

ПОЛОВЫЕ РАЗЛИЧИЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАЧИ МЫСЛЕННОГО ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ МАРШРУТА НА КАРТЕ ГОРОДСКОЙ МЕСТНОСТИ. АНАЛИЗ ДВИЖЕНИЙ ГЛАЗ

© 2019 г. А. Б. Кушнир^{1,*}, Н. Ю. Герасименко¹, Е. С. Михайлова¹

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

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

Поступила в редакцию 07.05.2019 г.

После доработки 27.06.2019 г.

Принята к публикации 04.07.2019 г.

В психофизиологическом эксперименте с регистрацией движений глаз исследовали связанные с полом различия мысленного воспроизведения маршрута на карте городской местности. Анализ характеристик движений глаз на близко расположенных к маршруту участках карты показал, что мужчины и женщины значительно различаются как по абсолютным значениям показателей движений глаз при воспроизведении маршрута, так и по характеру различий между запоминанием и воспроизведением. У мужчин выше показатели общего времени фиксации, количества фиксаций и их длительности. При воспроизведении у мужчин уменьшалось количество фиксаций, но за счет увеличения их длительности общее время фиксации не изменялось. У женщин более резкое уменьшение количества фиксаций при незначительном увеличении их длительности приводило к выраженному снижению общего времени фиксации. Динамика длительности фиксаций не показала четкой зависимости от пола. В обеих группах она нарастала при воспроизведении на карте той же ориентации и не менялась при тестовой карте, повернутой на 90°, т.е. мужчины по сравнению с женщинами больше времени уделяют участкам карты, связанным с маршрутом, что можно рассматривать как показатель более точного мысленного воспроизведения пути. Такое опережение мужчин в задаче воспроизведения топографических характеристик местности является одним из важных факторов их более успешного навигационного поведения.

Ключевые слова: пол, навигация, зрительно-пространственное внимание, пространственная память, движения глаз

DOI: 10.1134/S0235009219040048

ВВЕДЕНИЕ

В повседневной жизни мы часто пользуемся различного рода картами, которые необходимы при автомобильной поездке в незнакомую местность, перемещении в новом городе, навигации внутри сложноорганизованного городского района, спортивном ориентировании и во многом другом. Известно, что навигация по карте является зрительно-пространственной задачей, успешность решения которой зависит от ряда факторов, таких как характер самой задачи (Pazzaglia, Moè, 2013; Nori et al., 2015), стратегия ее решения (Pazzaglia, Moè, 2013; Piccardi et al., 2016, Vocchi et al., 2018), сложность пространственной среды (Gärling et al., 1986), пол (MacFadden et al., 2003; Mueller et al., 2008; Boone et al., 2018). Факторы пола и стратегии ориентации в пространстве являются взаимосвязанными, о чем говорят результаты большого количества исследований (Dabbs et al., 1998; Andersen et al., 2012; Levine, et al., 2016;

Piccardi et al., 2016; Boone et al., 2018). Согласно данным этих работ, у мужчин поиск пути осуществляется с учетом пространственной геометрии, метрических характеристик, в том числе евклидовых координат, что традиционно связывают с аллоцентрической стратегией зрительно-пространственной деятельности, тогда как женщины ориентируются, запоминая метки на местности (“landmarks”) и используя относительные оценки направления, что в свою очередь связывают с эгоцентрической стратегией (Dabbs et al., 1998; Mueller et al., 2008; Andersen et al., 2012). Именно поэтому при ограничении числа внешних ориентиров успешность решения навигационных задач у мужчин значительно выше, чем у женщин (Dabbs et al., 1998; Lambrey, Berthoz, 2007). Преимущество в решении навигационных задач у мужчин связывают с их способностью к успешному мысленному вращению фигур (Vocchia et al., 2016), которая убедительно продемонстри-

рована в экспериментах с классическим тестом Шепарда–Метцлера (Voyer et al., 1995; Collins, Kimura, 1997; Gootjes et al., 2008; Yu et al., 2009).

Важным фактором, определяющим навигационные способности, является зрительно-пространственная память (Barkly, Gabriel, 2007; Nori, Piccardi, 2011). Показано, что мужчины совершают меньше ошибок при воспроизведении ранее виденного маршрута, однако женщины запоминают больше меток на маршруте (Galea, Kimura, 1993; Yagi, Galea, 2018). При наличии большого количества меток на местности женщины могут даже опережать мужчин в поиске пути (Saucier et al., 2002). Большой объем пространственной памяти у женщин по сравнению с мужчинами показан в задачах воспроизведения по памяти расположения предметов в двухмерном (Levy et al., 2005; Silverman et al., 2007) и трехмерном пространстве (Postma et al., 2004; Iachini et al., 2005). При выполнении навигационных задач женщинам для запоминания маршрута требуется больше времени по сравнению с мужчинами (Nori, Piccardi, 2011; Nori et al., 2018).

На фоне обширной литературы о половых различиях в навигации объем работ с регистрацией движений глаз сравнительно невелик (Mueller et al., 2008; Cazzato et al., 2010). В нашем исследовании для оценки связанных с полом особенностей выполнения навигационной задачи мысленного воспроизведения маршрута мы использовали метод видеоокулографии. Это позволяет провести непосредственную оценку направления взора, оценить распределение пространственной фиксации, а по критерию числа и длительности фиксации определить наиболее значимые для решения задачи характеристики среды (Барабанщиков, 2015). Важно, что в отличие от животных, глазодвигательный аппарат человека и приматов позволяет инспектировать зрительное пространство без движения головы и тела и получать информацию, достаточную для построения пространственных карт (Schiller et al., 2015). При такой зрительной инспекции пространства решетчатые клетки энторинальной коры мозга активируются так же, как и при локомоции, что и является информативной основой построения пространственных карт местности (Killian et al., 2012). Следовательно, исследование глазодвигательных реакций в лабораторном эксперименте может предоставить достоверную информацию о выполнении навигационных задач в реальной среде.

Цель настоящей работы – провести анализ половых различий движений глаз при выполнении навигационной задачи, включающей запоминание и последующее мысленное воспроизведение маршрута на карте городской местности. Мы предполагали выявить половые различия в рас-

пределении пространственного внимания, на возможность существования которых указывают результаты ранее проведенного исследования движений глаз при выполнении теста “Комплексная фигура Тейлора” (Киселева и др., 2017).

МЕТОДИКА

Испытуемые. В эксперименте с регистрацией движений глаз приняли участие 21 здоровый испытуемый (10 мужчин, 11 женщин) с нормальным или скорректированным до нормы зрением, имеющий высшее образование. Средний возраст испытуемых составил 24.3 ± 4.0 года, у мужчин – 23.0 ± 1.9 года, у женщин – 25.5 ± 4.9 лет (здесь и далее, в качестве показателя разброса значений приведена стандартная ошибка среднего). Согласно информации, полученной от испытуемых, 17 из них были правшами, двое – переученными левшами, один – левшой. От всех испытуемых было получено письменное согласие на проведение исследования, согласно протоколу, утвержденному этической комиссией ИВНД и НФ РАН.

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), на расстоянии 57 см. Голова была зафиксирована на подбородочной опоре. Движения глаз регистрировали при помощи айтрекера SmartEyePro 5.9 (SMART EYE AB, пространственное разрешение 0.5 град, частота 60 Гц) и программного обеспечения GazeTracker 9.0 (Eye-tellect, LLC). Перед началом исследования для каждого испытуемого проводили калибровку оборудования относительно местоположения взора испытуемого при просмотре стимульного изображения на мониторе.

