

EDN: <https://elibrary.ru/ccegiz>DOI: <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2023-63-3-163-170>

УДК 159.9.072 + 612.819.33

© Коллектив авторов, 2023

Луныкова Е.Г., Крускоп А.С., Дубровский В.Е.

Влияние категории стимула на характеристики движений глаз при зрительном поиске

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», ул. Моховая, 11/9, Москва, 125009

Введение. Скорость и эффективность зрительного поиска — важные характеристики деятельности значительного круга специалистов, работающих с визуальной информацией. Особенности зрительного поиска широко изучались с позиций когнитивной психологии и в связи с моделированием глазодвигательной активности. Было показано, что на его эффективность и на параметры поисковых движений глаз влияют как факторы стимуляции, так и некоторые когнитивные факторы (особенности предустановки субъекта, влияние предыдущих этапов поиска и др.). Мы предполагаем, что особенности поиска также связаны с тем, насколько хорошо человек представляет искомый стимул: относится ли он к знакомой семантической категории, насколько точно и однозначно его визуальная репрезентация.

Цель исследования — изучение взаимосвязи параметров движений глаз в зрительном поиске и особенностей ментальной репрезентации целевого объекта.

Материалы и методы. Были созданы наборы стимулов, относящихся к разным семантическим категориям, характеризующихся разной точностью ментальных репрезентаций, но обладающих сходными сенсорными качествами. Каждый объект (как целевой стимул, так и дистрактор) в поисковом поле представлял собой черный кружок на белом фоне с 4 чёрными отрезками внутри. Отрезки образовывали одну из трех конфигураций: а) лицо; б) римская цифра; в) случайная конфигурация. Участникам исследования предлагалось найти в матрице из 84 объектов конкретный целевой стимул, относящийся к одной из трёх указанных категорий. Во время поиска осуществлялась регистрация движений глаз участника.

Результаты. Результаты исследования в целом подтвердили гипотезу о взаимосвязи характеристик поиска с категорией целевого объекта. Наименьшее количество ошибок, минимальная продолжительность фиксации и максимальная амплитуда саккад характеризовали поиск римских цифр — объектов с хорошо сформированной и чётко определённой визуальной репрезентацией. Самым сложным, как и ожидалось, был поиск объектов, представляющих собой случайные конфигурации отрезков.

Ограничения исследования. Поскольку исследование носило, во многом, поисковый характер, полученные результаты требуют уточнения на более широкой выборке. Возможно, на характеристики поиска оказала влияние такой не проконтролированный в исследовании фактор, как конфигурация линий, а именно — наличие или отсутствие их пересечений, что следует учесть в дальнейшей работе.

Заключение. Чем лучше сформирована визуальная репрезентация целевого объекта, тем успешнее оказывается его поиск. В этом случае движения глаз характеризуются меньшей длительностью фиксации и более высокой частотой саккад большей амплитуды.

Этика. Исследование проведено с соблюдением этических принципов, изложенных в Хельсинкской декларации всемирной медицинской ассоциации, все участники дали добровольное информированное согласие.

Ключевые слова: зрительный поиск; движения глаз; фиксация; саккада; внимание; функциональное зрительное поле; ментальная репрезентация

Для цитирования: Луныкова Е.Г., Крускоп А.С., Дубровский В.Е. Влияние категории стимула на характеристики движений глаз при зрительном поиске. *Мед. труда и пром. экол.* 2021; 63(3): 163–170. <https://elibrary.ru/ccegiz> <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2023-63-3-163-170>

Для корреспонденции: Луныкова Елизавета Геннадьевна, старший научный сотрудник лаборатории «Восприятие» ф-та психологии МГУ имени М.В. Ломоносова), кандидат психологических наук. E-mail: egln@mail.ru

Участие авторов:

Луныкова Е.Г. — концепция и дизайн исследования, сбор и обработка данных, написание текста, редактирование;

Крускоп А.С. — концепция и дизайн исследования, сбор и обработка данных, написание текста;

Дубровский В.Е. — концепция и дизайн исследования, сбор и обработка данных, редактирование.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Дата поступления: 08.02.2023 / Дата принятия к печати: 14.02.2023 / Дата публикации: 20.03.2023

Elizaveta G. Luniakova, Alexander S. Krusko, Victor E. Doubrovski

The influence of the stimulus category on the characteristics of eye movements in visual search

Lomonosov Moscow State University, 11/9, Mokhovaya St., Moscow, 125009

Introduction. The speed and efficiency of visual search are important characteristics of the activities of a significant range of specialists working with visual information. Specialists have carefully studied the features of visual search from the point of view of cognitive psychology and in connection with the modeling of oculomotor activity. It has been shown that its effectiveness and the parameters of search eye movements are influenced by both stimulation factors and some cognitive factors (features of the subject's preset, the influence of previous search stages, etc.). We assume that the search features are also related to how well a person represents the desired stimulus: whether it belongs to a familiar semantic category, how accurate and unambiguous its visual representation is.

The study aims to explore the relationship between the parameters of eye movements in visual search and the features of the mental representation of the target object.

Materials and methods. We have created sets of stimuli belonging to different semantic categories, characterized by different accuracy of mental representations, but having similar sensory qualities. Each object (both the target stimulus and the

distractor) in the search field was a black circle on a white background with four black segments inside. The segments formed one of three configurations: a) a face; b) a Roman numeral; c) a random configuration. The study participants were asked to find in a matrix of 84 objects a specific target stimulus belonging to one of the three specified categories. The scientists recorded the participant's eye movements during the search.

Results. The results of the study generally confirmed the hypothesis about the relationship of search characteristics with the category of the target object. The smallest number of errors, the minimum duration of fixation and the maximum amplitude of saccades characterized the search for Roman numerals — objects with a well-formed and well-defined visual representation. The most difficult, as expected, was the search for objects representing random configurations of segments.

