

ЭМПИРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Научная статья
<https://doi.org/10.11621/LPJ-23-40>

УДК 159.9.072

Особенности движений глаз в задаче зрительного поиска в зависимости от вербализуемости и симметричности стимулов

А.С. Крускоп, Е.Г. Лунякова✉, В.Е. Дубровский, А.В. Гарусев

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Российская Федерация

✉eglun@mail.ru

Резюме

Актуальность. Зрительный поиск рассматривается сегодня как активный процесс, обычно реализующийся с участием движений глаз. Современные модели поиска предполагают влияние как стимульных, так и когнитивных переменных на его характеристики и эффективность. Однако в исследованиях, как правило, контролируется только один тип переменных, что требует создания новых экспериментальных парадигм, позволяющих изучать влияние обоих типов факторов и их взаимодействие.

Цель. Исследовать влияние факторов вербализуемости и симметричности целевого стимула на эффективность и скорость поиска и на характеристики поисковых движений глаз.

Методы. Созданы идентичные по базовым стимульным характеристикам (цвет, форма, размер, наклон, число элементов), но различающиеся по симметричности конфигурации и уровню вербализуемости стимулы. Использован внутригрупповой экспериментальный план. Движения глаз в процессе зрительного поиска регистрировались с помощью айтрекера SMI HiSpeed 1250.

Выборка. Суммарную выборку исследования составили 48 участников: 18 человек (10 мужчин, 8 женщин, ср. возраст — 20 лет) — на этапе оценки вербализуемости стимулов; 30 человек (6 мужчин, 24 женщины, ср. возраст — 20 лет) — на основном этапе.

Результаты. Ни один из факторов не повлиял на эффективность зрительного поиска, она была высокой. При отсутствии целевого стимула в матрице быстрее завершался поиск симметричных вербализуемых целей, самым продолжительным был поиск стимулов невербализуемых и несимметричных. Оба фактора оказывали влияние на особенности поисковых движений



глаз: поиск «простых» (симметричных и/или вербализуемых) стимулов характеризовался более короткими фиксациями и широкоамплитудными саккадами, чем поиск «сложных» целей. Дисперсионный анализ показал, что между факторами вербализуемости и симметричности нет взаимодействия. **Выводы.** Полученные результаты в целом поддерживают гипотезу о влиянии факторов симметричности и вербализуемости стимула на особенности зрительного поиска, свидетельствуя в пользу их независимого влияния на динамику поисковых движений глаз.

Ключевые слова: зрительный поиск, движения глаз, фиксации, саккады, айтрекинг, стимульная конфигурация, вербализуемость, симметричность.

Финансирование. Исследование поддержано грантом РФФ (проект № 19-18-00474-П «Уровневая организация переработки зрительной информации: системный подход»).

Для цитирования: Крускоп А.С., Лунякова Е.Г., Дубровский В.Е., Гарусев А.В. Особенности движений глаз в задаче зрительного поиска в зависимости от вербализуемости и симметричности стимулов // Вестник Московского университета. Серия 14. Психология. 2023. Т. 46, № 4. С. 88–111. <https://doi.org/10.11621/LPJ-23-40>

EMPIRICAL STUDIES

Research Article

<https://doi.org/10.11621/LPJ-23-40>

Eye Movements in the Task of Visual Search Depending on the Verbalizability and Symmetry of Stimuli

Alexander S. Kruskop, Elizaveta G. Luniakova✉,
Victor E. Doubrovski, Alexander V. Garusev

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

✉eglun@mail.ru

Abstract

Background. Visual search is considered today as an active process, usually implemented with the participation of eye movements. Modern search models assume the influence of both stimulus and cognitive variables on its characteristics and effectiveness. However, in research, as a rule, only one type of variables is controlled, which requires the creation of new experimental paradigms that allow studying the influence of both types of factors and their interaction.

Objective. Investigation of the influence of factors of verbalizability and symmetry of the target stimulus on the effectiveness and speed of its search and characteristics of search eye movements.

Methods. The created stimuli were identical in basic stimulus characteristics (color, shape, size, slope, number of elements) but differed in the symmetry of configuration and the level of verbalizability. An intragroup experimental plan was used. Eye movements were recorded in the process of visual search with the SMI HiSpeed 1250 eye tracker.

Sample. The total sample of the study consisted of 48 participants: 18 people (10 men, 8 women, average age — 20) — at the stage of assessing the verbalizability of stimuli; 30 people (6 men, 24 women, average age — 20) — at the main stage.

Results. None of the factors affected the effectiveness of visual search, it remained at a high level. In the absence of the target stimulus in the matrix, the search for symmetrical targets with verbalizability was completed faster, the search for asymmetric stimuli with low verbalizability was the slowest. Both factors influenced the features of searching eye movements: the search for “simple” (symmetrical and/or highly verbalizable) stimuli was characterized by shorter fixations and wide-amplitude saccades than the search for “complex” targets. ANOVA showed that there is no interaction between the factors of verbalizability and symmetry.

Conclusion. The results generally support the hypothesis about the influence of symmetry and verbalizability on the visual search, testifying in favor of their independent influence on the dynamics of search eye movements.