Задача. В эксперименте испытуемый решал задачу воспроизведения по памяти шести разных маршрутов, нанесенных на карту городской местности (рис. 1), которая была построена на основании приложения “Google Maps” из отрезков произвольно выбранных улиц города Москвы (например, улица Сретенка, Сумской проезд, улица 8-го марта и прочее). Размер карты на экране монитора MultiSync EA193mi 24×24 см, что с учетом расстояния 57 см до глаз испытуемого составляло 24×24 угловых град. Перед началом эксперимента испытуемым предлагали внимательно рассмотреть эту карту. Далее в шести последовательных сериях (различающихся нанесенными на карту маршрутами) испытуемых просили запомнить маршрут, выделенный на карте контрастным цветом (рис. 2, а, в), а затем зрительно воспроизвести его на исходной карте без выделенного пути, проследив маршрут взглядом от начальной до конечной точки. В трех сериях воспроизведение

маршрута выполняли на тестовой карте неизменной ориентации (“карта 0°”) (рис. 2, б), в трех – на карте, повернутой на 90° против часовой стрелки (“карта 90°”) (рис. 2, з). На задачу запоминания маршрута испытуемым отводили 30 с, что было определено в предварительных опытах. Время выполнения задачи воспроизведения маршрута не ограничивали, ориентировались на ответ испытуемого “задание выполнено”.

Обработка показателей движений глаз. При помощи программного обеспечения OGAMA (open source software, <http://www.ogama.net>) измеряли следующие характеристики движения глаз: общее время фиксаций, количество фиксаций и среднюю длительность фиксаций. Измерения проводили в двух зонах интереса разной степени удаленности от маршрута. Первая зона – “ближняя зона” – включала сам маршрут (0.5 см) плюс интервал шириной 0.5 см с двух сторон от маршрута. Внешняя граница второй, “дальней зоны”, отстояла от внешней границы “ближней зоны” на 1 см. Выделение зон интереса выполняли в программе “Photoshop 6.0”, опции “выделение” и “уточнение края”. Ширина всего анализируемого интервала на экране монитора перед испытуемым составляла 3.5 см, что составляло 3.5 град. Карту с выделенными зонами использовали при анализе индивидуальных данных в программе OGAMA.

Статистический анализ. Для каждого испытуемого проводили усреднение показателей, измеренных в трех заданиях для серий воспроизведения на “карте 0°” и в трех заданиях воспроизведения на “карте 90°”. При обработке использовали дисперсионный анализ с повторными измерениями (ANOVA RM). В качестве факторов внутрииндивидуальной вариабельности выбраны факторы *Задача* (запоминание и мысленное воспроизведение), *Ориентация карты* (“карта 0°” и “карта 90°”) и *Зона* (ближняя и дальняя), а фактора межиндивидуальной вариабельности – *Пол*. В случае нарушения предположения о сферичности ковариационной матрицы данных (критерий Мочучли) степени свободы и результаты ANOVA RM корректировались поправкой Гринхауса–Гейссера. При парных post–hoc сопоставлениях использовали T–test с поправкой Бенъямини–Хохберга на множественные сравнения (Benjamini, Hochberg, 1995). Анализ проводили в программах IBM SPSS Statistics 23 (IBM) и Statistica 10 (StatSoft).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Время выполнения задания. В серии “карта 0°” время выполнения задания мысленно воспроизвести маршрут составляло для всей группы 25.3 ± 2.2 (SEM) с, для мужчин 31.5 ± 6.1 с, для женщин 20.3 ± 1.7 с. В серии “карта 90°” время выполнения составляло для всей группы 38.2 ± 2.7 с,



Рис. 1. Карта городской местности, построенная на основании приложения “Google Maps” из произвольно выбранных отрезков улиц города Москвы.

для мужчин 42.5 ± 5.9 с, для женщин 34.2 ± 3.4 с. Время воспроизведения в серии “карта 90°” больше, чем в серии “карта 0°”. Различия между двумя сериями значимы в объединенной группе испытуемых ($T = -3.9$, $df = 19$, $p < 0.001$) и в группе женщин ($T = -4.74$, $df = 9$, $p < 0.001$). В группе мужчин различия незначимы. Половые различия времени выполнения задания также статистически незначимы.

Анализ характеристик движений глаз

Анализ общего времени фиксации (ОВФ). На первом этапе проводили дисперсионный анализ с факторами *Задача*, *Ориентация карты*, *Пол*. Был выявлен значимый эффект *Задачи* ($F_{1,16} = 6.64$; $p < 0.05$) в виде уменьшения ОВФ при воспроизведении по сравнению с запоминанием ($T = 2.54$, $df = 17$, $p < 0.05$). Эффект задачи зависел от пола: *Задача* × *Пол* ($F_{1,16} = 5.57$; $p < 0.05$). Значимые различия между мужчинами и женщинами выявлены только при воспроизведении ($T = 2.32$, $df = 17$, $p < 0.05$) в виде больших значений ОВФ в группе мужчин ($T = 2.32$, $df = 17$, $p < 0.05$). Однако различия между задачами запоминания и воспроизведения зависели от пола и были значимыми только в группе женщин ($T = 5.46$, $df = 9$, $p < 0.0005$) в виде его снижения. Для фактора *Ориентация карты* обнаружен тренд в виде больших значений ОВФ для “карты 90°” ($F_{1,16} = 2.91$; $p = 0.10$). Далее анализ проводили отдельно для двух ориентаций карт с факторами *Задача*, *Зона*, *Пол*.

