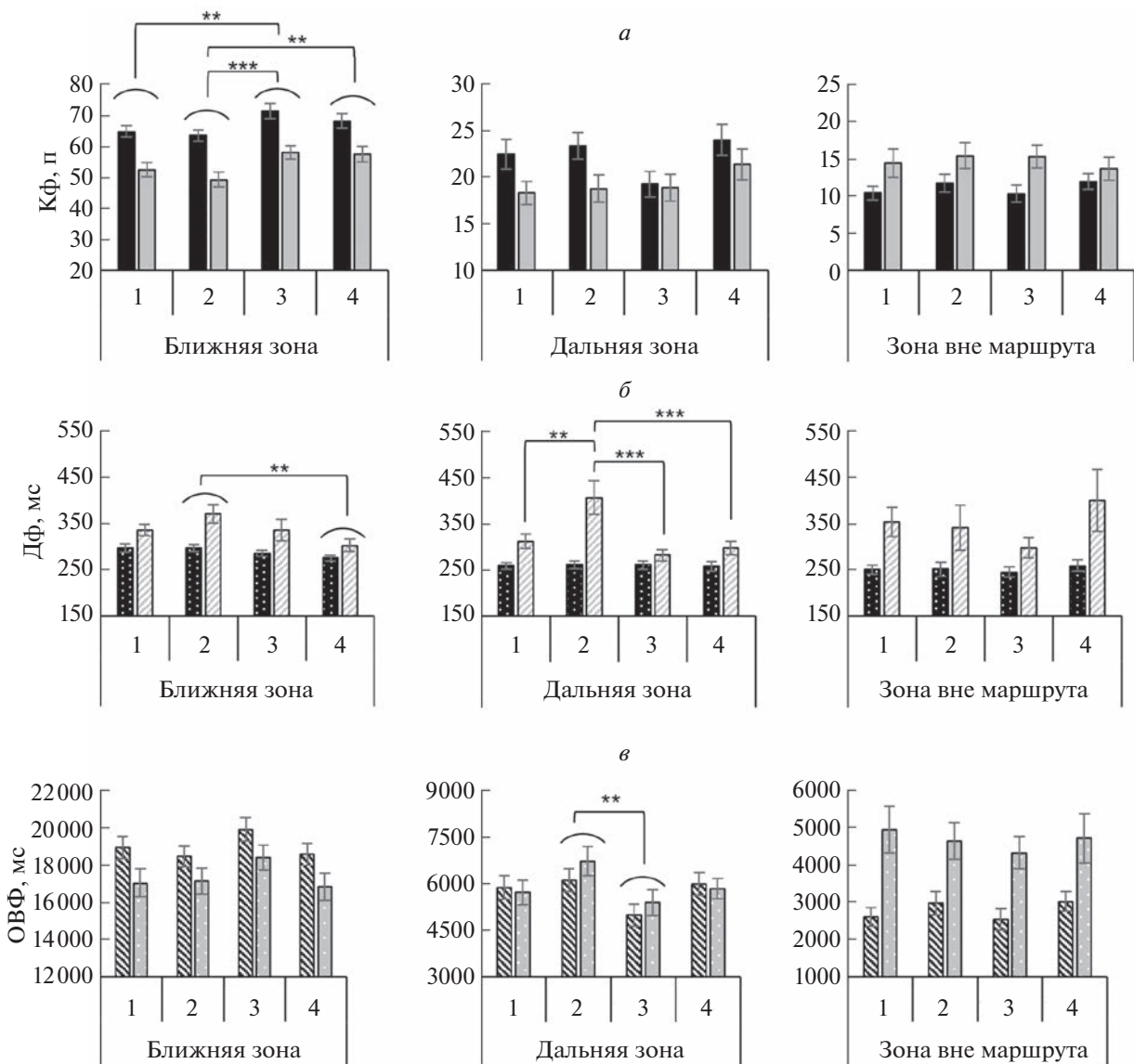


Рис. 4. Характеристики движений глаз при выполнении задач запоминания и воспроизведения маршрута на карте городской местности в разных зонах интереса.

а – количество фиксаций; *б* – длительность фиксаций; *в* – общее время фиксаций. По горизонтали – тип карт (1 – без меток; 2 – с объектными метками; 3 – с вербальными метками; 4 – с двумя типами меток). На *а* цифрами над столбиками обозначены задачи: 1 – запоминание маршрута, 2 – воспроизведение маршрута. Приведены средние значения характеристик и ошибки среднего. Достоверность различий: ** – $p < 0.01$, *** – $p < 0.001$.

представлена на значимом уровне только при воспроизведении ($p = 0.002$ – для карт без меток; $p = 0.0001$ – для карт с вербальными метками; $p = 0.0002$ – для карт с двумя типами меток). Эффект Задачи проявлялся как меньшая ДФ при запоминании по сравнению с воспроизведением (рис. 4, б).