Keywords: visual search, eye movements, fixation, saccade, eye tracking, stimulus configuration, verbalizability, symmetry.

Funding. Research is supported by Russian Science Foundation Grant № 19-18-00474-П “Level organization of visual information processing: A system approach”.

For citation: Kruskop, A.S., Luniakova, E.G., Doubrovski, V.E., Garusev, A.V. (2023). Eye Movements in the Task of Visual Search Depending on the Verbalizability and Symmetry of Stimuli. *Lomonosov Psychology Journal*, 46 (4), 88–111. <https://doi.org/10.11621/LPJ-23-40>

Введение

Зрительный поиск — один из основных процессов, обеспечивающих ориентацию человека в окружающем предметном мире. Найти очки на рабочем столе, лицо друга в уличной толпе или нужную иконку на экране смартфона — типичные и ежедневно встречающиеся примеры зрительного поиска. Поскольку основу этого процесса составляют механизмы восприятия, внимания, памяти и моторной

регуляции, фактически с 1940-х гг. (Mackworth, 1948), а в особенности с 1980-х гг., на которые пришелся пик расцвета когнитивной психологии (Treisman, Gelade, 1980; Duncan, Humphreys, 1989; Wolfe, Cave, Franzel, 1989), зрительный поиск не только стал одной из наиболее удобных эмпирических задач в психологических исследованиях, но и сам выступил объектом исследования и моделирования для когнитивных психологов.

Одним из ключевых критических моментов для теорий зрительного поиска, рассматривающих внимание как фильтр, был и остается вопрос о роли в нем нисходящих (top-down) процессов (Humphreys, 2016). Так, при общем концептуальном сходстве по-разному на этот вопрос отвечают две наиболее известные и до сих пор широко распространенные теории — интеграции признаков (Treisman, Gelade, 1980; Treisman, 1988; Treisman, Sato, 1990) и управляемого поиска (Wolfe, Cave, Franzel, 1989; Wolfe, Horowitz, 2017). Обе модели предполагают два уровня обработки входящей информации: 1) «предвнимательная» параллельная обработка, завершающаяся построением карт активации признаков; 2) последовательное «склеивание» карт от элемента к элементу, происходящее через сдвиги внимания и завершающееся построением репрезентации каждого стимула («object file» (Kahneman, Treisman, Gibbs, 1992)), которая в дальнейшем сопоставляется с образом цели, хранящимся в памяти. При этом модель А. Трейсмана не предполагает какого-либо участия нисходящих процессов ни на одном из указанных этапов обработки, в то время как в модели Дж. Вольфа поиск на втором этапе выглядит более оптимальным и экономным за счет дополнительной нисходящей активации элементов, соответствующих заданной цели, на каждой карте признаков. В таком случае последовательный поиск начинается с наиболее активированных элементов, более того, разным признакам придаются разные веса в поиске, факторы контекста и прошлого опыта также позволяют ускорить процесс обнаружения искомого стимула.

Гипотезу об участии нисходящих процессов в поиске поддерживают результаты многих экспериментов. Так, еще в 1975 г. М.С. Поттер показала, что узнавание целевого стимула, заданного словом, происходит так же быстро, как стимула, заданного визуально (Potter, 1975). Конечно, это не была классическая задача зрительного поиска и речь могла идти не о стадии параллельной обработки ряда признаков, а только о сопоставлении интегрированной репрезентации («object file») с активированным элементом памяти. Тем не менее в пользу

нисходящего влияния на более ранних этапах обработки свидетельствуют исследования поиска в естественной среде, категориального (Maxfield, Stalder, Zelinsky, 2014) и гибридного (Cunningham, Wolfe, 2014) поиска, факты влияния опыта (Wolfe et al., 2013) и уровня установок (Арбекова, Гусев, 2015) на эффективность и скорость поиска и др. К сожалению, не во всех исследованиях экспериментальная процедура позволяет определить, на какой именно стадии обработки информации знания, опыт, семантика и контекст могут повлиять на динамику процесса. Кроме того, в большинстве исследований, подтверждающих нисходящую (top-down) регуляцию поиска, слабо контролируются собственно сенсорные признаки целевого объекта и дистракторов.

Вторым критическим моментом классических теорий зрительного поиска являлось представление о нем, как о процессе обработки единичного входного паттерна (сетчаточного изображения), не предполагающем изменений последнего в результате движений глаз. Подобное представление плохо согласуется с известными фактами о неоднородности сетчатки, о разном качестве «входного сигнала» и о различиях в глубине обработки информации с разных участков сетчаточного изображения. Последняя идея о том, что стимулы, попадающие на разные участки вокруг области фовеа, подвергаются обработке разной глубины, формализована в понятии функционального зрительного поля (perceptual span или functional visual field — в разных источниках). Появившись в исследованиях процессов чтения (McConkie, Rayner, 1975), это понятие постепенно ассимилирует эмпирические факты из других областей когнитивных исследований (Rayner, 2009), в том числе исследований зрительного поиска (Bertera, Rayner, 2000; Wolfe, 2021). В ее основе лежат данные о том, что искусственное ограничение поля зрения приводит к снижению эффективности изучаемого процесса (чтения, поиска и др.) лишь после того, как площадь открытой области снижается до определенных границ. Дальнейшее ее сужение ведет к нарастанию проблем и, с определенного момента — полному нарушению процесса, а увеличение не дает прироста эффективности. Область в пределах этой границы и называется функциональным зрительным полем — то есть частью зрительного паттерна, информация с которой, вероятно, используется процессами предвнимания или внимания. Характерно, что для разного типа перцептивных задач форма и размер этого участка различаются. Однако моделей, позволяющих объяснить различия в характеристиках функционального зрительного поля, как

и направленных исследований факторов, влияющих на его широту и глубину обработки информации, практически нет.