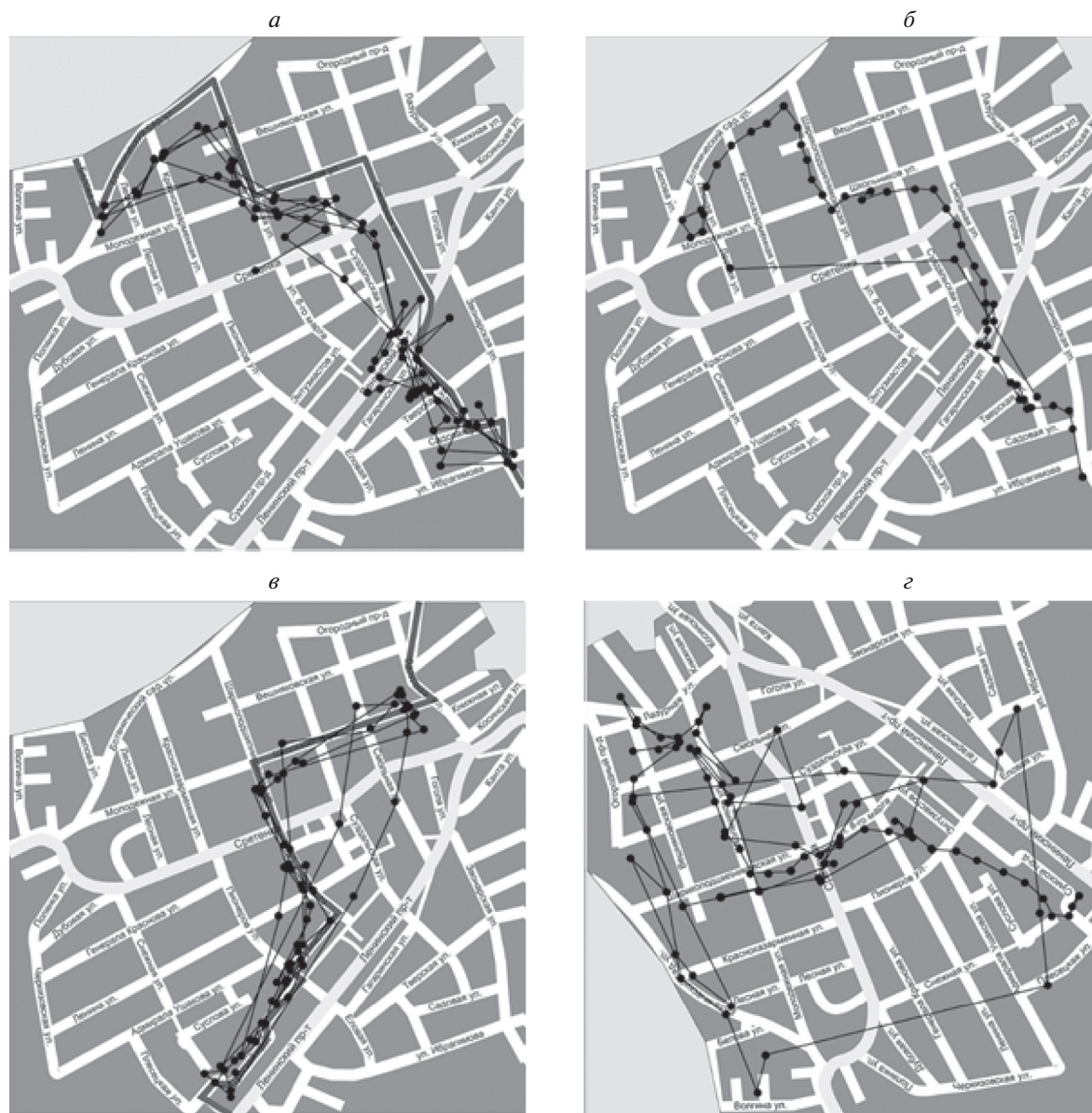


Рис. 2. Примеры стимульных изображений карт местности, используемых для запоминания маршрута (*а* – задача запоминания в серии “карта 0°”, *в* – задача запоминания в серии “карта 90°”) и его воспроизведения на картах, лишенных контрастного маркера маршрута (*б* – задача воспроизведения на “карте 0°”, *г* – задача воспроизведения на “карте 90°”). На карты нанесены индивидуальные траектории движений глаз (исп. Д.И.).

В серии “карта 0°” при анализе ОВФ обнаружены значимый эффект *Задачи* ($F_{1,17} = 15.7; p < 0.001$) и взаимодействие *Задача* × *Пол* ($F_{1,16} = 6.93; p < 0.05$). При воспроизведении ОВФ меньше, чем при запоминании, но значимые различия есть только в группе женщин ($T = 7.1, df = 10, p < 0.0005$). Выявлено влияние *Зоны* ($F_{1,17} = 5.59; p < 0.05$) в виде большей ОВФ в дальнем интервале ($T = -2.4, df = 18, p < 0.05$). Влияние *Пола* на уровне тенденции ($F_{1,17} = 3.66; p = 0.07$), ОВФ незначительно выше в группе мужчин, чем в группе женщин ($F_{1,17} = 1.9; p = 0.07$).

С учетом влияния зоны проведен ANOVA RM в ближней и дальней зонах с факторами *Задача*, *Пол*. В ближней зоне выявлены эффект *Задачи* ($F_{1,18} = 6.56; p < 0.05$) и близкое к значимому взаимодействие *Задача* × *Пол* ($F_{1,18} = 3.54; p = 0.08$). Как видно на рис. 3, *а, б*, при воспроизведении значимое снижение ОВФ наблюдается только в группе женщин ($T = 3.85, df = 10, p < 0.005$). В дальней зоне также выявлено взаимодействие *Задача* × *Пол* ($F_{1,17} = 6.07; p < 0.05$). Сходно с ближней зоной, уменьшение ОВФ при воспроизведении значимо только у женщин ($T = 5.88, df = 10, p < 0.0005$), (рис. 3, *б*).

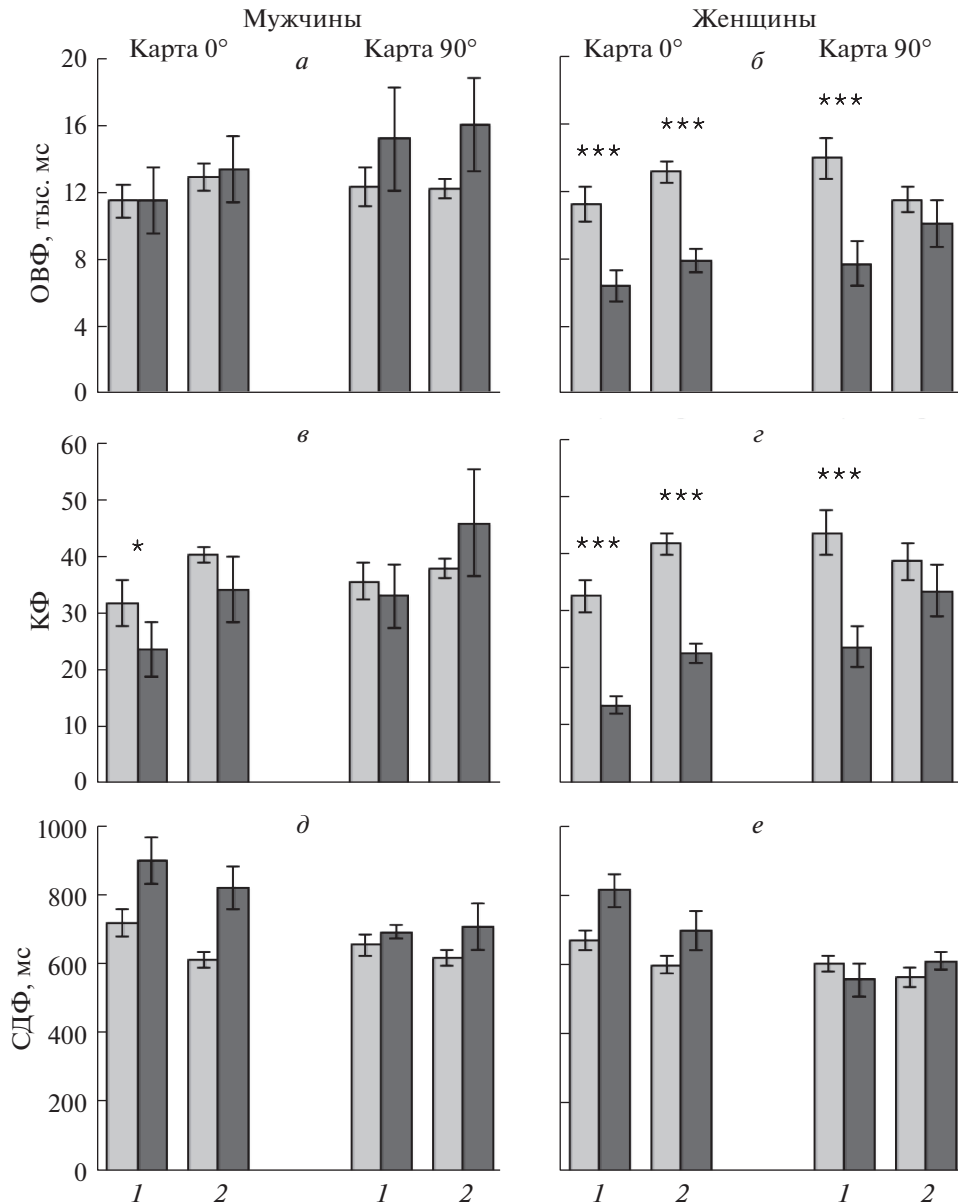


Рис. 3. Характеристики движений глаз при выполнении задач запоминания и воспроизведения маршрута на карте городской местности в группах мужчин и женщин в сериях “карта 0°” и “карта 90°”. Приведены усредненные по группам значения общего времени фиксации (а, б), количества фиксаций (в, г) и средней длительности фиксаций (д, е). По горизонтали — зоны интереса: 1 — ближняя зона, 2 — дальняя зона. По вертикали — средние по группам показатели движений глаз. Показатели разброса — стандартная ошибка среднего. Светло-серые столбики — задача запоминания маршрута, темно-серые — задача воспроизведения.

Достоверность различий между задачами запоминания и воспроизведения: * — $p < 0.05$, ** — $p < 0.01$, *** — $p < 0.005$ (T-test).