Также, как и в зонах, близких к маршруту, в *зоне вне маршрута* выявлен эффект Задачи ($p = 0.004$) в виде меньшей ДФ при запоминании по сравнению с воспроизведением (рис. 4, б). Наблюдается

тенденция к меньшей длительности фиксаций у женщин по сравнению с мужчинами ($p = 0.059$).

Общее время фиксаций. Анализ влияния типа Карты в разных зонах показал значимый эффект только в *дальней зоне* ($p = 0.03$), где отмечено большее ОВФ для карт с объектными метками по сравнению с картами с вербальными метками ($p = 0.01$). Эффект Задачи значим в *ближней зоне* ($p = 0.0004$) и в *зоне вне маршрута* ($p < 0.0001$), но имел разную направленность: в ближней зоне ОВФ больше при запоминании по сравнению с воспроизведением, а в зоне вне маршрута – при

воспроизведении по сравнению с запоминанием (рис. 4, в). Для *зоны вне маршрута* отмечено взаимодействие Карта $\times$ Задача $\times$ Пол в виде большего ОВФ при воспроизведении по сравнению с запоминанием в группе женщин для карт с объективными метками ($p = 0.02$), а в группе мужчин для карт без меток ($p = 0.0006$) и карт с двумя типами меток ($p = 0.03$).

Количество переходов между зонами. При дисперсионном анализе переходов из ближней зоны в дальнюю показаны эффекты Карты – $F(1.37) = 3.58, p = 0.02, \eta_p^2 = 0.09$, и Задачи – $F(1.37) = 26.83, p < 0.0001, \eta_p^2 = 0.42$. Эффект Карты проявлялся в меньшем количестве переходов для карт с вербальными метками по сравнению с картами с двумя типами меток ($p = 0.009$). Эффект Задачи проявлялся в большем количестве переходов при запоминании по сравнению с воспроизведением. Для переходов из ближней зоны в зону вне маршрута обнаружено взаимодействие Задача $\times$ Пол ($F(1.37) = 6.07, p = 0.02, \eta_p^2 = 0.14$). У женщин больше переходов из зоны в зону при воспроизведении, а у мужчин при запоминании.

ОБСУЖДЕНИЕ

В настоящем исследовании по показателям глазодвигательной активности была проведена оценка особенностей выполнения навигационной задачи воспроизведения маршрута на карте городской местности в зависимости от типа карт (с различными типами меток и без меток) и пола испытуемых. Статистически оценивали влияние типа карты (карта с объективными метками; карта с вербальными метками; карта с двумя типами меток и карта без меток), выполняемой задачи (ознакомление, запоминание маршрута и его воспроизведение) и пола на такие характеристики, как количество фиксаций, их длительность, а также общее время фиксации. Анализ проводили по всей карте, а также в зонах интереса, находящихся в разной степени близости к нанесенному на карту маршруту, что позволило оценить топографию изменений глазодвигательной активности в зависимости от типа карты, выполняемой конкретной задачи, а также пола испытуемых.

Глазодвигательные характеристики зависели от выполняемой задачи. Показано снижение количества фиксаций и нарастание их длительности при воспроизведении маршрута по сравнению с запоминанием и ознакомлением, что согласуется с данными, полученными в работе (Piccardi et al., 2016). Согласно литературным сведениям, длительность фиксации, как показатель глазодвигательной активности, может быть интерпретирована как характеристика степени вовлеченности когнитивного звена. Так, например, при выпол-

нении задачи навигации в реальном времени при прохождении маршрута испытуемые совершали более длинные фиксации на ранних и поздних участках маршрута (Brügger et al., 2019). Полученные нами различия глазодвигательных реакций между задачами могут быть связаны с вовлеченностью разных структур в их реализацию. Так, по данным литературы, при решении задачи запоминания отмечается нарастание уровня метаболического сигнала в области гиппокампа и в медиальной височной доле (Meister, Buffalo, 2016; Piccardi et al., 2016). В то время как при первичном получении визуальной информации о пространстве, т.е. при наблюдении или сканировании, и при распознавании ранее запомненного ориентира (в нашем исследовании это можно сравнить с ознакомлением с картой и с воспроизведением маршрута) отмечается увеличение уровня метаболического сигнала в ретроспленальной коре и парагиппокампальной извилине (Vossia et al., 2017; Nori et al., 2018).