Следует отметить, что если позиции теории интеграции признаков в отношении роли движений глаз в зрительном поиске мало изменились с момента создания теории, то в работах Дж. Вольфа в последнее десятилетие этот аспект активно исследуется, в том числе — с разработкой и модификацией понятия функционального зрительного поля и методов определения его границ (Wolfe, 2021).

Таким образом, в эволюции представлений о механизмах зрительного поиска можно выделить два значимых для нашего исследования направления. Первое — акцентирующее внимание на нисходящих (top-down) процессах, в частности семантических факторах, и их влиянии на эффективность и время поиска. Второе связано с изменением представлений о роли активных движений глаз в ходе поиска (Eckstein, 2011; Zelinsky et al., 2020). Тем не менее однозначного ответа на вопросы о том, может ли семантическая информация влиять на более ранние, чем стадия распознавания, процессы в ходе поиска, и может ли это влияние выражаться в динамике движений глаз, не существует.

Наш предыдущий эксперимент (Лунякова, Крусков, Дубровский, 2023) выявил особенности поиска знакомых целевых стимулов, принадлежащих разным семантическим категориям: поиск целевых стимулов, представлявших собой римские цифры или буквы, происходил быстрее, в нем чаще встречались более длинные саккады и более короткие фиксации, чем при поиске лиц-смайликов и тем более бессмысленных изображений. Однако, зафиксировав физические параметры элементов, составляющих каждый отдельный стимул, мы не проконтролировали особенности их конфигурации, в частности симметричность и упорядоченность расположения элементов внутри стимула. Кроме того, мы использовали неравноценные семантические категории: каждая искомая цифра или буква задавала базовую категорию, в то время как лицо-смайлик скорее классифицировалось как субординатная категория, что также могло повлиять на полученный результат. Настоящая работа представляет собой продолжение и развитие ранее начатой линии исследований.

Гипотеза исследования заключалась в том, что на эффективность и скорость поиска при сходстве базовых признаков влияет фактор конфигурации стимула (симметричность) и семантический фактор (вербализуемость). Мы также предположили, что оба эти фактора окажут влияние на характеристики поисковых движений глаз:

стратегия поиска симметричных и легко вербализуемых стимулов будет характеризоваться преобладанием более коротких фиксаций и более широкоамплитудных саккад в сравнении с поиском несимметричных и слабо вербализуемых целей.

Описание хода исследования

В данной работе мы создали стимуляцию, которая при идентичности базовых стимульных характеристик (цвет, форма, размер, наклон, число элементов, составляющих каждый стимул) позволяла независимо контролировать фактор пространственной структуры (наличие/отсутствие симметрии) и семантический фактор (уровень вербализуемости). Исследование состояло из двух этапов: подготовительного и основного.

Целью подготовительного этапа был отбор стимульных образцов, соответствующих заданному уровню каждого из факторов. Если симметричность/несимметричность варьировалась при создании стимулов, то уровень вербализуемости требовал дополнительной оценки. Для этого созданные образцы стимулов предъявлялись респондентам с задачей «назвать, что изображено» и после ранжировались по однородности предложенных названий и времени задержки ответа. Образцы, составившие крайние группы, отбирались в качестве целевых стимулов для основного этапа исследования.

Основной этап исследования представлял собой серию заданий на зрительный поиск целевого стимула на экране монитора среди других сходных изображений, в ходе которого регистрировались движения глаз наблюдателя. Использовался внутрисубъектный экспериментальный план.

Методы

Аппаратура

Для регистрации движений глаз использовался айтрекер SMI HiSpeed 1250. Регистрация движений глаз производилась бинокулярно с частотой 500 Гц.

Стимуляция предъявлялась на LED-мониторе с разрешением 1920x1080, находящемся на расстоянии 65 см от линии глаз наблюдателя. Голова наблюдателя частично фиксировалась штатной подставкой установки.

Первичная обработка данных (выделение фиксаций и саккад) осуществлялась программой SMI BeGaze (длительность фиксации

не менее 50 мс, скорость саккады — не ниже 20 угл. град./с), дальнейшая — программой, написанной на языке Python версии 3.8 с использованием методов статистической обработки из библиотек `scipy`, `stats` и `statsmodels.stats`.

Стимуляция

В рамках подготовительного этапа было создано 100 однотипных монохромных черно-белых изображений, составленных из 6 прямых линий одинаковой длины со случайными углами наклона каждой линии. Было получено 43 симметричных и 57 несимметричных комбинаций. Средний размер каждого изображения составлял ок. 1,5 угл. градусов в поле зрения наблюдателя.