В серии “карта 90°” ANOVA RM с факторами *Задача*, *Зона*, *Пол* выявил взаимодействие *Задача* × *Пол* ($F_{1,17} = 8.13$; $p < 0.01$). У мужчин ОВФ значимо не изменялось, у женщин при воспроизведении наблюдали отчетливое снижение этого показателя ($T = 2.85$, $df = 9$, $p < 0.05$), (рис. 3, б). Половые различия зависели от расстояния от маршрута: *Зона* × *Пол* ($F_{1,17} = 8.13$; $p < 0.01$). В ближней зоне динамика ОВФ зависела от пола:

Задача × *Пол* ($F_{1,17} = 6.07$; $p < 0.05$). У женщин при воспроизведении наблюдали значимое снижение ОВФ ($T = 4.03$, $df = 9$, $p < 0.005$), у мужчин различия отсутствовали (рис. 3, а, б). В дальней зоне значимых половых различий в динамике ОВФ не обнаружено.

Анализ количества фиксаций (КФ). Проведен ANOVA с факторами *Задача*, *Ориентация карты*,

Пол. Выявлены значимые эффекты *Задачи* ($F_{1,15} = 13.97; p < 0.005$) и *Ориентации карты* ($F_{1,15} = 12.99; p < 0.005$). Это проявлялось в виде снижения КФ при воспроизведении по сравнению с запоминанием ($T = 3.37, df = 16, p < 0.005$), и более высоких значениях КФ при “карте 90°” ($T = -3.59, df = 16, p < 0.005$). Взаимодействие *Задача* × *Ориентация карты* ($F_{1,16} = 11.44; p < 0.005$) проявилось в виде более четких различий между задачами в серии “карта 0°” ($T = 5.78, df = 17, p < 0.0005$), чем в серии “карта 90°” ($T = 1.72, df = 18, p = 0.10$). Зависимость КФ от пола проявлялась в виде тренда *Задача* × *Пол* ($F_{1,15} = 3.61; p = 0.08$): снижение КФ при воспроизведении относительно запоминания значимо только в группе женщин ($T = 7.57, df = 8, p < 0.0005$).

Ввиду значимого эффекта *Ориентации карты* и взаимодействия *Задача* × *Ориентация карты* дальнейший анализ проводили отдельно для серий “карта 0°” и “карта 90°”.

В серии “карта 0°” ANOVA RM с факторами *Задача*, *Зона*, *Пол* выявил значимый эффект *Задачи* ($F_{1,16} = 38.58; p < 0.0005$) и *Зоны* ($F_{1,16} = 13.36; p < 0.005$). Это проявлялось в снижении КФ при воспроизведении ($T = 5.78, df = 17, p < 0.005$) и в более высоких значениях КФ в дальней зоне по сравнению с ближней ($T = -2.53, df = 16, p < 0.05$). Взаимодействие *Задача* × *Пол* ($F_{1,16} = 3.66; p = 0.07$) близко к значимому. Различия между запоминанием и воспроизведением выше в группе женщин ($T = 9.46, df = 8, p < 0.0005$), чем в группе мужчин ($T = 3.38, df = 8, p < 0.05$).

В ближней зоне выявлен эффект *Задачи* ($F_{1,17} = 60.61; p < 0.0005$) и взаимодействие *Задача* × *Пол* ($F_{1,17} = 4.25; p < 0.05$). Как видно на рис. 3, в, г, уменьшение КФ более отчетливо в группе женщин ($T = 8.29, df = 9, p < 0.0005$), чем в группе мужчин ($T = 3.48, df = 8, p < 0.01$). В дальней зоне выявлен эффект *Задачи* ($F_{1,17} = 31.68; p < 0.0001$) и близкое к значимому взаимодействие *Задача* × *Пол* ($F_{1,17} = 3.53; p = 0.08$). При воспроизведении КФ значимо снижалось только в группе женщин ($T = 6.70, df = 9, p < 0.0005$).

В серии “карта 90°” ANOVA RM выявил взаимодействие *Задача* × *Зона* ($F_{1,17} = 11.09; p < 0.005$): различия между задачами значимы только в ближней зоне ($T = 2.58, df = 18, p < 0.05$). В ближней зоне выявлен эффект *Задачи* ($F_{1,17} = 7.24; p < 0.01$) и близкое к значимому взаимодействие *Задача* × *Пол* ($F_{1,17} = 4.18; p = 0.06$). Как видно на рис. 3, в, г, уменьшение КФ при воспроизведении отчетливо только в группе женщин ($T = 3.57, df = 9, p < 0.005$). В дальней зоне значимых эффектов не выявлено.

Анализ средней длительности фиксации (СДФ). Проведен ANOVA RM с факторами *Задача*, *Ориентация карты*, *Пол*. Выявлены значимые эффекты *Задачи* ($F_{1,16} = 14.7; p < 0.001$) и *Ориентации*

карты ($F_{1,16} = 44.25; p < 0.0001$). Это проявлялось в больших значениях СДФ при воспроизведении по сравнению с запоминанием ($T = 3.68, df = 17, p < 0.005$), более высоких СДФ в серии “карта 0°” по сравнению с серией “карта 90°” ($T = 6.8, df = 17, p < 0.0005$). Выявлено взаимодействие *Задача* × *Ориентация карты* ($F_{1,16} = 14.7; p < 0.001$): увеличение СДФ при воспроизведении значимо в серии “карта 0°” ($T = -4.69, df = 18, p < 0.0005$), а в серии “карта 90°” имеет характер тенденции ($T = -1.58, df = 17, p = 0.10$). Влияние *Пола* близко к уровню значимости ($F_{1,16} = 4.01; p = 0.06$), СДФ выше в группе мужчин ($T = 2.00, df = 16, p = 0.06$).

С учетом влияния фактора *Ориентация карты* дальнейший анализ проведен отдельно по двум разным ориентациям карт.

В серии “карта 0°” ANOVA RM с факторами *Задача*, *Зона*, *Пол* выявил значимые эффекты *Задачи* ($F_{1,17} = 23.18; p < 0.0001$) и *Зоны* ($F_{1,17} = 18.34; p < 0.001$), что проявлялось в более высоких значениях СДФ при воспроизведении по сравнению с запоминанием ($T = -3.90, df = 19, p < 0.001$) и больших значениях СДФ в ближней зоне по сравнению с дальней ($T = 4.41, df = 18, p < 0.0005$). Эти различия хорошо видны на рис. 3, д, е. Не обнаружено значимого влияния фактора *Пол*. Как видно на рис. 3, д, е, значения СДФ у мужчин и женщин существенно не различались. И в ближней, и в дальней зонах обнаружен эффект *Задачи* в виде увеличения СДФ: в ближней зоне $F_{1,17} = 17.43; p < 0.001$, в дальней $F_{1,18} = 18.97; p < 0.0005$.

При “карте 90°” ANOVA RM с факторами *Задача*, *Зона*, *Пол* выявил эффект *Пола* ($F_{1,16} = 6.96; p < 0.05$): СДФ несколько выше в группе мужчин по сравнению с женщинами ($T = 2.0, df = 16, p = 0.06$). Обнаружен тренд *Задача* × *Зона* ($F_{1,16} = 3.68; p = 0.07$): более высокие значения СДФ при воспроизведении по сравнению с запоминанием значимы только в дальней зоне ($T = -2.28, df = 18, p < 0.05$). В ближней зоне выявлено влияние *Пола* ($F_{1,16} = 5.88; p < 0.05$), значения СДФ выше в группе мужчин, чем в группе женщин ($T = 2.42, df = 16, p < 0.05$). В дальней зоне выявлен эффект *Задачи* ($F_{1,17} = 5.28; p < 0.05$) в виде более высокой СДФ при воспроизведении ($T = -2.28, df = 18, p < 0.05$).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Цель настоящего исследования – выявить связанные с полом особенности выполнения навигационной задачи запоминания и мысленного воспроизведения маршрута, анализируя характеристики движений глаз. Мысленное воспроизведение маршрута исследовали в ситуациях разной сложности: воспроизведение на тестовой карте, ориентация которой была такой же, как и у карты с запоминаемым маршрутом (серия “карта 0°”), и

при повороте тестовой карты на 90 град (серия “карта 90°”).