Limitations. Since the study was largely exploratory in nature, the results obtained require clarification on a wider sample. It is possible that the characteristics of the search were influenced by such a factor not controlled in the study as the configuration of the lines, namely, the presence or absence of their intersections, which should be taken into account in further work.

Conclusions. *The better the visual representation of the target object is formed, the more successful its search is. In this case, eye movements are characterized by a shorter duration of fixation and a higher frequency of saccades of greater amplitude.*

Ethics. The study was conducted in compliance with the ethical principles set out in the Helsinki Declaration of the World Medical Association, all participants gave voluntary informed consent.

Keywords: *visual search; eye movements; fixation; saccade; attention; functional visual field; mental representation*

For citation: Lunyakova E.G., Krusko A.S., Dubrovsky V.E. The influence of the stimulus category on the characteristics of eye movements in visual search. *Med. truda i prom. ekol.* 2023; 63(3): 163–170. <https://elibrary.ru/ccgez> <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2023-63-3-163-170> (in Russian)

For correspondence: Elizaveta G. Lunyakova, the senior researcher at the Perception Laboratory of the Faculty of Psychology of Lomonosov Moscow State University, Candidate of Psychological Sciences. E-mail: eglun@mail.ru

Information about the authors: Lunyakova E.G. <https://orcid.org/0000-0002-4300-818X>
Dubrovsky V.E. <https://orcid.org/0000-0002-9173-0329>

Contribution:

Lunyakova E.G. — the concept and design of the study, data collection and processing, writing the text, editing;

Krusko A.S. — the concept and design of the study, data collection and processing, writing the text;

Dubrovsky V.E. — the concept and design of the study, data collection and processing, editing.

Funding. The study had no funding.

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interests.

Received: 08.02.2023 / Accepted: 14.02.2023 / Published: 20.03.2023

Введение. В повседневной жизни — в быту, в профессиональной деятельности — человек часто сталкивается с задачей зрительного поиска конкретного объекта среди множества других. В значительной степени этот поиск упрощается, если предметы расположены в поле зрения не случайно, и область поиска достаточно чётко определена, или искомый объект обладает набором внешних характеристик, разительно отличающихся от окружения. Однако, нередко ситуации, в которых предметы в поле поиска не упорядочены и похожи друг на друга.

С задачами такого рода часто сталкиваются представители определённых профессий — врачи-рентгенологи, микробиологи, авиационные диспетчеры, представители службы безопасности разных структур, а также представители сферы ИТ и пользователи различных систем отображения информации на мониторе. Целый ряд исследований посвящён особенностям зрительного поиска в профессиональных задачах, например, способам рассматривания рентгенограмм и ошибкам идентификации признаков онкологических заболеваний [1, 2]; выявлению различных стратегий сканирования дисплея, поиска и сравнения воздушных судов авиадиспетчерами [3]. Изучаются аспекты влияния профессионального опыта на эффективность зрительного поиска. Так, сравнение авиадиспетчеров-новичков и экспертов показало, опытные эксперты сканируют ограниченное число участков дисплея и делают более длительные фиксации, в то время как новички отличаются большей вариабельностью траекторий сканирования поля [4]. Дж. Вольф с коллегами [5] выявили эффект влияния частоты встречаемости объекта на лёгкость его обнаружения и подтвердили этот эффект в исследовании на офицерах службы досмотра аэропорта. Результаты показали, что участники чаще делали ошибки, пропуская запрещённые объекты, если они редко встречались в их опыте. Несмотря на обилие разнонаправленных исследований, анализ факторов, влияющих на скорость и успешность поиска

заданного объекта в плохо структурированном поле, все ещё является актуальной задачей.

В когнитивной психологии разработаны несколько моделей зрительного поиска, однако наиболее известные теории, во-первых, придают ключевое значение анализу первичных сенсорных признаков (цвет, форма, ориентация, глубина и т. п.), и, во-вторых, не предполагают и не учитывают активного движения глаз наблюдателя в этом процессе. Так, одна из базовых моделей — теория интеграции признаков А. Трейсмана [6] объясняет процессы поиска через построение ретинотопических карт активации для каждого отдельного признака и сопоставление (или «склеивание») элементов этих карт направлением внимания на них. Фактически, модель опирается на восходящие процессы обработки зрительной информации, часть из которых происходит параллельно (построение карт активации), а часть последовательно (перенаправление пространственного внимания). Эффективность и скорость зрительного поиска в данной модели зависит от базовых характеристик стимулов и числа сенсорных характеристик, отличающих искомый стимул от остальных. Альтернативная теории интеграции признаков теория сходства [7] также основана на восходящем анализе сенсорных признаков и их группировок по степени соответствия заданным характеристикам целевого стимула. Только в модели управляемого поиска Дж. Вольфа [8], наряду с сенсорным анализом, значимую роль начинают играть нисходящие процессы, селективно усиливающие активацию карт отдельных признаков, объединяющихся, опять же, посредством процессов внимания.

Перечисленные модели используют представления о внимании, фокус которого может смещаться по некоей внутренней карте перцептивных единиц, и их анализ предполагает достаточное качество репрезентации в любом месте такой карты. Однако, сетчатка глаза неоднородна, и лишь в ограниченной области фовеа и парафовеа её

разрешение действительно велико, а фоторецепторы избирательно чувствительны к различным областям видимого спектра. Саккадические движения глаз (быстрые синхронные повороты глазных яблок) позволяют поместить проекцию некоторой области зрительного поля в центральную часть сетчатки и, тем самым, предоставляют зрительной системе возможность извлечения и обработки детальной информации о фиксируемом объекте и его ближайшем окружении [9]. При этом показано, что во время отдельной фиксации происходит глубокая обработка сенсорных данных из фовеальной области, а также первичная обработка стимулов, проецирующихся в некоторую область вокруг фовеа, называемую функциональным зрительным полем (или в ряде работ — *perceptual span*) [10].