После этого участникам предварительного этапа исследования предъявлялись все изображения по одному в случайном порядке. В течение 5 секунд после начала демонстрации участник должен был сказать, что изображено. Вербальные реакции записывались на диктофон. Фиксировались три первых произнесенных слова. Анализировались однородность предложенных названий и время задержки ответа. Стимулы, характеризовавшиеся высокими степенью однородности названий и скоростью первой вербальной реакции, были отобраны в группу «легко вербализуемых» (далее — вербализуемых); с низкой степенью однородности названий или его отсутствием, а также с большой задержкой называния — в группу «слабо вербализуемых» (далее — невербализуемых). Для каждого типа конфигурации (симметричные/несимметричные) были отобраны по 10 вербализуемых и 10 невербализуемых образцов (примеры приведены на рис. 1). Оставшиеся 60 изображений в дальнейшем были использованы в качестве дистракторов.

Для каждого из 40 целевых стимулов была создана пара поисковых матриц (рис. 2) для позитивного (искомый стимул присутствует в матрице) и негативного (искомый стимул отсутствует в матрице) поиска. Поисковые матрицы представляли собой сетку 10×6 ячеек, случайным образом заполненную 40 отдельными стимулами: 1 целевой и 39 дистракторов — в случае матрицы позитивного поиска; 40 дистракторов — в случае негативного. Общий размер паттерна составлял около 31×13 угл. градусов в зрительном поле, при предъявлении паттерн был центрирован относительно монитора.

Для ответа испытуемого и проверки правильности поиска использовалось специальное изображение-сетка, разделенное на 12 прямоугольных участков и полностью идентичное матрице по



Рис. 1. Примеры целевых изображений каждого типа. Для вербализуемых стимулов приведены наиболее часто встречавшиеся названия

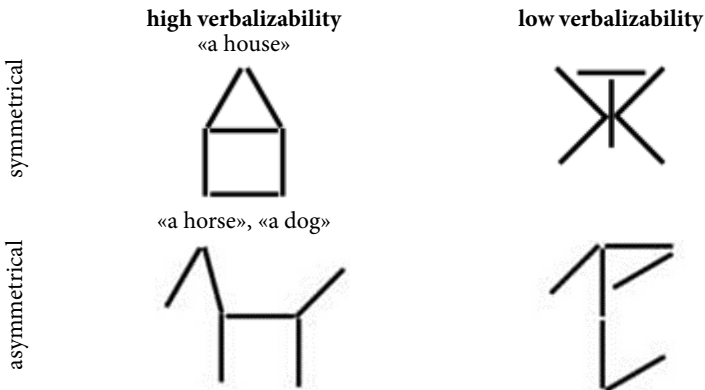


Fig. 1. Examples of target images of each type. For verbalized stimuli, the most common names are given

общим размерам (рис. 3). Внизу каждого такого изображения было добавлено слово «НЕТ» для ответов в случае негативного поиска.

Таким образом, в эксперименте использовались 40 изображений целевых стимулов и 80 поисковых матриц — по 2 паттерна (позитивного и негативного поиска) на каждый целевой стимул и соответствующие им проверочные изображения.

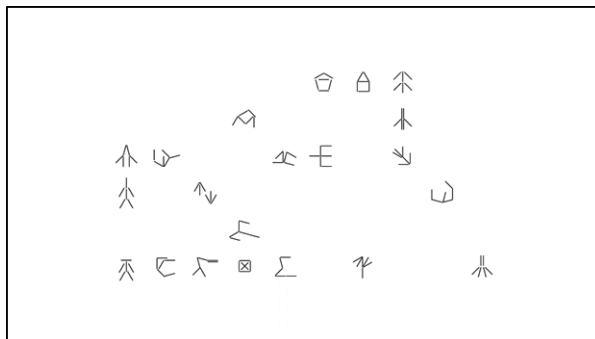


Рис. 2. Пример поисковой матрицы
Fig. 2. Example of a search matrix

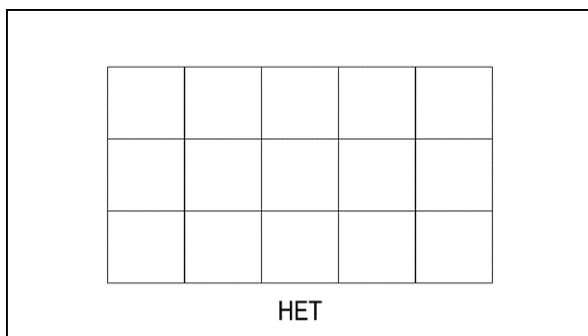


Рис. 3. Проверочное изображение для ответа и оценки точности поиска
после пробы
Fig. 3. A test image for the answer and evaluation of the accuracy of the search
after the test

Процедура основного этапа

Основному этапу эксперимента предшествовала 13-точечная стандартная калибровка айтрекера. В выборку исследования не включались участники, которые в течение трех последовательных процедур не смогли достичь удовлетворительного качества калибровки (отклонения взгляда в пределах 0,5 угл. градуса по каждой оси). Для повышения точности записи калибровка с теми же критериями повторялась в середине эксперимента.