Мы не обнаружили значимых половых различий показателей движений глаз при запоминании маршрута. Сходно, в работах по навигации в виртуальном водном лабиринте Морриса установлено, что мужчины и женщины не различаются по поведенческим и фМРТ показателям первичного сканирования местности (MacFadden et al., 2003; Woolley et al., 2010). Аналогичные результаты получены в экспериментах по поиску оптимального пути из начального в конечный пункт (Cazzato et al., 2010).

Анализ характеристик движений глаз на самом маршруте и близко расположенных к нему участках карты показал, что мужчины и женщины значимо различаются как по абсолютным значениям показателей движений глаз при воспроизведении маршрута, так и по характеру различий между запоминанием и воспроизведением. У мужчин по сравнению с женщинами выше показатели общего времени и количества фиксаций. При воспроизведении по сравнению с запоминанием у них уменьшается количество фиксаций, но за счет увеличения их длительности не происходит изменения общего времени фиксации. У женщин больше степень уменьшения количества фиксаций и меньше – увеличения их длительности, результатом чего является выраженное снижение общего времени фиксации, т.е. при воспроизведении маршрута мужчины по сравнению с женщинами больше времени уделяют участкам карты, связанным с маршрутом, что можно рассматривать как показатель более точного мысленного воспроизведения пути на карте. Динамика средней длительности фиксаций не показала такой устойчивой зависимости от пола. Однако и мужчины, и женщины при воспроизведении маршрута показали увеличение средней длительности фиксаций, которое зависело от ориентации тестовой карты, и было менее выраженным при воспроизведении на карте измененной ориентации. По литературным данным, увеличение длительности фиксации взора коррелирует с большим уровнем внимания, более глубокой проработкой объекта, на котором зафиксирован взор, и является показателем нахождения целевого стимула (Brouwer et al., 2013, 2017; Jangraw et al., 2014; Wenzel et al., 2016).

Общее время фиксации и количество фиксаций на близких к маршруту зонах можно рассматривать как показатели точности воспроизведения запомненного пути. Положительная связь точности воспроизведения маршрута с показателями числа и общего времени фиксаций показана в работе (Piccardi et al., 2016). В нашем исследовании эти характеристики продемонстрировали четкую зависимость от *Задачи* и *Пола* в виде значимого

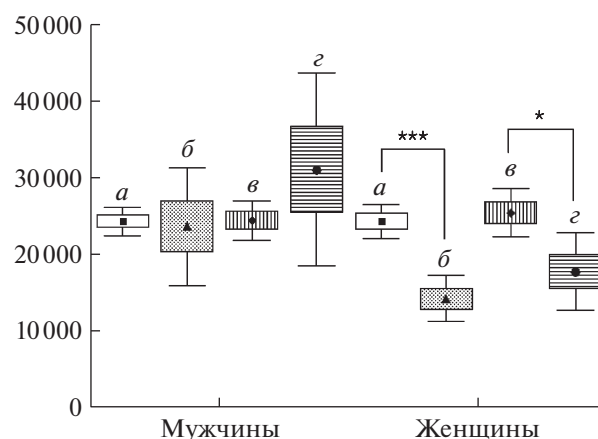


Рис. 4. Диаграммы разброса общего времени фиксаций при запоминании и воспроизведении маршрута в группах мужчин и женщин. Условные обозначения: *a* – запоминание, *б* – воспроизведение для серии “карта 0°”, и *в* – запоминание, *з* – воспроизведение для серии “карта 90°”. Приведены средние значения, стандартная ошибка среднего и 0.95 доверительный интервал. Достоверность различий между задачами запоминания и воспроизведения: * – $p < 0.05$, *** – $p < 0.005$ (T-test).

взаимодействия *Задача* × *Пол*, которое наблюдали в обеих зонах интереса и при двух ориентациях тестовой карты. На рис. 4 эта зависимость проиллюстрирована на примере изменения общего времени фиксации при воспроизведении маршрута по сравнению с запоминанием в группах мужчин и женщин. Видно, что в группе мужчин этот показатель значимо не меняется, тогда как у женщин наблюдается иная динамика – при воспроизведении общее время фиксации уменьшается. Этот результат, а также данные о более резком снижении количества фиксаций и меньшем нарастании их средней длительности в группе женщин говорят о трудности мысленного воспроизведения маршрута, “потери пути”.

Представляет интерес сопоставить полученные нами данные с результатами исследования глазодвигательной активности в зависимости от пространственного когнитивного стиля – “*spatial cognitive style*” (Piccardi et al., 2016). В этой работе проведен анализ данных регистрации движений глаз при запоминании и воспроизведении пути между восемью целевыми фигурами на упрощенной двухмерной карте, на которой объекты представлены восемнадцатью одинаковыми прямоугольниками и указаны стороны света. На основании данных тестирования (Nogi, Giusberti, 2006) испытуемые были разделены на три группы. Первая группа характеризовалась хорошим запоминанием меток на местности, но без объединения их в единую систему (“*landmark style*”). Во второй группе ориентирование по меткам на местности сочеталось с объединением их в еди-

ный маршрут (“*route style*”). Третья группа испытуемых характеризовалась стратегией, при которой создается мысленная глобальная карта местности, легко находятся и выстраиваются новые маршруты между точками, оценивается положение в пространстве с учетом кардинальных пространственных ориентиров, таких как право–лево, север–юг–запад–восток (“*survey style*”). В проведенном авторами эксперименте выявлены межгрупповые различия глазодвигательной активности в заданиях запоминания и воспроизведения маршрута на упрощенной двумерной карте местности. Испытуемые из группы “*survey style*”, в которой преобладали мужчины, отличалась от других групп большей длительностью фиксации, большим общим временем фиксации в зонах вне маршрута при запоминании, а при воспроизведении, напротив, большим количеством фиксаций в зоне самого маршрута и меньшим количеством ошибок воспроизведения пути. Группа “*landmark style*”, в которой преобладали женщины, отличалась от группы “*survey style*” большим вниманием зоне самого маршрута при запоминании, а при воспроизведении, напротив, повышенному вниманию зонам вне маршрута, где выявлено большее общее время фиксаций. Более успешная “*survey style*”- группа демонстрирует при запоминании более сложный паттерн сканирования карты, с широким охватом всех ее областей. В этой группе испытуемые тратили больше времени на изучение области карты вне запоминаемого маршрута, не просто прослеживая заданный маршрут, а сканируя всю карту. Испытуемые из “*landmark style*”-группы создают хорошие репрезентации меток на местности, но не имеют четко представлений как достичь этих точек. Поэтому при воспроизведении пути они используют стратегию проб и ошибок. Принимая во внимание преобладание мужчин в группе “*survey style*” и женщин в группе “*landmark style*”, данные этой работы можно рассматривать как указание на половые различия сканирования пространства при запоминании и воспроизведении маршрута на карте-схеме местности. При воспроизведении маршрута более успешная “*survey style*” группа (с преобладанием мужчин) 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 него. Полученные нами данные о половых различиях глазодвигательной активности при воспроизведении пути на карте местности хорошо соотносятся с результатами вышеупомянутой работы.

В нашем исследовании показатели движений глаз измеряли в ближней и дальней зонах интереса, на разных расстояниях от основного маршрута. В работе не выявлено стойкой зависимости

половых различий измеренных показателей от расстояния от основного маршрута. Отсутствие эффекта зоны предположительно может быть связано с тем, что хотя мужчины и женщины используют различные стратегии сканирования всего пространства карты (Piccardi et al., 2016) это не всегда проявляется в зонах, близко расположенных к целевому маршруту.

При усложнении задачи с воспроизведением маршрута на карте 90°, нарастание средней длительности фиксаций наблюдали в обеих группах, и оно не было столь же отчетливым, как в ситуации воспроизведения на карте 0°, что говорит о трудности “нахождения цели” в обеих группах испытуемых. Эти результаты можно соотнести с данными о динамике движений глаз при решении зрительно-пространственной задачи с определением сходства объемных геометрических фигур, повернутыми друг относительно друга с шагом 45° (Scheer et al., 2016). Авторы обнаружили, что изменение ориентации фигуры от 0 до 180° приводило к увеличению количества фиксаций, но значимые половые различия во влиянии поворота отсутствовали.