Динамика показателей глазных движений была неодинакова в зонах, находящихся на разном расстоянии от маршрута. Так, в отдаленной от маршрута “зоне вне маршрута” наблюдали увеличение общего времени и количества фиксаций при воспроизведении по сравнению с запоминанием, тогда как в более близких зонах более высокие показатели общего времени фиксаций и их количества отмечены при запоминании по сравнению с воспроизведением. Длительность фиксаций нарастала при воспроизведении по сравнению с запоминанием вне зависимости от степени близости к маршруту. Нами было отмечено общее снижение количества фиксаций и общего времени фиксаций от “ближней зоны” к “зоне вне маршрута”. Наши результаты сопоставимы с данными исследований движений глаз в задаче визуального поиска, в которой испытуемым необходимо следить за рядом целевых и нецелевых стимулов, предъявляемых в случайном порядке в одной из 15 ячеек на экране, и по завершении демонстрации отметить местоположение целевых стимулов (Brouwer et al., 2017). В упомянутой работе длительность фиксации на целевых стимулах была значительно выше, чем на нецелевых. Авторы полагают, что длительность фиксаций и размер зрачка отражают время, необходимое для сохранения и переработки информации в рабочей памяти (Brouwer et al., 2017).

Характеристики глазодвигательных реакций зависели от типа карт. Обобщенный анализ (без учета выполняемой задачи) показал, что тип карты с объективными метками (ориентирами) демонстрирует наименьшее количество фиксаций, но при этом самую большую длительность по сравнению с другими типами карт. При выделении зон интереса эта тенденция сохраняется для ближней зоны. Для дальней зоны показано уве-

личение длительности фиксаций, сопровождающееся увеличением общего времени фиксаций. По литературным данным увеличение длительности фиксации взгляда связано с большим уровнем внимания и более глубокой проработкой объекта, на котором зафиксирован взгляд, и является показателем нахождения целевого стимула (Brouwer et al., 2017). Известно, что использование вербальной или визуальной информации во многом определяет способ кодирования сведений об ориентирах в крупномасштабной среде (Kraemer et al., 2017). В свою очередь кодирование информации во многом зависит от используемого когнитивного стиля. Согласно работам (Blajenkova et al., 2006; Blazhenkova, Kozhevnikov, 2009; Kozhevnikov, 2007) выделяют вербальный, объектный визуальный и пространственный визуальный когнитивные стили. При этом, если поступающая информация об ориентире представлена в форме, не соответствующей предпочитаемому когнитивному стилю, испытуемые фактически повторно обрабатывают информацию, используя привычный способ переработки информации (Vocchi et al., 2018). Отмечено, что люди, использующие пространственный визуальный стиль, в меньшей степени фокусируются на изображениях по сравнению с использующими объектный визуальный стиль (Vocchi et al., 2018). С учетом этих литературных сведений, мы можем предположить, что в нашей группе преобладали люди с объектным визуальным когнитивным стилем.

Результаты, полученные на всей группе, при ее разделении по половому признаку достигают значимого уровня только в группе мужчин, что говорит о половых различиях в выполнении предложенной в нашем эксперименте навигационной задачи. В литературе большое внимание уделяется вопросу использования мужчинами и женщинами различных стратегий зрительно-пространственной деятельности, в том числе навигационного поведения. Согласно литературным данным, при навигации мужчины преимущественно используют аллоцентрическую стратегию, основанную на сканировании пространства и последующим построением ментальной карты местности, в которой учитываются пространственная геометрия и метрические характеристики, в том числе евклидовы координаты. Женщины чаще используют топологическую информацию и эгоцентрическую стратегию, основанную на запоминании ориентиров и определенного маршрута (Harris et al., 2019). Важно, что в основе этих различий могут лежать различия нейростратегий переработки пространственной информации. Так, во время виртуальной пространственной навигации и при пассивном наблюдении за пространственной навигацией у мужчин, по сравнению с женщинами наблюдали более высо-

кий уровень активации в медиальных височных областях и парагиппокампальной области; в то время как активация в префронтальной и теменной областях выше у женщин (Gröen et al., 2000; Kong et al., 2017).

Для понимания половых различий навигационного поведения интересными представляются полученные нами результаты анализа переходов из ближней зоны в зону вне маршрута при запоминании и воспроизведении маршрута. Оказалось, что мужчины делают больше переходов из зоны в зону при запоминании маршрута, тогда как женщины — при его воспроизведении. Можно предположить, что мужчины при запоминании строят пространственную карту с учетом как ближних, так и дальних ориентиров и при воспроизведении уже не используют информацию из зоны “вне маршрута”. В то же время женщины используют информацию из зоны “вне маршрута” по большей части только при воспроизведении маршрута. Данный результат у женщин можно трактовать как потерю маршрута, что согласуется с литературными данными о меньшей успешности женщин в задачах поиска пути (Kong et al., 2017), и необходимость динамического обновления пространственной информации относительно окружающей среды, примером чего в задаче виртуальной навигации являются возвраты на пройденные места, т.е. своеобразная проверка местности. Такое поведение некоторые авторы связывают с более высокой пространственной тревогой (Gagnon et al., 2018).