Задачей участника в каждой экспериментальной пробе (рис. 4) был поиск эталона в поисковой матрице. В начале пробы целевой

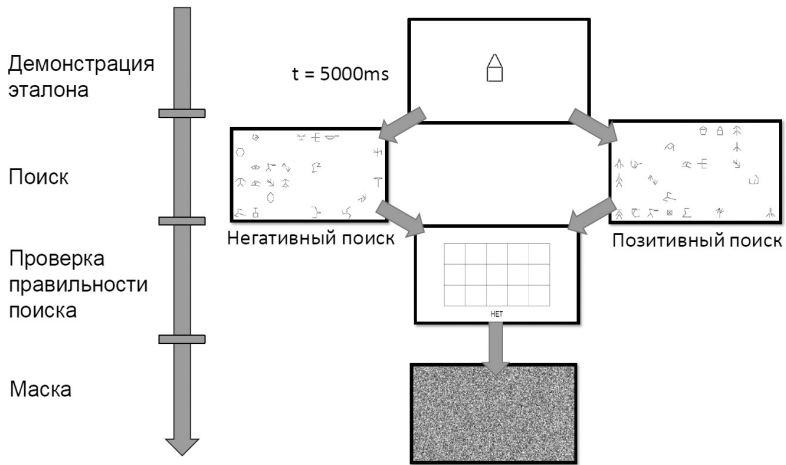


Рис. 4. Схема пробы задания на зрительный поиск

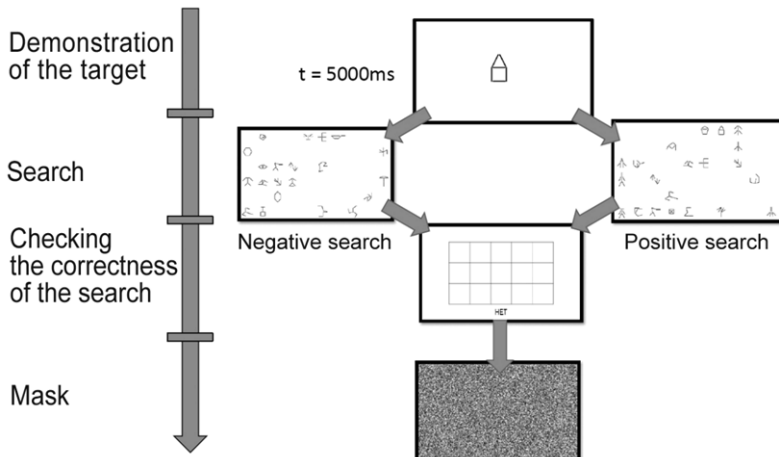


Fig. 4. The scheme of the visual search task sample

стимул (эталон) предъявлялся в центре экрана в течение 5000 мс и сменялся поисковой матрицей. Участник должен был как можно быстрее найти на ней целевой стимул или убедиться, что его нет. Сразу по готовности ответа он должен был нажать на пробел. После

этого для ответа на экран выводилось проверочное изображение-сетка и отображение курсора мыши. В случае обнаружения целевого стимула участник выбирал курсором ячейку, соответствующую области расположения эталона, и нажимал на клавишу мыши. В случае отсутствия искомого объекта, участник нажимал на слово «НЕТ» в нижней части экрана ответа. Далее экран на 500 мс заполнялся случайно-точечным маскирующим изображением, после чего начиналась следующая проба.

Перед началом основной экспериментальной сессии участнику предлагалось потренироваться на двух нерегистрируемых пробах (1 матрица позитивного и 1 матрица негативного поиска), идентичных по сути основным экспериментальным пробам, для отработки навыков ответа.

Чтобы избежать влияния запоминания стимульных конфигураций, каждому участнику один и тот же целевой стимул предъявлялся только один раз — либо в негативном, либо в позитивном поиске. Таким образом, эксперимент состоял из 40 проб (4 типа целевых стимула \times 2 типа матриц \times 5), демонстрируемых для каждого из участников в случайном порядке.

Выборка

В предварительном этапе исследования участвовало 18 человек (10 мужчин, 8 женщин, возраст $M = 20$ лет; $SD = 2,48$ года).

В основном этапе исследования конечную выборку составили 30 человек с нормальной или компенсированной до нормальной с помощью очков остротой зрения (от 0,2 до 1,0). Возраст от 18 до 26 лет ($M = 20$ лет; $SD = 2,78$ года), 6 мужчин и 24 женщины.

Все они были частично осведомлены о цели исследования и принимали в нем участие добровольно.

Результаты исследования

В работе анализировались показатели эффективности и времени поиска, а также характеристики поисковых движений глаз. Первичная обработка данных осуществлялась штатной программой айтрекера SMI BeGaze.