Размеры и форма функционального зрительного поля изучались преимущественно методом движущегося окна [11]: исследовалась эффективность решения наблюдателем некоторой зрительной задачи (например, чтения, поиска, опознания объекта) в условиях ограничения его поля зрения. Размеры и форма видимой области варьировались от условия к условию. Исследования показали, что увеличение ширины окна выше определённой границы, названной границей *perceptual span*, не приводит к дальнейшему прогрессу в эффективности решения задачи. Это позволило сделать вывод о том, что в текущей обработке участвуют только стимулы, проекции которых попадают в пределы функционального зрительного поля. При этом его размеры и форма, а также глубина обработки информации зависят от характера зрительной задачи: при чтении *perceptual span* имеет горизонтально вытянутую форму и асимметрично относительно точки фиксации [12]; при зрительном поиске его форма симметрична, а размер составляет несколько угловых градусов [13]; при поиске объекта в естественной среде его ширина больше, чем при зрительном поиске в матрице случайно расположенных стимулов, а обработка может достигать семантического уровня [14, 15], однако данные о его размерах существенно разнятся и зависят от параметров зрительной сцены, от характера задачи, решаемой наблюдателем, а также от самого метода исследования.

Очевидно, что движения глаз нельзя игнорировать, исследуя процессы зрительного поиска. Движения глаз тесно связаны с процессами внимания — эта связь проявляется как, собственно, в переводе внимания с объекта на объект путём саккады, так и на этапе программирования движения [15]. При последовательном поиске с увеличением числа дистракторов растёт не только время ответа, но и число фиксаций [16]. Ограничение числа саккад приводит к значительному снижению в эффективности последовательного зрительного поиска [17]. Характеристики движений глаз во многом связаны со сложностью поисковой задачи: увеличение числа дистракторов в поле поиска приводит к увеличению длительности фиксаций и снижению амплитуды саккад [18]. Длительность фиксаций растёт также с увеличением разнообразия дистракторов, их сходства с искомой целью и с плотностью расположения стимулов на дисплее [19]. Райнер и Фишер [20] обнаружили влияние сложности поиска на размер функционального поля зрения — оно было меньше при высоком сходстве дистракторов и искомого объекта по сенсорным характеристикам.

Несмотря на то, что в отдельных современных моделях, связывающих движения глаз и зрительный поиск объекта в естественной среде [21], оба этих процесса рассма-

триваются как регулируемые не только восходящими (со стороны стимульных характеристик), но и нисходящими процессами, влияние когнитивных факторов, в частности, особенностей ментальной репрезентации целевого стимула, на характеристики поиска исследовано слабо и отражено, преимущественно в исследованиях так называемого гибридного поиска — то есть поиска объекта из заданной категории [22, 23]. Мы предполагаем, что при зрительном поиске во время фиксации первичная обработка стимулов в функциональном зрительном поле может различаться не только в зависимости от их сенсорных характеристик, но и от особенностей ментальной репрезентации искомого стимула, то есть от того, насколько хорошо наблюдатель представляет, что именно он ищет. Для целей хорошо знакомых, имеющих однозначную мало изменяющуюся визуальную репрезентацию (например, написание печатной буквы или цифры) первичное обнаружение сходной конфигурации может занимать меньше времени, а само функциональное зрительное поле иметь большие размеры, чем для целей, образ которых неточен или неоднозначен. В первом случае следует ожидать меньшие длительности фиксаций и большие амплитуды саккад при зрительном поиске, чем во втором. В данном исследовании мы попытались подобрать целевые стимулы так, чтобы они относились к разным семантическим категориям и характеризовались разной степенью сформированности визуальных репрезентаций, но при этом имели максимально сходные сенсорные характеристики (фактор, который не контролировался в других известных нам исследованиях).

Цель исследования — изучение взаимосвязи между категориями целевого стимула (различавшимися конфигурацией базовых элементов и степенью знакомости конфигурации наблюдателю) и особенностями зрительного поиска: его успешностью и характеристиками движений глаз в ходе поиска.

Материалы и методы. Испытуемые: в исследовании участвовали 13 студентов различных факультетов МГУ имени М.В. Ломоносова, однако в результате отбора на основании точности калибровки конечную выборку составили 11 человек (7 женщин и 4 мужчины) в возрасте от 20 до 23 лет ($M=21,4$; $SD=1,1$) с нормальным или скорректированным до нормального зрением.

Аппаратура. Эксперимент проводился с использованием установок для регистрации движений глаз SMI™ HiSpeed 1250 и штатного программного обеспечения. Регистрация движений глаз производилась бинокулярно с частотой 500 Гц. Встроенные штатные фильтры первичных данных, используемые SMI iViewX, были отключены. Стимульный материал предъявлялся на LED-мониторе с разрешением 1920×1080, находящемся на расстоянии 65 см от линии глаз наблюдателя. Голова наблюдателя фиксировалась штатной подставкой установки.

Стимульный материал. Для создания стимульного материала была разработана программа на языке Python. Стимульный материал представлял собой изолированные изображения целевых стимулов, а также поисковые матрицы, в которых целевой стимул находился в окружении дистракторов. И целевые стимулы, и дистракторы представляли собой однотипные черно-белые изображения, состоящие из окружности, внутри которой находились 4 прямых линии. Диаметр каждой окружности составлял 73 пк, что соответствовало примерно 1,5 углового градуса в поле зрения наблюдателя. Линии внутри окружностей формировали одну из трёх типов конфигураций:

- 1) лица-смайлики; 2) римские цифры или псевдоцифры;
- 3) случайные конфигурации (рис. 1).