Таким образом, согласно полученным нами данным, мужчины более успешны в воспроизведении запомненного маршрута на карте местности. Это соответствует результатам поведенческих исследований навигации, в которых мужчины опережают женщин (Galea, Kimura, 1993; Yagi, Galea, 2018). По показателям общего времени и количества фиксаций мужчины уделяли больше внимания близким к маршруту зонам, а большая длительность фиксаций у мужчин является показателем более эффективного нахождения цели, т.е. самого маршрута. Полученные результаты соответствуют литературным сведениям о лучших навигационных способностях в мужской популяции. Так, например, в работе Буна и соавт. (Boone et al., 2018) испытуемые выполняли сходную с нашей задачей нахождения пути в ранее пройденном виртуальном лабиринте. Мужчины чаще использовали короткий путь (“*shortcut*”) и тратили меньше времени для достижения цели. Женщины чаще следовали ранее выученным маршрутом или блуждали по лабиринту, находя конечную точку случайно. Лучшая ориентация в лабиринте с аналогичной задачей поиска выученного пути показана и для мальчиков-подростков (Merrill et al., 2016). Авторы подчеркнули половые различия стратегий поиска: девочки, в отличие от мальчиков, дополнительно использовали вербальную информацию. Интересными для нас являются результаты исследования (Pazzaglia, Moe, 2013). Испытуемые запоминали два варианта карт местности – карту–схему города (вид сверху) с преобладанием зрительной информации (минимально окрашенное схематическое изображение улиц и небольшого числа зданий, названия улиц на не-

знакомом языке) и реальную карту города, представляющую трехмерное хорошо окрашенное изображение части города с квазитопографическими вербализуемыми характеристиками (улицы с четкими названиями на родном языке, здания, холмы, деревья). Выучивание и воспроизведение первого типа карт коррелировало с высокими оценками в тесте ментального вращения, а второго типа карт — с высокими оценками вербального теста. Мужчины лучше женщин выполняли задачу ментальной ротации и были более успешны в работе с картами-схемами (Pazzaglia, Moe, 2013).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ характеристик движений глаз на близко расположенных к маршруту участках карты показал, что мужчины и женщины значительно различаются как по абсолютным значениям показателей движений глаз при воспроизведении маршрута, так и по характеру различий между запоминанием и воспроизведением. У мужчин выше показатели общего времени, количества фиксаций и их длительности. При воспроизведении у мужчин уменьшалось количество фиксаций, но за счет увеличения их длительности общее время фиксации не изменялось. У женщин более резкое уменьшение количества фиксаций при незначительном увеличении их длительности приводит к выраженному снижению общего времени фиксации. Мужчины по сравнению с женщинами больше времени уделяют участкам карты, связанным с маршрутом, что можно рассматривать как показатель более точного мысленного воспроизведения пути на карте. Динамика длительности фиксаций не показала четкой зависимости от пола. При воспроизведении на тестовой карте той же ориентации обе группы показали увеличение длительности, что считается показателем нахождения цели (Brouwer et al., 2017). Эффективность поиска снижается при повороте тестовой карты на 90 град.: в обеих группах длительность фиксаций значительно не изменялась. Согласно полученным результатам, мужчины опережают женщин в задаче мысленного воспроизведения топографических характеристик местности, что является важным фактором их более успешного навигационного поведения. Полученные результаты существенно дополняют сведения по половым различиям в навигации данными об организации глазных движений и связанной с полом специфике пространственного внимания при выполнении навигационных задач.

Работа поддержана Грантом РФФИ (Проект № 19-013-00918 А).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Барабанщиков В.А. Окуломоторная активность человека как предмет и метод психологического исследования. *Айтрекинг в психологической науке и практике*. Под ред. Барабанщикова В.А. М.: Когито-Центр, 2015. С. 15–35.
- Киселева А.Б., Герасименко Н.Ю., Михайлова Е.С. Половые различия выполнения теста “Комплексная фигура Тейлора”. Анализ результатов нейропсихологического исследования и регистрации глазодвигательных реакций. *Российский журнал когнитивной науки*. 2017. Т. 4 (2–3). С. 13–26.
- Andersen N.E., Dahmani L., Konishi K., Bohbot V.D. Eye tracking, strategies, and sex differences in virtual navigation. *Neurobiol Learn Mem*. 2012. V. 97 (1). P. 81–89. <https://doi.org/10.1016/j.nlm.2011.09.007>
- Barkley C.L., Gabriel K.I. Sex differences in cue perception in a visual scene: Investigation of cue type. *Behav Neurosci*. 2007. V. 121 (2). P. 291–300. <https://doi.org/10.1037/0735-7044.121.2.291>
- Benjamini Y., Hochberg Y. Controlling the false discovery rate: a practical and powerful approach to multiple testing. *J Roy Statist Soc Ser B (Methodological)*. 1995. V. 57 (1). P. 289–300.
- Bocchi A., Giancola M., Piccardi L., Palmiero M., Nori R., D’Amico S. How would you describe a familiar route or put in order the landmarks along it? It depends on your cognitive style! *Exp Brain Res*. 2018. V. 236 (12). P. 3121–3129. <https://doi.org/10.1007/s00221-018-5367-3>
- Boccia M., Piccardi L., Di Marco M., Pizzamiglio L., Guariglia C. Does field independence predict visuo-spatial abilities underpinning human navigation? Behavioural evidence. *Exp Brain Res*. 2016. V. 234 (10). P. 2799–2807. <https://doi.org/10.1007/s00221-016-4682-9>
- Boone A.P., Gong X., Hegarty M. Sex differences in navigation strategy and efficiency. *Mem Cognit*. 2018. V. 46 (6). P. 909–922. <https://doi.org/10.3758/s13421-018-0811-y>
- Brouwer A.M., Reuderink B., Vincent J., van Gerven M.A.J., van Erp J.B.F. Distinguishing between target and non-target fixations in a visual search task using fixation-related potentials. *J Vis*. 2013. V. 13 (3). P. 1–10 <https://doi.org/10.1167/13.3.17>
- 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 (264). <https://doi.org/10.3389/fnhum.2017.00264>
- Cazzato V., Basso D., Cutini S., Bisiacchi P. Gender differences in visuospatial planning: An eye movements study. *Behav Brain Res*. 2010. V. 206 (2). P. 177–183. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2009.09.010>
- Collins D. W., Kimura D. A large sex difference on a two-dimensional mental rotation task. *Behav Neurosci*. 1997. V. 111 (4). P. 845–849. <https://doi.org/10.1037//0735-7044.111.4.845>
- Dabbs J.M.J., Chang E.-L., Strong R.A., Milun R. Spatial ability, navigation strategy, and geographic knowledge among men and women. *Evol Hum Behav*. 1998. V. 19 (2). P. 89–98. [https://doi.org/10.1016/s1090-5138\(97\)00107-4](https://doi.org/10.1016/s1090-5138(97)00107-4)