В своих работах (Klippel et al., 2005; 2010) авторы, обсуждая вопрос о значимости информации, предоставляемой картами, отмечают, что даже очень простая карта может предоставить слишком большой объем контекстной информации, значительно снижающей скорость кодирования пространства и затрудняющей установление связи между окружающим пространством и маршрутом. Они предлагали сфокусировать внимание пользователя собственно на области маршрута, снизив детализацию и контрастность внешнего окружающего пространства, не имеющего прямого отношения к маршруту. В итоге полученная в ходе обработки карта должна позволить пользователю сконцентрироваться на нужной информации в соответствующей части карты; таким образом, когнитивные усилия по обработке информации значительно снижаются, и чтение карты должно стать более легким (Klippel et al., 2005; 2010). Тем не менее, исходя из полученных нами данных, информация из окружающего пространства, не связанная непосредственно с маршрутом, необходима как мужчинам, так и женщинам, в разные моменты времени для лучшей ориентации на местности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При анализе движений глаз выявлены различия между последовательными этапами навигации по карте городской местности. Запоминание маршрута характеризуется большим количеством фиксаций и увеличением их длительности по сравнению с ознакомлением с картой и воспроизведением маршрута. Зависимость глазодвигательных реакций от выполняемой задачи неодинакова в отдельных зонах карты, отличающихся степенью близости к маршруту. В более близких к маршруту зонах количество фиксаций при воспроизведении меньше, чем при запоминании. Напротив, в отдаленной от маршрута “зоне вне маршрута” количество и общее время фиксаций при воспроизведении увеличиваются. Эти изменения отчетливы у мужчин и не достигают уровня значимости у женщин. Показано, что при запоминании мужчины совершают больше переходов из ближней зоны в отдаленную “зону вне маршрута”, формируя связь маршрута с окружающим пространством, и в дальнейшем не используют отдельные элементы пространства для ориентации; напротив, женщины используют отдаленные от маршрута детали пространства только на заключительном этапе — при воспроизведении. Отмечено, что при наличии на карте объектных меток, или “ориентиров”, при воспроизведении значительно снижается количество фиксаций и увеличивается их длительность по сравнению с другими типами карт, что предположительно связано с преимущественным использованием нашими испытуемыми объектного визуального когнитивного стиля.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследование выполнено при финансовом обеспечении государственного бюджета по государственному заданию Министерства образования и науки Российской Федерации на 2021–2023 гг.

УЧАСТИЕ АВТОРОВ

А.Б. Кушнир, Н.Ю. Герасименко и Е.С. Михайлова планировали исследование. А.Б. Кушнир создала библиотеку изображений и запрограммировала экспериментальные серии в программе GazeTracker. А.Б. Кушнир, Н.Ю. Герасименко и И.А. Казарезова провели эксперименты. А.Б. Кушнир и И.А. Казарезова обработали полученные данные. А.Б. Кушнир и Е.С. Михайлова проанализировали полученные данные и написали статью. Н.Ю. Герасименко и И.А. Казарезова отредактировали рукопись. Все авторы внесли свой вклад и одобрили окончательный вариант рукописи.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы данной статьи подтвердили отсутствие конфликта интересов, о котором необходимо сообщить.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Кушнир А.Б., Герасименко Н.Ю., Михайлова Е.С. Половые различия выполнения задачи мысленного воспроизведения маршрута на карте городской местности. Анализ движений глаз. *Сенсорные системы*. 2019. Т. 33. № 4. С. 333–344. <https://doi.org/10.1134/S0235009219040048>
- Blajenkova O., Kozhevnikov M., Motes M.A. Object—spatial imagery: A new self—report imagery questionnaire. *Appl. Cogn. Psychol.* 2006. V. 20. P. 239–263. <https://doi.org/10.1002/acp.1182>
- Blazhenkova O., Kozhevnikov M. The new object—spatial—verbal cognitive style model: Theory and measurement. *Appl. Cogn. Psychol.* 2009. V. 23. № 5. P. 638–663. <https://doi.org/10.1002/acp.1473>
- Bocchi A., Palermo L., Boccia M., Palmiero M., D’Amico S., Piccardi L. Object recognition and location: Which component of object location memory for landmarks is affected by gender? Evidence from four to ten year—old children. *Appl. Neuropsychol. Child.* 2018. V. 9. <https://doi.org/10.1080/21622965.2018.1504218>
- Boccia M., Vecchione F., Piccardi L., Guariglia C. Effect of cognitive style on learning and retrieval of navigational environments. *Front. Pharmacol.* 2017. V. 8. P. 496. <https://doi.org/10.3389/fphar.2017.00496>
- Brouwer A.M., Hogervorst M.A., Oudejans B., Ries A.J., Touryan J. EEG and eye tracking signatures of target encoding during structured visual search. *Front. Hum. Neurosci.* 2017. V. 11. P. 264. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2017.00264>
- Brügger A., Richter K.F., Fabrikant S.I. How does navigation system behavior influence human behavior? *Cogn. Res. Princ. Implic.* 2019. V. 4. № 1. P. 5. <https://doi.org/10.1186/s41235-019-0156-5>
- Cheng C.Y., Yen M.Y., Lin H.Y., Hsia W.W., Hsu W.M. Association of ocular dominance and anisometropic myopia. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* 2004. V. 45. № 8. P. 2856–2860. <https://doi.org/10.1167/jiovs.03-0878>
- Gagnon K.T., Thomas B.J., Munion A., Creem-Regehr S.H., Cashdan E.A., Stefanucci J.K. Not all those who wander are lost: Spatial exploration patterns and their relationship to gender and spatial memory. *Cognition*. 2018. V. 180. P. 108–117. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2018.06.020>
- Grön G., Wunderlich A.P., Spitzer M., Tomczak R., Riepe M.W. Brain activation during human navigation: gender—different neural networks as substrate of performance. *Nat. Neurosci.* 2000. V. 3. № 4. P. 404–408. <https://doi.org/10.1038/73980>
- Harris T., Scheuringer A., Pletzer B. Perspective and strategy interactively modulate sex differences in a 3D navigation task. *Biol. Sex Differ.* 2019. V. 10. № 1. P. 17. <https://doi.org/10.1186/s13293-019-0232-z>