Девять стимулов из набора использовались как целевые: три лица-смайлика, выражающих «нейтральное», «злое» и «грустное» состояния, три римские цифры (VII, XII, XX) и три конкретных случайных конфигурации линий (рис. 1а).

Поисковые матрицы представляли собой паттерн 14×6 стимульных изображений, расположенных с постоянным шагом в случайной последовательности (рис. 1б). Полный размер изображения составлял 1660×700 пк (30,5×13 угл. градусов). В каждой матрице присутствовало 1 целевое изображение. Для каждого целевого стимула были созданы 5 поисковых матриц, различавшихся углом наклона целевого стимула в ячейке (0, 30, 60, 300 и 330 градусов относительно исходного). Это было сделано для того, чтобы исключить влияние на поиск определённой ориентации линий в лицах-смайликах и римских цифрах. Таким образом, в эксперименте использовались 9 изображений целевых стимулов и 45 поисковых матриц (по 5 паттернов на каждый целевой стимул).

Процедура эксперимента. Перед началом записи проводилась 13-точечная стандартная калибровка. Участники, которые в течение трех последовательных процедур не смогли достичь пороговой точности калибровки (отклонение не более 0,5 углового градуса), к исследованию не допускались.

В основном эксперименте наблюдатель решал задачи визуального поиска целевого стимула среди дистракторов. В начале каждой экспериментальной пробы целевой стимул в вертикальной ориентации предьявлялся в центре экрана на 2000 мс. Далее участнику предьявлялась поисковая матрица из 84 объектов, среди которых он должен был найти целевой. Обнаружив целевой стимул, участник должен был немедленно кликнуть по кнопке мышки, а затем навести появившийся курсор на найденный объект и кликнуть повторно. После второго клика экран заполнялся случайно-точечным маскирующим изображением. Подобная процедура была создана для контроля ошибок испытуемого при выполнении заданий, позволяя подтвердить правильность решения даже при случайном смещении взгляда.

Каждый участник в ходе эксперимента выполнял 45 проб (3 типа целевых стимулов × 3 образца каждого целевого стимула × 5 углов наклона целевого стимула в поисковой матрице) в случайном порядке.

Результаты. Для каждого типа стимулов обрабатывались следующие данные: число допущенных ошибок в поиске; длительности фиксации и амплитуды саккад, осу-

ществлявшихся до момента обнаружения цели (первого клика по кнопке мышки). Из анализа были удалены артефакты записи: две отдельные записи с высокой частотой морганий; все саккады, амплитуда которых превышала 30 угловых градусов.

Успешность поиска. Анализ таблиц сопряжённости числа ошибочных и правильных ответов выявил значимое влияние типа стимула на успешность поиска ($\chi^2(2)=24,71$; $p<0,000$) (рис. 2).

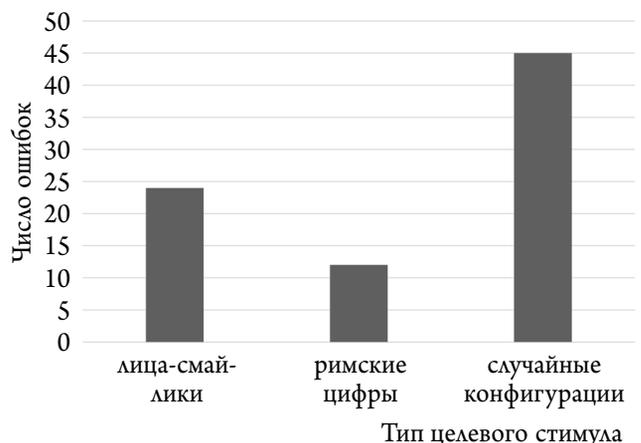


Рис. 2. Общее число ошибок поиска при трех типах целевых стимулов.

Fig. 2. Total number of search errors for three types of targets.

Характеристики движений глаз. Анализ распределения длительностей фиксации и амплитуд саккад показал, что оба распределения отличаются от нормального. Анализ индивидуальных данных с использованием непараметрического теста Краскела–Уоллиса не выявил различий между участниками исследования, что позволило в дальнейшем анализировать объединенные данные.

Тест Краскела–Уоллиса выявил значимые различия в длительности фиксации во время поиска трех разных типов целевых стимулов ($H=399,55$; $p<0,000$). Апостериорный анализ с использованием критерия Данна показал, что все три распределения значительно различаются между собой ($p<0,001$). При поиске римских цифр наблюдатели чаще делали более короткие фиксации и реже длительные (среднее значение = 195,47 мс, медиана = 180 мс). Наибольшим числом продолжительных фиксаций характеризовался поиск случайных конфигураций (среднее значение = 250,21 мс, медиана = 200 мс). Лица-смайлики занимали промежуточное положение по этому показателю (среднее

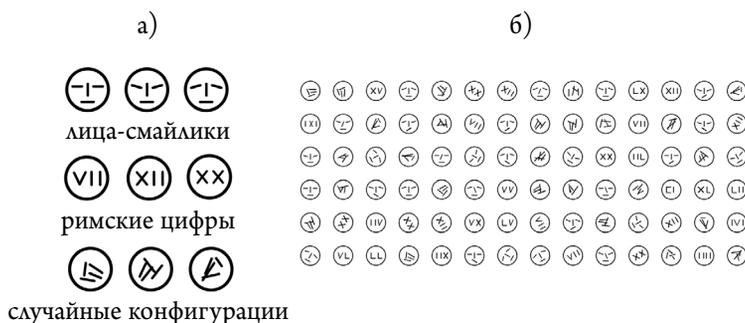


Рис. 1. а — целевые стимулы; б — пример поисковой матрицы.