- Galea L.A.M., Kimura D. Sex differences in route-learning. *Personal Individ Differ*. 1993. V. 14. P. 53–65.
- Gärling T., Böök A., Lindeberg E. Spatial orientation and way-finding in the designed environment: a conceptual analysis and some suggestions for post occupancy evaluation. *J Archit Plann Res*. 1986. V. 3. P. 55–64.
- Gootjes L., Bruggeling E.C., Magnee T., van Strien J.W. Sex differences in the latency of the late event-related potential mental rotation effect. *Neuroreport*. 2008. V. 19 (3). P. 349–353.
<https://doi.org/10.1097/wnr.0b013e3282f519b3>
- Iachini T., Sergi I., Ruggiero G., Gnisci A. Gender differences in object location memory in a real three-dimensional environment. *Brain Cogn*. 2005. V. 59 (1). P. 52–59.
<https://doi.org/10.1016/j.bandc.2005.04.004>
- Jangraw D.C., Wang J., Lance B.J., Chang S.F., Sajda P. Neurally and ocularily informed graph-based models for searching 3D environments. *J Neural Eng*. 2014. V. 11 (4).
<https://doi.org/10.1088/1741-2560/11/4/046003>
- Killian N.J., Jutras M.J., Buffalo E.A. A map of visual space in the primate entorhinal cortex. *Nature*. 2012. V. 491 (7426). P. 761–764.
<https://doi.org/10.1038/nature11587>
- Lambrey S., Berthoz A. Gender differences in the use of external landmarks versus spatial representations updated by selfmotion. *J Integr Neurosci*. 2007. V. 6 (3). P. 379–401.
- Levine S.C., Foley A., Lourenco S., Ehrlich S., Ratliff K. Sex differences in spatial cognition: advancing the conversation. *Wiley Interdiscip Rev Cogn Sci*. 2016. V. 7 (2). P. 127–155.
<https://doi.org/10.1002/wcs.1380>
- Levy L.J., Astur R.S., Frick K.M. Men and women differ in object memory but not performance of a virtual radial maze. *Behav Neurosci*. 2005. V. 119 (4). P. 853–862.
<https://doi.org/10.1037/0735-7044.119.4.853>
- MacFadden A., Elias L., Saucier D. Males and females scan maps similarly, but give directions differently. *Brain Cogn*. 2003. V. 53 (2). P. 297–300.
- 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.
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.00258>
- 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>
- Nori R., Giusberti F. Predicting cognitive styles from spatial abilities. *Am. J. Psychol*. 2006. V. 119 (1). 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.
<https://doi.org/10.3389/fnins.2018.00204>
- Nori R., Piccardi L., Migliori M., Guidazzoli A., Frasca F., DeLuca D., Giusberti F. The virtual reality Walking Corsi Test. *Comput Human Behav*. 2015. V. 48. P. 72–77.
<https://doi.org/10.1016/j.chb.2015.01.035>
- Nori R., Piccardi L. Familiarity and spatial cognitive style: how important are they for spatial representation? *Spatial Memory: Visuospatial Processes, Cognitive Performance and Developmental Effects*. Ed. Thomas J.B. NY: Nova Publisher, 2011. P. 123–144.
- 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 (140).
<https://doi.org/10.3389/fnbeh.2016.00140>
- Postma A., Jager G., Kessels R.P.C., Koppeschaar H.P.F., van Honk J. Sex differences for selective forms of spatial memory. *Brain Cogn*. 2004. V. 54 (1). P. 24–34.
[https://doi.org/10.1016/s0278-2626\(03\)00238-0](https://doi.org/10.1016/s0278-2626(03)00238-0)
- 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>
- Schiller D., Eichenbaum H., Buffalo E.A., Davachi L., Foster D.J., Leutgeb S., Ranganath C. Memory and space: towards an understanding of the cognitive map. *J. Neurosci. Offi. J. Soc. Neurosci*. 2015. V. 35 (41). P. 13904–13911.
<https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2618-15.2015>
- Scheer C., Mattioni Maturana F., Jansen P. Sex differences in a chronometric mental rotation test with cube figures. *Neuroreport*. 2016. V. 29 (10). P. 870–875.
<https://doi.org/10.1097/wnr.0000000000001046>
- Silverman I., Choi J., Peters M. The hunter-gatherer theory of sex differences in spatial abilities: Data from 40 countries. *Arch Sex Behav*. 2007. V. 36 (2). P. 261–268.
<https://doi.org/10.1007/s10508-006-9168-6>
- Voyer D., Voyer S., Bryden M.P. Magnitude of sex differences in spatial abilities: A meta-analysis and consideration of critical variables. *Psychol Bull*. 1995. V. 117 (2). P. 250–270.
<https://doi.org/10.1037//0033-2909.117.2.250>
- Wenzel M.A., Golenia J., Blankertz B. Classification of eye fixation related potentials for variable stimulus saliency. *Front Neurosci*. 2016. V. 10 (23).
<https://doi.org/10.3389/fnins.2016.00023>
- Woolley D.G., Vermaercke B., Op de Beeck H. et al. Sex differences in human virtual water maze performance: Novel measures reveal the relative contribution of directional responding and spatial knowledge. *Behav Brain Res*. 2010. V. 208 (2). P. 408–414.
<https://doi.org/10.1016/j.bbr.2009.12.019>
- Yagi S., Galea L.A.M. Sex differences in hippocampal cognition and neurogenesis. *Neuropsychopharmacology*. 2018. V. 44 (1). P. 200–213.
<https://doi.org/10.1038/s41386-018-0208-4>
- Yu Q., Tang Y., Li J., Lu Q., Wang H., Sui D., Zhou L., Wang Y., Heil M. Sex differences of event-related potential effects during three-dimensional mental rotation. *Neuroreport*. 2009. V. 20 (1). P. 43–47.
<https://doi.org/10.1097/wnr.0b013e32831c50f4>

Gender differences in performance of mental recall of the route on a city map. Analysis of the eye movements character

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

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

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

In eye tracking experiment gender differences of mental recall of the route on a city map were analyzed. The gender differences of the eye movement characteristics during recall as well as the differences between learning and recall were found in the maps' areas near the route. The complete fixation time, the number of fixations and the mean fixation duration were higher in males compared to females. In males during recalling the number of fixations decreased, the mean fixation duration increased, and the complete fixation time has not changed. In contrast, females revealed a significant fixation number decrease, a slight mean fixation duration increase that resulted in a marked complete fixation time decrease. So, males compared to females devote more time to the areas near the route that may be considered as an index of more accurate recall of the route. The dynamics of mean fixation duration did not show a dependence on the gender: on both groups the fixation duration increase during recall in normal orientation maps and decrease in maps rotated on 90 degrees. According to findings received, males better than females recall the topographic characteristics of the spatial environment that might be the basis of more successful navigation behavior.

Key words: gender, navigation, visuospatial attention, spatial memory, eye movement behavior