- Höffler T.N., Koć-Januchta M., Leutner D. More evidence for three types of cognitive style: Validating the Object–Spatial Imagery and Verbal Questionnaire using eye tracking when learning with texts and pictures. *Appl. Cogn. Psychol.* 2017. V. 31. P. 109–115. <https://doi.org/10.1002/acp.3300>
- Irving S., Schöberl F., Pradhan C., Brendel M., Bartenstein P., Dieterich M., Brandt T., Zwergal A. A novel real–space navigation paradigm reveals age– and gender–dependent changes of navigational strategies and hippocampal activation. *J. Neurol.* 2018. V. 265. № 1. P. 113–126. <https://doi.org/10.1007/s00415–018–8987–4>
- Klippel A., Hirtle S., Davies C. You–Are–Here Maps: Creating spatial awareness through maplike representations. *Spat. Cogn. Comput.* 2010. V. 10. P. 83–93. <https://doi.org/10.1080/13875861003770625>
- Klippel A., Richter K.F., Barkowsky T., Freksa C. The cognitive reality of schematic maps. *Map–based mobile services*. Eds. Meng L., Reichenbacher T., Zipf A. Berlin, Heidelberg. Springer, 2005. P. 55–71. https://doi.org/10.1007/3–540–26982–7_5
- Kong X.Z., Huang Y., Hao X., Hu S., Liu J. Sex–linked association between cortical scene selectivity and navigational ability. *Neuroimage*. 2017. V. 158. P. 397–405. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2017.07.031>
- Kozhevnikov M. Cognitive styles in the context of modern psychology: toward an integrated framework of cognitive style. *Psychol. Bull.* 2007. V. 133. № 3. P. 464–481. <https://doi.org/10.1037/0033–2909.133.3.464>
- Kraemer D.J.M., Schinazi V.R., Cawkwell P.B., Tekriwal A., Epstein R.A., Thompson–Schill S.L. Verbalizing, visualizing, and navigating: The effect of strategies on encoding a large–scale virtual environment. *J. Exp. Psychol. Learn. Mem. Cogn.* 2017. V. 43. № 4. P. 611–621. <https://doi.org/10.1037/xlm0000314>
- Meister M.L.R., Buffalo E.A. Getting directions from the hippocampus: The neural connection between looking and memory. *Neurobiol. Learn. Mem.* 2016. V. 134. P. 135–144. <https://doi.org/10.1016/j.nlm.2015.12.004>
- Merrill E.C., Yang Y., Roskos B., Steele S. Sex differences in using spatial and verbal abilities influence route learning performance in a virtual environment: A comparison of 6– to 12–year old boys and girls. *Front. Psychol.* 2016. V. 7. P. 258. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.00258>
- Mitolo M., Gardini S., Caffarra P., Ronconi L., Venneri A., Pazzaglia F. Relationship between spatial ability, visuospatial working memory and self–assessed spatial orientation ability: a study in older adults. *Cogn. Process.* 2015. V. 16. № 2. P. 165–176. <https://doi.org/10.1007/s10339–015–0647–3>
- Mueller S.C., Jackson C. P.T., Skelton R.W. Sex differences in a virtual water maze: An eye tracking and pupillometry study. *Behav. Brain Res.* 2008. V. 193. № 2. P. 209–215. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2008.05.017>
- Nazareth A., Huang X., Voyer D., Newcombe N. A meta–analysis of sex differences in human navigation skills. *Psychon. Bull. Rev.* 2019. V. 26. № 5. P. 1503–1528. <https://doi.org/10.3758/s13423–019–01633–6>
- Nori R., Giusberti F. Predicting cognitive styles from spatial abilities. *Am. J. Psychol.* 2006. V. 119. P. 67–86. <https://doi.org/10.2307/20445319>
- Nori R., Piccardi L., Maialetti A., Goro M., Rossetti A., Argento O., Guariglia C. No gender differences in egocentric and allocentric environmental transformation after compensating for male advantage by manipulating familiarity. *Front. Neurosci.* 2018. V. 12. P. 204. <https://doi.org/10.3389/fnins.2018.00204>
- Pazzaglia F., De Beni R. Strategies of processing spatial information in survey and landmark–centred individuals. *Eur. J. Cogn. Psychol.* 2001. V. 13. P. 493–508. <https://doi.org/10.1080/09541440042000124>
- Pazzaglia F., Meneghetti C., Ronconi L. Tracing a route and finding a shortcut: The working memory, motivational, and personality factors involved. *Front. Hum. Neurosci.* 2018. V. 12. P. 225. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2018.00225>
- Pazzaglia F., Moè A. Cognitive styles and mental rotation ability in map learning. *Cogn. Process.* 2013. V. 14. № 4. P. 391–399. <https://doi.org/10.1007/s10339–013–0572–2>
- Piccardi L., De Luca M., Nori R., Palermo L., Iachini F., Guariglia C. Navigational style influences eye movement pattern during exploration and learning of an environmental map. *Front. Behav. Neurosci.* 2016. V. 10. P. 140. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2016.00140>
- Piccardi L., Palermo L., Bocchi A., Guariglia C., D’Amico S. Does spatial locative comprehension predict landmark–based navigation? *PLoS One*. 2015. V. 10. № 1. P. e0115432. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0115432>
- Saucier D.M., Green S.M., Leason J., MacFadden A., Bell S., Elias L.J. Are sex differences in navigation caused by sexually dimorphic strategies or by differences in the ability to use the strategies? *Behav. Neurosci.* 2002. V. 116. № 3. P. 403–410. <https://doi.org/10.1037//0735–7044.116.3.403>
- Voyer D., Voyer S.D., Saint–Aubin J. Sex differences in visual–spatial working memory: A meta–analysis. *Psychon. Bull. Rev.* 2017. V. 24. № 2. P. 307–334. <https://doi.org/10.3758/s13423–016–1085–7>
- Wolbers T., Wiener J.M. Challenges for identifying the neural mechanisms that support spatial navigation: the impact of spatial scale. *Front. Hum. Neurosci.* 2014. V. 8. P. 571. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00571>
- Yagi S., Galea L.A.M. Sex differences in hippocampal cognition and neurogenesis. *Neuropsychopharmacology*. 2019. V. 44. № 1. P. 200–213. <https://doi.org/10.1038/s41386–018–0208–4>