Fig. 1. a — targets; b — an example of a search matrix.

значение = 226,69 мс, медиана = 192 мс) (рис. 3). Выявленные на общей выборке закономерности подтвердились при анализе индивидуальных данных каждого участника: значимые различия в длительности фиксаций в зависимости от категории целевого стимулов обнаружены у всех 11 респондентов.

Результаты обработки амплитуд саккад, осуществлявшихся во время поиска, не так однозначны. Непараметрический тест Краскела–Уоллиса выявил значимые различия по этому параметру между тремя стимульными условиями ($H=43,88$; $p<0,000$). Апостериорный анализ с использованием критерия Данна также показал, что все три распределения значимо различаются между собой ($p<0,001$): наиболее длинные саккады (среднее значение = 4,35 угловых градуса, медиана = 3,2 угловых градуса) осуществлялись при поиске римских цифр, однако эти различия хоть и значимы, но невелики (рис. 4). При этом, выявленные на об-

щей выборке закономерности при анализе индивидуальных данных подтвердились только у четырёх участников.

Обсуждение. Полученные результаты подтверждают, что зрительный поиск опирается не только на восходящие (*bottom-up*), но и на нисходящие (*top-down*) процессы обработки информации. Все целевые стимулы и стимулы-дистракторы в исследовании обладали идентичным набором сенсорных признаков (размер, цвет, контраст, форма, число внутренних отрезков, их случайный наклон) и различались лишь тем, что их элементы образовывали конфигурации, относящиеся к трём разным семантическим категориям. Можно предположить, что конфигурации случайных линий не имели сформированной визуальной ментальной репрезентации — они заучивались в ходе эксперимента и количество их предъявлений было явно недостаточно для того, чтобы хорошо запомнить и легко представить искомый объект. Конфигурации, образующие

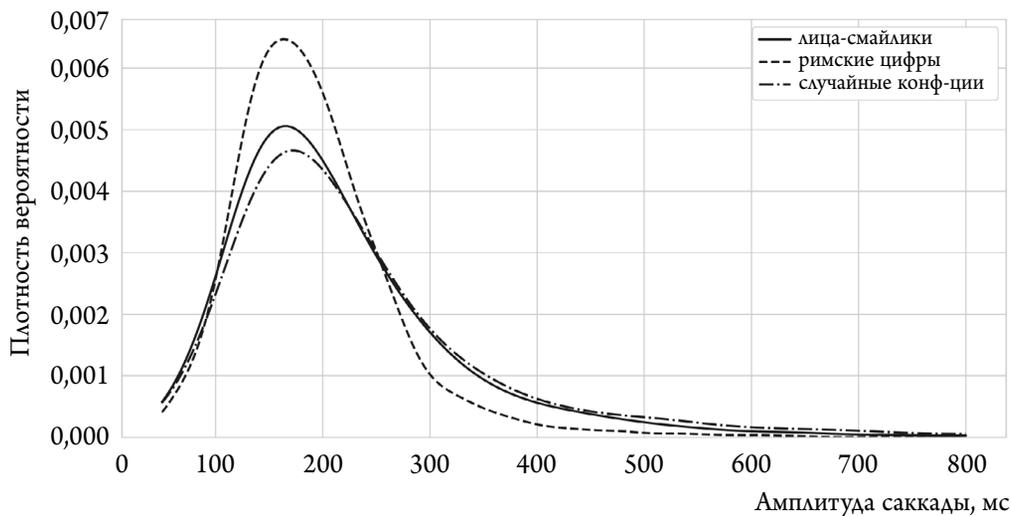


Рис. 3. Эмпирические функции плотности распределения длительности фиксаций для трех типов целевых стимулов, полученные методом ядерной оценки плотности (*Kernel Density Estimation*)

Fig. 3. Empirical distribution density functions of fixation duration for three types of targets, obtained by the method of Kernel Density Estimation

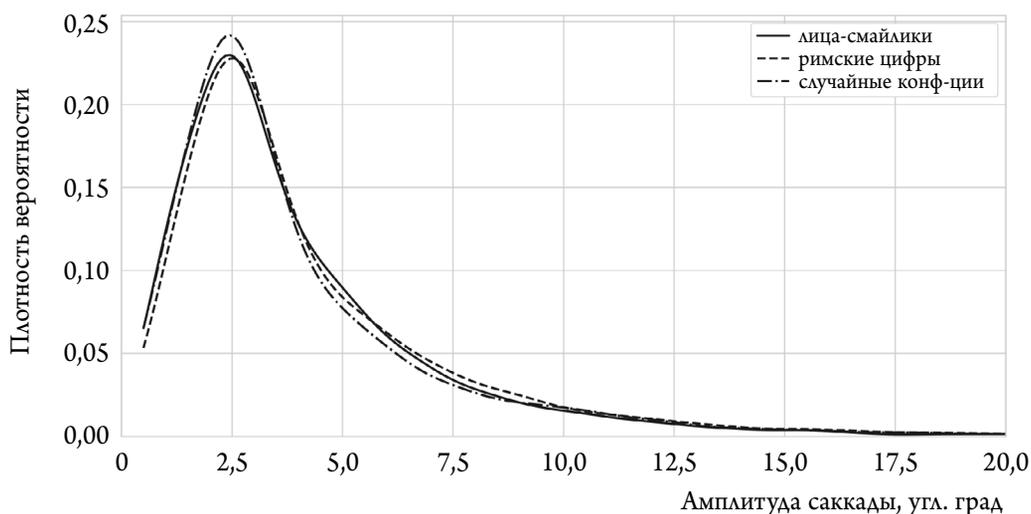


Рис. 4. Эмпирические функции плотности распределения амплитуд саккад для трех типов целевых стимулов, полученные методом ядерной оценки плотности (*Kernel Density Estimation*)

Fig. 4. Empirical distribution density functions of saccades amplitudes for three types of targets, obtained by the method of Kernel Density Estimation

лица-смайлики, напротив, легко относились к определённой хорошо знакомой семантической категории. Однако визуальная составляющая ментальной репрезентации лицевой экспрессии неоднозначна и может характеризоваться широким набором сенсорных признаков и их комбинаций — от цветной фотографии конкретного человека до абстрактного примитивного смайлика или улыбки Чеширского кота. Что же касается римских цифр, то их визуальные ментальные репрезентации и хорошо сформированы, и мало подвержены вариациям.