Эффективность зрительного поиска была оценена с использованием индекса Balanced accuracy (BA), который вычисляется как среднее между отношением числа правильных ответов в позитивных пробах (true positive — TP) к числу позитивных проб (all positive —

AP) и отношением числа правильных ответов в негативных пробах (true negative — TN) к числу негативных проб (all negative — AN) (Метрики и оценки):

$$\frac{\left(\frac{TP}{AP}\right) + \left(\frac{TN}{AN}\right)}{2}$$

Для оценки правильности поиска использовались данные о положении курсора в момент нажатия на клавишу мыши. Результаты показали, что задача оказалась простой для участников исследования, ошибок было мало: индексы ВА во всех условиях оказались выше 0,9 (табл. 1), поэтому сравнение условий по данному показателю не представляется информативным. Единственное, что можно отметить, что небольшое число ошибок, проявившихся в ответах испытуемых, составили преимущественно ложные тревоги, и больше всего их было допущено в условии, в котором целевой стимул был невербализуемым и несимметричным одновременно.

Таблица 1

Показатели эффективности зрительного поиска

Индекс	вербализуемый, симметричный	невербализуемый, симметричный	вербализуемый, несимметричный	невербализуемый, несимметричный
Balanced accuracy	0,98	0,97	0,96	0,92
Ложные тревоги, %*	0,67	2,00	5,33	9,33
Пропуски, %*	1,30	2,00	3,30	2,70

* указан процент ошибок для данного типа целевых стимулов по всей выборке

Table 1

Indicators of effectiveness in visual search

Metrics	high verbalizable, symmetrical	low verbalizable, symmetrical	high verbalizable, asymmetrical	low verbalizable, asymmetrical
Balanced accuracy	0.98	0.97	0.96	0.92
False alarms, %*	0.67	2.00	5.33	9.33
Omissions, %*	1.30	2.00	3.30	2.70

* the percentage of errors for this type of target stimuli is indicated for the entire sample

Время поиска оценивалось по интервалу от начала предъявления поисковой матрицы до нажатия на клавишу пробел (готовности ответить). Поскольку при наличии целевого стимула в матрице время его поиска случайно и может определяться как собственно сложностью задачи, так и случайным положением первых позиций взгляда относительно цели, для анализа использовалось только распределение времени поиска в пробах, где целевой стимул отсутствовал в матрице. Двухфакторный дисперсионный анализ с повторными измерениями с факторами «Симметричность» и «Вербализуемость» выявил значимое влияние обоих факторов на время поиска ($F = 50,97$; $p < 0,0001$; $F = 20,01$; $p = 0,0001$, соответственно). Однако влияние их взаимодействия оказалось не значимо ($F = 1,21$; $p = 0,2807$). Сравнение средних показало, что быстрее других осуществляется поиск хорошо вербализуемых симметричных целей ($M = 7727$ мс; $SD = 3266$), медленнее всех — несимметричных невербализуемых ($M = 10224$ мс; $SD 3648$) (рис. 5).

Для анализа характеристик движений глаз использовались показатели амплитуд саккад во время поиска и длительностей фиксации (за исключением фиксации на обнаруженном целевом стимуле).

Первичные данные каждого участника по каждому типу стимулов были усреднены, после чего выполнялся двухфакторный дисперсионный анализ с повторными измерениями с факторами «Симметричность» и «Вербализуемость». Для обеих зависимых переменных (длительности фиксации и амплитуды саккад) выявлено значимое влияние обоих факторов, при этом размер эффекта фактора «Симметричность» средний, фактора «Вербализуемость» — слабый, влияние их взаимодействия незначимо (табл. 2).

Таблица 2

Результаты двухфакторного дисперсионного анализа с повторными измерениями для длительности фиксации и амплитуды саккад, осуществляемых во время поиска

Фактор	Длительность фиксации				Амплитуда саккад			
	F	df	p-value	Eta-square	F	df	p-value	Eta-square
Симметричность	54,03	29	<0,0001	0,124	35,70	29	<0,0001	0,059
Вербализуемость	25,94	29	<0,0001	0,037	12,35	29	0,0015	0,02
Симметричность *Вербализуемость	0,86	29	0,3622		2,44	29	0,1294	