Analysis of the gaze fixations in performance of mental recall of the route on a city map. Effects of landmark type and gender

A. B. Kushnir^{a, #}, E. S. Mikhailova^a, N. Yu. Gerasimenko^a, and I. A. Kazarezova^a

^a*Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology of RAS
117485 Moscow, Butlerova str., 5A, Russia*

[#]*E-mail: naya.kushnir@gmail.com*

A psychophysiological eye-tracking experiment was conducted to investigate map navigation (including tasks of familiarization with the map, route memorization and recall of the route) as a function of landmark type (no landmarks, object landmarks, verbal landmarks, both types of landmarks) and gender. It was found that the number of fixations decreased and the fixation duration increased during recall compared to map familiarization and route memorization. The effect of task type on eye movements varied between route proximity areas. In the proximal areas, the number of fixations decreased during recall in comparison to memorization, while in the distal (“off route”) area the effect was opposite. These changes were pronounced in the male participants and did not reach statistical significance in the females. Men switched more frequently from the proximal to the distal area during memorization, thus forming a connection between the route and the remote environment. In contrast, women’s gaze was more often directed to the distal area during route recall. The map with object landmarks differed from the other maps in the lower number and longer fixation duration, indicating the advantage of object landmarks and, possibly, a preference for the object visual cognitive style among our participants.