Полученные результаты согласуются с данными Н.С. Сеткина и О.В. Ломтатидзе [23], изучавшими гибридный зрительный поиск при семантическом предъявлении цели с использованием айтрекинга и показавшими, что при увеличении объёма искомого категории (например, найти «обувь» / найти «неодушевленный предмет») растёт средняя длительность фиксации и общее время поиска.

Мы предполагаем, что в ходе зрительного поиска во время фиксации происходит обработка информации из области функционального зрительного поля, направляемая имеющейся визуальной репрезентацией искомого объекта. Чем точнее и качественнее ментальная репрезентация, тем быстрее и по более широкой области осуществляется такая обработка. Её скорость может отражаться в длительности фиксации, а широта функционального зрительного поля может влиять на амплитуду последующих саккад, что и проявилось в полученных результатах.

Это предположение перекликается с рядом гипотез, высказываемых авторами когнитивных моделей зрительного поиска. Так, в теории сходства [7] активация той или иной перцептивной единицы зависит от её сходства с некоторым внутренним шаблоном искомого стимула, который, однако, понимается как набор сенсорных характеристик, а не репрезентация некоторого целостного объекта. В модели управляемого поиска [8] вводится понятие «имплицитного объекта», однако, предполагается, что объединение признаков в целостный образ может произойти только при направлении пространственного внимания на соответствующие сенсорные единицы.

В то же время ряд известных экспериментальных фактов указывает на первичность целостной, объектной, обработки информации в зрительном поиске: так называемый «эффект выскакивания» может наблюдаться при поиске конфигураций, образующих целостный объект [24]; элементы, входящие в состав более сложной конфигурации, ищутся быстрее, чем изолированные стимулы [25]. Наши данные о зависимости характеристик поиска от объектной категории стимула хорошо согласуются с этими фактами.

Предполагая вслед за рядом авторов [21, 26, 27], что окуломоторная активность, наряду с вниманием, является одним из основных процессов, в которых осуществляется зрительный поиск, в данном исследовании мы анализировали характеристики движений глаз наблюдателя. Известно, что в задачах зрительного поиска средняя длительность фиксации колеблется в диапазоне 180–275 мс, а средняя амплитуда саккад составляет около 3 угловых градусов [10], что хорошо согласуется с полученными нами

результатами. В отличие от других видов окуломоторной активности (например, чтения), эти характеристики при зрительном поиске имеют достаточно большой разброс. Ранее этот разброс связывали преимущественно с различиями в стимульных характеристиках: ширине поля, плотности дистракторов, числе стимульных переменных, контрасте и др. Так, чем большим числом сенсорных параметров характеризовался целевой стимул, чем больше дистракторов содержал массив, тем длиннее были фиксации и короче саккады. Увеличение контрастности стимулов приводило к снижению длительности фиксации и небольшому увеличению амплитуд саккад [28]. Эти факты позволили исследователям делать вывод о зависимости ширины функционального зрительного поля от сенсорных характеристик стимуляции. В отличие от этих работ, наши результаты позволяют связать параметры движения глаз с особенностями ментальной репрезентации искомого объекта.

Заключение. *Общая гипотеза экспериментального исследования подтвердилась частично. Выявлено влияние категории целевого стимула (лицо / цифра / случайные конфигурации) на число ошибок и ряд характеристик движения глаз при зрительном поиске.*

Больше всего ошибок испытуемые допускали при поиске случайных конфигураций, меньше — при поиске знакомых целевых стимулов с хорошо сформированной ментальной репрезентацией — лиц-смайликов и римских цифр.

На основании полученных данных можно уверенно утверждать, что движения глаз при поиске целевых стимулов разных категорий различаются длительностью фиксации, что свидетельствует о разном времени их первичной обработки в области perceptual span. При поиске хорошо знакомых и чётко определённых категорий стимулов (римских цифр) испытуемые совершали значимо более короткие фиксации, значимо более длинные фиксации характеризовали поиск наименее знакомых целевых конфигураций «случайных линий».

В отношении амплитуды саккад можно делать осторожные выводы о том, что при поиске объектов с более точной и однозначной визуальной репрезентацией имеется тенденция к увеличению числа саккад большей амплитуды.

Таким образом, можно утверждать, что на характер движений глаз и процессы первичной обработки визуального паттерна при зрительном поиске влияют не только сенсорные характеристики стимула, но и особенности ментальной репрезентации искомого объекта.

Тем не менее следует отметить ряд ограничений проведённого исследования — небольшую выборку, отсутствие контроля некоторых побочных переменных — как стимульных (в частности, особенностей самих конфигураций линий, их пересечений, локализации внутри круга), так и связанных с характеристиками участников исследования (пола, темпераментальных и когнитивных особенностей), что следует учесть в продолжении работы.

Полученные данные о влиянии сформированности и однозначности ментальной репрезентации на эффективность зрительного поиска желательно учитывать при разработке интерфейсов профессиональных программ и при обучении специалистов, чья деятельность связана с обнаружением специфических стимулов на экране монитора.