REFERENCES

- Barabanshnikov V.A. Okulomotornaya aktivnost' cheloveka kak predmet i metod psikhologicheskogo issledovaniya [Human oculomotor activity as a subject and method of psychological research]. *Ajtreking v psikhologicheskoy nauke i praktike* [Eyetracking in psychological science and practice]. Ed. Barabanshnikov V.A. M.: Cogito—Centre, 2015. P. 15–35 (in Russian).
- Kiseleva A.B., Gerasimenko N.YU., Mikhajlova E.S. Polovye razlichiya vypolneniya testa "Kompleksnaya figura Tejlora". Analiz rezul'tatov nejropsikhologicheskogo issledovaniya i registratsii glazodvigatel'nykh reaktsij. [Gender differences in performance of the Taylor Complex Figure Test: A neuropsychological and eye tracking study] *Rossijskij zhurnal kognitivnoj nauki* [The Russian Journal of Cognitive Science]. 2017. V. 4 (2–3). P. 13–26 (in Russian).
- Andersen N.E., Dahmani L., Konishi K., Bohbot V.D. Eye tracking, strategies, and sex differences in virtual navigation. *Neurobiol Learn Mem.* 2012. V. 97 (1). P. 81–89. doi:10.1016/j.nlm.2011.09.007
- Barkley C.L., Gabriel K.I. Sex differences in cue perception in a visual scene: Investigation of cue type. *Behav Neurosci.* 2007. V. 121 (2). P. 291–300. DOI:10.1037/0735-7044.121.2.291
- Benjamini Y., Hochberg Y. Controlling the false discovery rate: a practical and powerful approach to multiple testing. *J Roy Statist Soc Ser B* (Methodological). 1995. V. 57 (1). P. 289–300.
- Bocchi A., Giancola M., Piccardi L., Palmiero M., Nori R., D'Amico S. How would you describe a familiar route or put in order the landmarks along it? It depends on your cognitive style! *Exp Brain Res.* 2018. V. 236 (12). P. 3121–3129. DOI:10.1007/s00221-018-5367-3
- Boccia M., Piccardi L., Di Marco M., Pizzamiglio L., Guariglia C. Does field independence predict visuo-spatial abilities underpinning human navigation? Behavioural evidence. *Exp Brain Res.* 2016. V. 234 (10). P. 2799–2807. DOI:10.1007/s00221-016-4682-9
- Boone A.P., Gong X., Hegarty M. Sex differences in navigation strategy and efficiency. *Mem Cognit.* 2018. V. 46 (6). P. 909–922. DOI:10.3758/s13421-018-0811-y
- Brouwer A.M., Reuderink B., Vincent J., van Gerven M.A.J., van Erp J.B.F. Distinguishing between target and non-target fixations in a visual search task using fixation-related potentials. *J Vis.* 2013. V. 13 (3). P. 1–10. DOI: 10.1167/13.3.17
- 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 (264). DOI: 10.3389/fnhum.2017.00264
- Cazzato V., Basso D., Cutini S., Bisiacchi P. Gender differences in visuospatial planning: An eye movements study. *Behav Brain Res.* 2010. V. 206 (2). P. 177–183. DOI: 10.1016/j.bbr.2009.09.010
- Collins D. W., Kimura D. A large sex difference on a two-dimensional mental rotation task. *Behav Neurosci.* 1997. V. 111 (4). P. 845–849. DOI: 10.1037//0735-7044.111.4.845
- Dabbs J.M.J., Chang E.—L., Strong R.A., Milun R. Spatial ability, navigation strategy, and geographic knowledge among men and women. *Evol Hum Behav.* 1998. V. 19 (2). P. 89–98. DOI:10.1016/s1090-5138(97)00107-4
- Galea L.A.M., Kimura D. Sex differences in route-learning. *Personal Individ Differ.* 1993. V. 14. P. 53–65.
- Gärbling T., Böök A., Lindeberg E. Spatial orientation and way-finding in the designed environment: a conceptual analysis and some suggestions for post occupancy evaluation. *J Archit Plann Res.* 1986. V. 3. P. 55–64.
- Gootjes L., Bruggeling E.C., Magnee T., van Strien J.W. Sex differences in the latency of the late event-related potential mental rotation effect. *Neuroreport.* 2008.

- V. 19 (3). P. 349–353.
DOI: 10.1097/wnr.0b013e3282f519b3
- Iachini T., Sergi I., Ruggiero G., Gnisci A. Gender differences in object location memory in a real three-dimensional environment. *Brain Cogn.* 2005. V. 59 (1). P. 52–59.
DOI: 10.1016/j.bandc.2005.04.004
- Jangraw D.C., Wang J., Lance B.J., Chang S.F., Sajda P. Neurally and ocularly informed graph-based models for searching 3D environments. *J Neural Eng.* 2014. V. 11 (4).
DOI: 10.1088/1741–2560/11/4/046003
- Killian N.J., Jutras M.J., Buffalo E.A. A map of visual space in the primate entorhinal cortex. *Nature.* 2012. V. 491 (7426). P. 761–764.
DOI: 10.1038/nature11587
- Lambrey S., Berthoz A. Gender differences in the use of external landmarks versus spatial representations updated by selfmotion. *J Integr Neurosci.* 2007. V. 6 (3). P. 379–401.
- Levine S.C., Foley A., Lourenco S., Ehrlich S., Ratliff K. Sex differences in spatial cognition: advancing the conversation. *Wiley Interdiscip Rev Cogn Sci.* 2016. V. 7 (2). P. 127–155.
DOI: 10.1002/wcs.1380
- Levy L.J., Astur R.S., Frick K.M. Men and women differ in object memory but not performance of a virtual radial maze. *Behav Neurosci.* 2005. V. 119 (4). P. 853–862.
DOI: 10.1037/0735-7044.119.4.853
- MacFadden A., Elias L., Saucier D. Males and females scan maps similarly, but give directions differently. *Brain Cogn.* 2003. V. 53 (2). P. 297–300.
- 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.
doi:10.3389/fpsyg.2016.00258
- 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.
DOI: 10.1016/j.bbr.2008.05.017.
- Nori R., Giusberti F. Predicting cognitive styles from spatial abilities. *Am. J. Psychol.* 2006. V. 119 (1). P. 67–86.
DOI: 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.
DOI: 10.3389/fnins.2018.00204
- Nori R., Piccardi L., Migliori M., Guidazzoli A., Frasca F., DeLuca D., Giusberti, F. The virtual reality Walking Corsi Test. *Comput Human Behav.* 2015. V. 48. P. 72–77.
DOI: 10.1016/j.chb.2015.01.035
- Nori R., Piccardi L. Familiarity and spatial cognitive style: how important are they for spatial representation? *Spatial Memory: Visuospatial Processes, Cognitive Performance and Developmental Effects.* Ed. Thomas J.B. NY. Nova Publisher, 2011. P. 123–144.
- Pazzaglia F., Moè A. Cognitive styles and mental rotation ability in map learning. *Cogn Process.* 2013. V. 14 (4). P. 391–399.
DOI: 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 (140).
DOI: 10.3389/fnbeh.2016.00140
- Postma A., Jager G., Kessels R.P.C., Koppeschaar H.P.F., van Honk J. Sex differences for selective forms of spatial memory. *Brain Cogn.* 2004. V. 54 (1). P. 24–34.
DOI: 10.1016/s0278-2626(03)00238-0
- 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.
DOI: 10.1037//0735–7044.116.3.403
- Schiller D., Eichenbaum H., Buffalo E.A., Davachi L., Foster D.J., Leutgeb, S., Ranganath C. Memory and space: towards an understanding of the cognitive map. *J. Neurosci. Offi. J. Soc. Neurosci.* 2015. V. 35 (41). P. 13904–13911.
DOI: 10.1523/JNEUROSCI.2618-15.2015
- Scheer C., Mattioni Maturana F., Jansen P. Sex differences in a chronometric mental rotation test with cube figures. *Neuroreport.* 2016. V. 29 (10). P. 870–875.
DOI: 10.1097/wnr.0000000000001046
- Silverman I., Choi J., Peters M. The hunter-gatherer theory of sex differences in spatial abilities: Data from 40 countries. *Arch Sex Behav.* 2007. V. 36 (2). P. 261–268.
DOI: 10.1007/s10508-006-9168-6
- Voyer D., Voyer S., Bryden M.P. Magnitude of sex differences in spatial abilities: A meta-analysis and consideration of critical variables. *Psychol Bull.* 1995. V. 117 (2). P. 250–270.
DOI: 10.1037//0033-2909.117.2.250
- Wenzel M.A., Golenia J., Blankertz B. Classification of eye fixation related potentials for variable stimulus saliency. *Front Neurosci.* 2016. V. 10 (23).
DOI: 10.3389/fnins.2016.00023
- Woolley D.G., Vermaercke B., Op de Beeck H. et al. Sex differences in human virtual water maze performance: Novel measures reveal the relative contribution of directional responding and spatial knowledge. *Behav Brain Res.* 2010. V. 208 (2). P. 408–414.
DOI: 10.1016/j.bbr.2009.12.019
- Yagi S., Galea L.A.M. Sex differences in hippocampal cognition and neurogenesis. *Neuropsychopharmacology.* 2018. V. 44 (1). P. 200–213.
DOI: 10.1038/s41386-018-0208-4
- Yu Q., Tang Y., Li J., Lu Q., Wang H., Sui D., Zhou L., Wang Y., Heil M. Sex differences of event-related potential effects during three-dimensional mental rotation. *Neuroreport.* 2009. V. 20 (1). P. 43–47.
DOI: 10.1097/wnr.0b013e32831c50f4