Keywords: human, gender, vision, spatial navigation, eye movement

REFERENCES

- Kushnir A.B., Gerasimenko N.Yu., Mikhailova E.S. Polovye razlichiya vypolneniya zadachi myslennogo vosproizvedeniya marshruta na karte gorodskoi mestnosti. Analiz dvizhenii glaz [Gender differences in performance of mental recall of the route on a city map. Analysis of the eye movements character]. *Sensornye sistemy* [Sensory systems]. 2019. V. 33 (4). P. 333–344 (in Russian).
<https://doi.org/10.1134/S0235009219040048>
- Blajenkova O., Kozhevnikov M., Motes M.A. Object–spatial imagery: A new self–report imagery questionnaire. *Appl. Cogn. Psychol.* 2006. V. 20. P. 239–263.
<https://doi.org/10.1002/acp.1182>
- Blazhenkova O., Kozhevnikov M. The new object–spatial–verbal cognitive style model: Theory and measurement. *Appl. Cogn. Psychol.* 2009. V. 23 (5). P. 638–663.
<https://doi.org/10.1002/acp.1473>
- Bocchi A., Palermo L., Boccia M., Palmiero M., D’Amico S., Piccardi L. Object recognition and location: Which component of object location memory for landmarks is affected by gender? Evidence from four to ten year–old children. *Appl. Neuropsychol. Child.* 2018. V. 9.
<https://doi.org/10.1080/21622965.2018.1504218>
- Boccia M., Vecchione F., Piccardi L., Guariglia C. Effect of cognitive style on learning and retrieval of navigational environments. *Front. Pharmacol.* 2017. V. 8. P. 496. <https://doi.org/10.3389/fphar.2017.00496>
- Brouwer A.M., Hogervorst M.A., Oudejans B., Ries A.J., Touryan J. EEG and eye tracking signatures of target encoding during structured visual search. *Front. Hum. Neurosci.* 2017. V. 11. P. 264.
<https://doi.org/10.3389/fnhum.2017.00264>
- Brügger A., Richter K.F., Fabrikant S.I. How does navigation system behavior influence human behavior? *Cogn. Res. Princ. Implic.* 2019. V. 4 (1). P. 5.
<https://doi.org/10.1186/s41235-019-0156-5>
- Cheng C.Y., Yen M.Y., Lin H.Y., Hsia W.W., Hsu W.M. Association of ocular dominance and anisometropic myopia. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* 2004. V. 45 (8). P. 2856–2860. <https://doi.org/10.1167/iovs.03-0878>
- Gagnon K.T., Thomas B.J., Munion A., Creem-Regehr S.H., Cashdan E.A., Stefanucci J.K. Not all those who wander are lost: Spatial exploration patterns and their relationship to gender and spatial memory. *Cognition.* 2018. V. 180. P. 108–117.
<https://doi.org/10.1016/j.cognition.2018.06.020>
- Grön G., Wunderlich A.P., Spitzer M., Tomczak R., Riepe M.W. Brain activation during human navigation: gender–different neural networks as substrate of performance. *Nat. Neurosci.* 2000. V. 3 (4). P. 404–408.
<https://doi.org/10.1038/73980>
- Harris T., Scheuringer A., Pletzer B. Perspective and strategy interactively modulate sex differences in a 3D navigation task. *Biol. Sex Differ.* 2019. V. 10 (1). P. 17.
<https://doi.org/10.1186/s13293-019-0232-z>
- Höfler T.N., Koć-Januchta M., Leutner D. More evidence for three types of cognitive style: Validating the Object–Spatial Imagery and Verbal Questionnaire using eye tracking when learning with texts and pictures. *Appl. Cogn. Psychol.* 2017. V. 31. P. 109–115.
<https://doi.org/10.1002/acp.3300>
- Irving S., Schöberl F., Pradhan C., Brendel M., Bartenstein P., Dieterich M., Brandt T., Zwergal A. A novel real–space navigation paradigm reveals age– and gender–dependent changes of navigational strategies and hippocampal activation. *J. Neurol.* 2018. V. 265 (1). P. 113–126.
<https://doi.org/10.1007/s00415-018-8987-4>
- Klippel A., Hirtle S., Davies C. You–Are–Here Maps: Creating spatial awareness through maplike representa-