Список литературы

- Gandomkar Z., Mello-Thoms C. Visual search in breast imaging. *The British journal of radiology*. 2019; 92(1102): 20190057.
- Wolfe J.M., Lyu W., Dong J., Wu C.C. What eye tracking can tell us about how radiologists use automated breast ultrasound. *Journal of Medical Imagin*. 2022; 9(4): 045502.
- Kang Z., Bass E.J., Lee D.W. Air traffic controllers' visual scanning, aircraft selection, and comparison strategies in support of conflict detection. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*. 2014; 58(1): 77–81.
- Wang Y., Wang L., Lin S., Cong W., Xue J., Ochieng W. Effect of working experience on air traffic controller eye movement. *Engineering*. 2021; 7(4): 488–494.
- Wolfe J.M., Brunelli D.N., Rubinstein J., Horowitz T.S. Prevalence effects in newly trained airport checkpoint screeners: Trained observers miss rare targets, too. *Journal of vision*. 2013; 13(3): 33–33.
- Treisman A.M., Gelade G.A feature-integration theory of attention. *Cognitive Psychology*. 1980; 12(1): 97–136. [https://doi.org/10.1016/0010-0285\(80\)90005-5](https://doi.org/10.1016/0010-0285(80)90005-5)
- Duncan J., Humphreys G.W. Visual search and stimulus similarity. *Psychological Review*. 1989; 96(3): 433–58.
- Wolfe J.M., Cave K.R., Franzel S.L. Guided search: An alternative to the feature integration model for visual search. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*. 1989; 15(3): 419–33.
- Ярбус А.А. Роль движений глаз в процессе зрения. М.: Наука; 1965.
- Rayner K. The 35th Sir Frederick Bartlett Lecture: Eye movements and attention in reading, scene perception, and visual search. *Quarterly journal of experimental psychology*. 2009; 62(8): 1457–1506. <https://doi.org/10.1080/17470210902816461>
- McConkie G.W., Rayner K. The span of the effective stimulus during a fixation in reading. *Perception & Psychophysics*. 1975; 17: 578–86.
- Bertera J.H., Rayner K. Eye movements and the span of effective vision in visual search. *Perception & Psychophysics*. 2000; 62: 576–85.
- Saida S., Ikeda M. Useful field size for pattern perception. *Perception & Psychophysics*. 1979; 25: 119–25.
- Underwood G., Humphreys L., Cross E. Congruency, saliency and gist in the inspection of objects in natural scenes. In: Van Gompel R.P.G., Fischer M.H., Murray W.S., Hill R.L., eds. *Eye Movements*. Elsevier, 2007: 563–79. <https://doi.org/10.1016/B978-008044980-7/50028-8>
- Hunt A.R., Reuther J., Hilchey M.D., Klein R.M. The relationship between spatial attention and eye movements. In: Hodgson T., eds. *Processes of Visuospatial Attention and Working Memory*. Springer, Cham; 2019: 255–78. https://doi.org/10.1007/7854_2019_95
- Williams D.E., Reingold E.M., Moscovitch M., Behrmann M. Patterns of eye movements during parallel and serial visual search tasks. *Canadian Journal of Experimental Psychology*. 1997; 51(2): 151–64. <https://doi.org/10.1037/1196-1961.51.2.151>
- Klein R., Farrell M. Search performance without eye movements. *Perception & Psychophysics*. 1989; 46: 476–82. <https://doi.org/10.3758/BF03210863>
- Vlaskamp B.N.S., Hooge I.T.C. Crowding degrades visual search. *Vision Research*. 2006; 46: 417–25. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2005.04.006>
- Ernst D., Wolfe J.M. How fixation durations are affected by search difficulty manipulations. *Visual Cognition*. 2022; 30(5): 339–53.
- Rayner K., Fisher D.L. Letter processing during eye fixations in visual search. *Perception & Psychophysics*. 1987; 42: 87–100. <https://doi.org/10.3758/BF03211517>
- Zelinsky G.J., Chen Y., Ahn S., Adeli H. Changing perspectives on goal-directed attention control: The past, present, and future of modeling fixations during visual search. In: *Psychology of Learning and Motivation*, Vol. 73. Elsevier; 2020: 231–86. <https://doi.org/10.1016/bs.plm.2020.08.001>
- Cunningham C.A., Wolfe J.M. The role of object categories in hybrid visual and memory search. *Journal of Experimental Psychology: General*. 2014; 143(4): 1585.
- Сеткин Н.С., Ломтатидзе О.В. Гибридный зрительный поиск при семантическом предъявлении цели: пилотное исследование. *Мир педагогики и психологии*. 2019; 7(36): 89–98.
- Enns J.T., Rensink R.A. Influence of scene-based properties on visual search. *Science*. 1990, 247(4943): 721–3. <https://doi.org/10.1126/science.2300824>
- Pomerantz J.R., Sager L.C., Stoeber R.J. Perception of wholes and of their component parts: Some configural superiority effects. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*. 1977, 3(3): 422–35. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.3.3.422>
- Zelinsky G.J. A theory of eye movements during target acquisition. *Psychological Review*. 2008, 115: 787–835.
- Geisler W.S., Cormack L.K. Models of overt attention. In: Livsledge S., Gilchrist I., Everling S., eds. *The Oxford handbook of eye movements*. Oxford University Press; 2011: 439–54.
- Näsänen R., Ojanpää H., Kojo I. Effect of stimulus contrast on performance and eye movements in visual search. *Vision Research*. 2001, 41: 1817–24. [https://doi.org/10.1016/S0042-6989\(01\)00056-6](https://doi.org/10.1016/S0042-6989(01)00056-6)