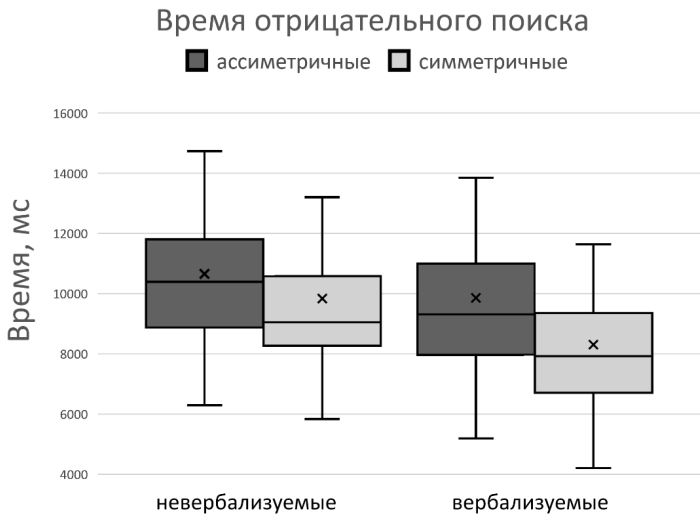


Рис. 5. Время поиска в пробах, в которых целевой стимул отсутствовал в матрице

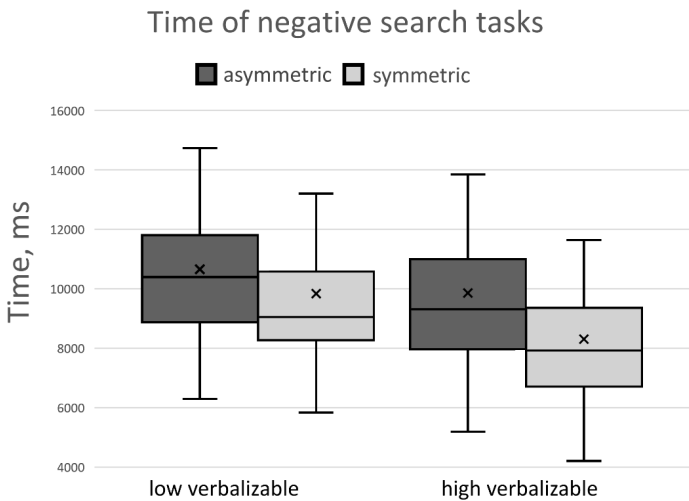


Fig. 5. The search time in the samples when the target stimulus was absent in the matrix

Table 2

Results of two-way ANOVA with repeated measurements for the duration of fixations and the amplitude of saccades performed during the search

Factor	Fixations duration				Saccades amplitude			
	F	df	p-value	Eta-square	F	df	p-value	Eta-square
Symmetry	54.03	29	<0.0001	0.124	35.70	29	<0.0001	0.059
Verbalizability	25.94	29	<0.0001	0.037	12.35	29	0.0015	0.02
Symmetry*Verbalizability	0.86	29	0.3622		2.44	29	0.1294	

Меньшей длительностью фиксаций характеризовался поиск симметричных стимулов в сравнении с несимметричными и вербализуемых в сравнении с невербализуемыми. Что касается амплитуд саккад, в ходе поиска симметричных стимулов участники осуществляли в среднем более высокоамплитудные движения, чем при поиске несимметричных, то же самое относится к вербализуемым целям в сравнении с невербализуемыми. В целом наименьшей длительностью фиксаций ($M = 180,98$ мс; $SD = 17,58$) и максимальной амплитудой саккад ($M = 5,34^\circ/c$; $SD = 0,54$) характеризовался поиск симметричных вербализуемых стимулов, самыми продолжительными фиксациями ($M = 204,00$ мс; $SD = 0,62$) и короткими саккадами ($M = 4,89^\circ/c$; $SD = 0,60$) отличался поиск стимулов несимметричных и невербализуемых (рис. 6, 7).

Обсуждение результатов

Полученные результаты в целом поддерживают гипотезу о влиянии факторов конфигурации и вербализуемости стимула на особенности зрительного поиска. Единственным неинформативным показателем оказалась точность поиска (balanced accuracy), поскольку задача эффективно решалась всеми участниками вне зависимости от экспериментального условия. Тем не менее можно предположить, что при усложнении задачи тенденция к большему числу ложных тревог при поиске несимметричных и невербализуемых стимулов проявится отчетливее, что может быть результатом трудностей сохранения точного образа целевого стимула в рабочей памяти при его сложной визуальной форме и невозможности вербального кодирования.

Что касается остальных показателей — времени, затрачиваемого участниками на отрицательный поиск, характеристик поисковых