- tions. *Spat. Cogn. Comput.* 2010. V. 10. P. 83–93. <https://doi.org/10.1080/13875861003770625>
- Klippel A., Richter K.F., Barkowsky T., Freksa C. The cognitive reality of schematic maps. *Map-based mobile services*. Eds. Meng L., Reichenbacher T., Zipf A. Berlin, Heidelberg. Springer, 2005. P. 55–71. https://doi.org/10.1007/3-540-26982-7_5
- Kong X.Z., Huang Y., Hao X., Hu S., Liu J. Sex-linked association between cortical scene selectivity and navigational ability. *Neuroimage*. 2017. V. 158. P. 397–405. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2017.07.031>
- Kozhevnikov M. Cognitive styles in the context of modern psychology: toward an integrated framework of cognitive style. *Psychol. Bull.* 2007. V. 133 (3). P. 464–481. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.133.3.464>
- Kraemer D.J.M., Schinazi V.R., Cawkwell P.B., Tekriwal A., Epstein R.A., Thompson-Schill S.L. Verbalizing, visualizing, and navigating: The effect of strategies on encoding a large-scale virtual environment. *J. Exp. Psychol. Learn. Mem. Cogn.* 2017. V. 43 (4). P. 611–621. <https://doi.org/10.1037/xlm0000314>
- Meister M.L.R., Buffalo E.A. Getting directions from the hippocampus: The neural connection between looking and memory. *Neurobiol. Learn. Mem.* 2016. V. 134. P. 135–144. <https://doi.org/10.1016/j.nlm.2015.12.004>
- Merrill E.C., Yang Y., Roskos B., Steele S. Sex differences in using spatial and verbal abilities influence route learning performance in a virtual environment: A comparison of 6- to 12-year old boys and girls. *Front. Psychol.* 2016. V. 7. P. 258. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.00258>
- Mitolo M., Gardini S., Caffarra P., Ronconi L., Venneri A., Pazzaglia F. Relationship between spatial ability, visuo-spatial working memory and self-assessed spatial orientation ability: a study in older adults. *Cogn. Process.* 2015. V. 16 (2). P. 165–176. <https://doi.org/10.1007/s10339-015-0647-3>
- Mueller S.C., Jackson C.P.T., Skelton R.W. Sex differences in a virtual water maze: An eye tracking and pupillometry study. *Behav. Brain Res.* 2008. V. 193(2). P. 209–215. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2008.05.017>
- Nazareth A., Huang X., Voyer D., Newcombe N. A meta-analysis of sex differences in human navigation skills. *Psychon. Bull. Rev.* 2019. V. 26 (5). P. 1503–1528. <https://doi.org/10.3758/s13423-019-01633-6>
- Nori R., Giusberti F. Predicting cognitive styles from spatial abilities. *Am. J. Psychol.* 2006. V. 119. P. 67–86. <https://doi.org/10.2307/20445319>
- Nori R., Piccardi L., Maialetti A., Goro M., Rossetti A., Argento O., Guariglia C. No gender differences in egocentric and allocentric environmental transformation after compensating for male advantage by manipulating familiarity. *Front. Neurosci.* 2018. V. 12. P. 204. <https://doi.org/10.3389/fnins.2018.00204>
- Pazzaglia F., De Beni R. Strategies of processing spatial information in survey and landmark-centred individuals. *Eur. J. Cogn. Psychol.* 2001. V. 13. P. 493–508. <https://doi.org/10.1080/09541440042000124>
- Pazzaglia F., Meneghetti C., Ronconi L. Tracing a route and finding a shortcut: The working memory, motivational, and personality factors involved. *Front. Hum. Neurosci.* 2018. V. 12. P. 225. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2018.00225>
- Pazzaglia F., Moè A. Cognitive styles and mental rotation ability in map learning. *Cogn. Process.* 2013. V. 14 (4). P. 391–399. <https://doi.org/10.1007/s10339-013-0572-2>
- Piccardi L., De Luca M., Nori R., Palermo L., Iachini F., Guariglia C. Navigational style influences eye movement pattern during exploration and learning of an environmental map. *Front. Behav. Neurosci.* 2016. V. 10. P. 140. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2016.00140>
- Piccardi L., Palermo L., Bocchi A., Guariglia C., D'Amico S. Does spatial locative comprehension predict landmark-based navigation? *PLoS One*. 2015. V. 10(1). P. e0115432. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0115432>
- Saucier D.M., Green S.M., Leason J., MacFadden A., Bell S., Elias L.J. Are sex differences in navigation caused by sexually dimorphic strategies or by differences in the ability to use the strategies? *Behav. Neurosci.* 2002. V. 116 (3). P. 403–410. <https://doi.org/10.1037//0735-7044.116.3.403>
- Voyer D., Voyer S.D., Saint-Aubin J. Sex differences in visual-spatial working memory: A meta-analysis. *Psychon. Bull. Rev.* 2017. V. 24 (2). P. 307–334. <https://doi.org/10.3758/s13423-016-1085-7>
- Wolbers T., Wiener J.M. Challenges for identifying the neural mechanisms that support spatial navigation: the impact of spatial scale. *Front. Hum. Neurosci.* 2014. V. 8. P. 571. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00571>
- Yagi S., Galea L.A.M. Sex differences in hippocampal cognition and neurogenesis. *Neuropsychopharmacology*. 2019. V. 44 (1). P. 200–213. <https://doi.org/10.1038/s41386-018-0208-4>