References

- Gandomkar Z., Mello-Thoms C. Visual search in breast imaging. *The British journal of radiology*. 2019; 92(1102): 20190057.
- Wolfe J.M., Lyu W., Dong J., Wu C.C. What eye tracking can tell us about how radiologists use automated breast ultrasound. *Journal of Medical Imagin*. 2022; 9(4): 045502.
- Kang Z., Bass E.J., Lee D.W. Air traffic controllers' visual scanning, aircraft selection, and comparison strategies in support of conflict detection. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*. 2014; 58(1): 77–81.
- Wang Y., Wang L., Lin S., Cong W., Xue J., Ochieng W. Effect of working experience on air traffic controller eye movement. *Engineering*. 2021; 7(4): 488–494.
- Wolfe J.M., Brunelli D.N., Rubinstein J., Horowitz T.S. Prevalence effects in newly trained airport checkpoint screeners: Trained observers miss rare targets, too. *Journal of vision*. 2013; 13(3): 33–33.
- Treisman A.M., Gelade G.A feature-integration theory of attention. *Cognitive Psychology*. 1980; 12(1): 97–136. [https://doi.org/10.1016/0010-0285\(80\)90005-5](https://doi.org/10.1016/0010-0285(80)90005-5)
- Duncan J., Humphreys G.W. Visual search and stimulus similarity. *Psychological Review*. 1989; 96(3): 433–58.
- Wolfe J.M., Cave K.R., Franzel S.L. Guided search: An alternative to the feature integration model for visual search. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*. 1989; 15(3): 419–33.
- Yarbus A.L. *Role of eye movements in the visual process*. М.: Наука; 1965 (in Russian).
- Rayner K. The 35th Sir Frederick Bartlett Lecture: Eye movements and attention in reading, scene perception, and visual search. *Quarterly journal of experimental psychology*. 2009; 62(8): 1457–1506. <https://doi.org/10.1080/17470210902816461>
- McConkie G.W., Rayner K. The span of the effective stimulus during a fixation in reading. *Perception & Psychophysics*. 1975; 17: 578–586.
- Bertera J.H., Rayner K. Eye movements and the span of effective vision in visual search. *Perception & Psychophysics*. 2000; 62: 576–585.

13. Saida S., Ikeda M. Useful field size for pattern perception. *Perception & Psychophysics*. 1979; 25: 119–125.
14. Underwood G., Humphreys L., Cross E. Congruency, saliency and gist in the inspection of objects in natural scenes. In: Van Gompel R.P.G., Fischer M.H., Murray W.S., Hill R.L., eds. *Eye Movements*. Elsevier, 2007: 563–79. <https://doi.org/10.1016/B978-008044980-7/50028-8>
15. Hunt A.R., Reuther J., Hilchey M.D., Klein R.M. The relationship between spatial attention and eye movements. In: Hodgson T., eds. *Processes of Visuospatial Attention and Working Memory*. Springer, Cham; 2019: 255–78. https://doi.org/10.1007/7854_2019_95
16. Williams D.E., Reingold E.M., Moscovitch M., Behrmann M. Patterns of eye movements during parallel and serial visual search tasks. *Canadian Journal of Experimental Psychology*. 1997; 51(2): 151–164. <https://doi.org/10.1037/1196-1961.51.2.151>
17. Klein R., Farrell M. Search performance without eye movements. *Perception & Psychophysics*. 1989; 46: 476–482. <https://doi.org/10.3758/BF03210863>
18. Vlaskamp B.N.S., Hooge I.T.C. Crowding degrades visual search. *Vision Research*. 2006; 46: 417–425. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2005.04.006>
19. Ernst D., Wolfe J.M. How fixation durations are affected by search difficulty manipulations. *Visual Cognition*. 2022; 30(5): 339–53.
20. Rayner K., Fisher D.L. Letter processing during eye fixations in visual search. *Perception & Psychophysics*. 1987; 42: 87–100. <https://doi.org/10.3758/BF03211517>
21. Zelinsky G.J., Chen Y., Ahn S., Adeli H. Changing perspectives on goal-directed attention control: The past, present, and future of modeling fixations during visual search. In: *Psychology of Learning and Motivation*, Vol. 73. Elsevier; 2020: 231–286. <https://doi.org/10.1016/bs.plm.2020.08.001>
22. Cunningham C.A., Wolfe J.M. The role of object categories in hybrid visual and memory search. *Journal of Experimental Psychology: General*. 2014; 143(4): 1585.
23. Setkin N.S., Lomtadze O.V. Hybrid Spectator Search by Semantic Target: An Experimental Study. *Mir pedagogiki i psihologii*. 2019; 7(36): 89–98 (in Russian).
24. Enns J.T., Rensink R.A. Influence of scene-based properties on visual search. *Science*. 1990, 247(4943): 721–723. <https://doi.org/10.1126/science.2300824>
25. Pomerantz J.R., Sager L.C., Stoever R.J. Perception of wholes and of their component parts: Some configural superiority effects. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*. 1977, 3(3): 422–35. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.3.3.422>
26. Zelinsky G.J. A theory of eye movements during target acquisition. *Psychological Review*. 2008, 115: 787–835.
27. Geisler W.S., Cormack L.K. Models of overt attention. In: Liversedge S., Gilchrist I., Everling S., eds. *The Oxford handbook of eye movements*. Oxford University Press; 2011: 439–54.
28. Näsänen R., Ojanpää H., Kojo I. Effect of stimulus contrast on performance and eye movements in visual search. *Vision Research*. 2001, 41: 1817–24. [https://doi.org/10.1016/S0042-6989\(01\)00056-6](https://doi.org/10.1016/S0042-6989(01)00056-6)