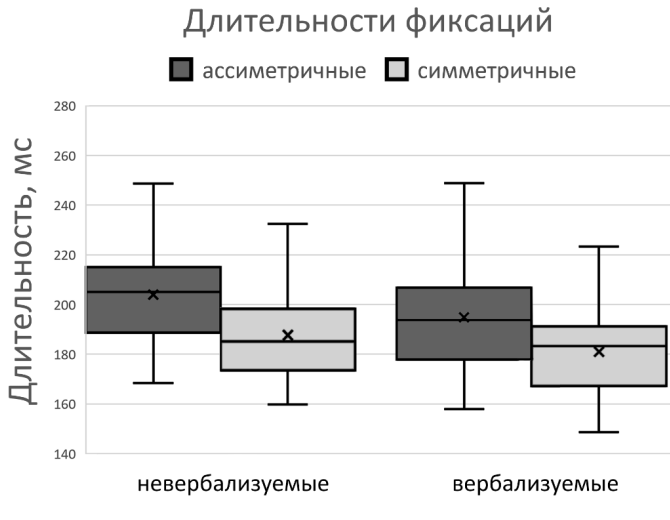


Рис. 6. Длительность фиксации во время поиска разных типов целевых стимулов

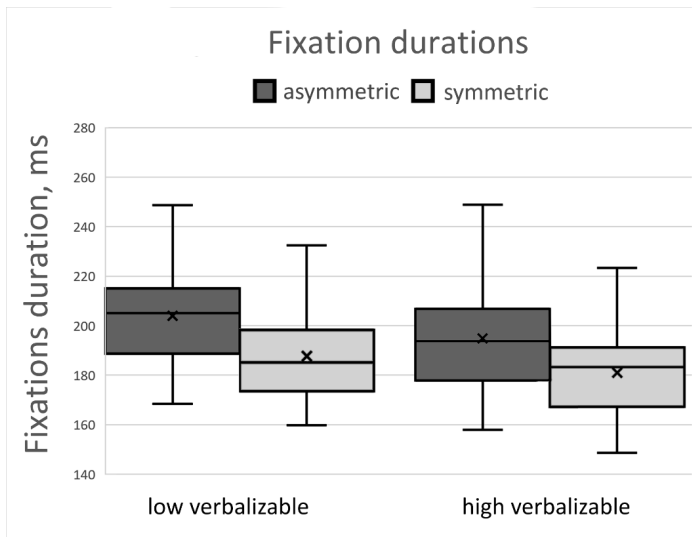


Fig. 6. Fixations duration during searching for different types of target stimuli

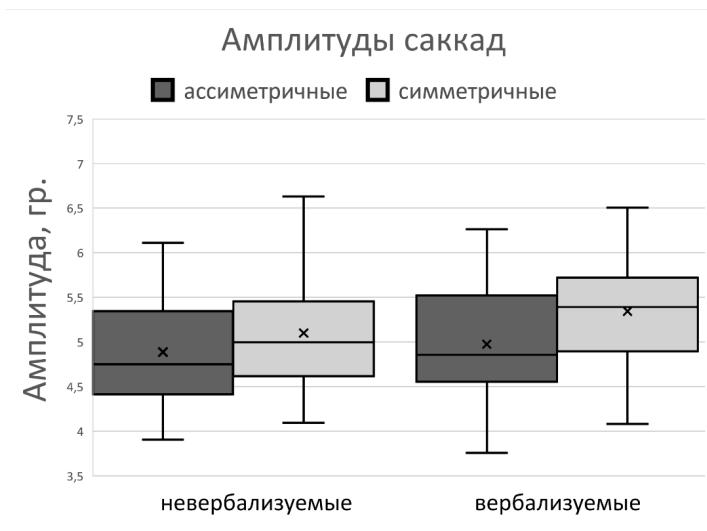


Рис. 7. Амплитуда саккад во время поиска разных типов целевых стимулов

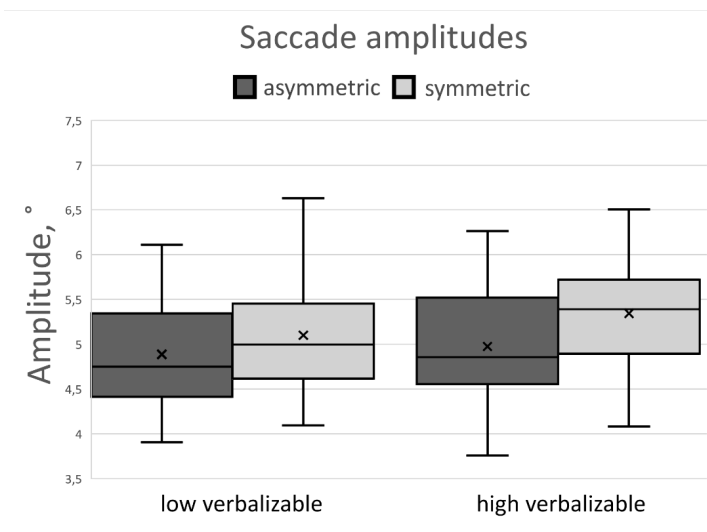


Fig. 7. Saccades amplitude during searching for different types of target stimuli

движений глаз, — то полученные результаты позволяют утверждать, что каждый из исследуемых факторов оказывает влияние на процесс зрительного поиска. Интересно, что между факторами вербализуемости и симметричности нет взаимодействия, что может свидетельствовать о независимом влиянии процессов перцептивной организации и когнитивного (семантического) уровня на динамику поисковых движений глаз.

Симметричная форма и легкость семантической категоризации стимула приводят к более быстрому поиску. При этом растет доля более коротких фиксаций и широкоамплитудных саккад, в сравнении с поиском несимметричных и невербализуемых стимулов. Тем не менее для всех типов стимулов на этапе поиска фиксации делятся преимущественно до 250 мс, а амплитуды большинства саккадических движений выше 4 угл. градусов. Такие показатели являются проявлением «низкоуровневого пространственного, или “амбьентного”, модуса зрительного восприятия» (Величковский, 2006, т. 1, с. 236), а не глубокой фокальной обработки объектов сцены, характеризующейся чередованием длительных (дольше 300 мс) фиксаций и короткоамплитудных (до 4 угл. градусов) саккад. Косвенно это может являться свидетельством того, что выявленные различия проявляются до стадии распознавания объекта. К сожалению, данный экспериментальный план не позволяет точно ответить на вопрос о том, на каком именно этапе — параллельной или последовательной обработки — сказывается влияние изучаемых факторов. Для этого необходимо было бы варьировать также число дистракторов, что сделало бы процедуру значительно более долгой и привело бы к усталости участников, неконтролируемому изменению эффективности их поиска и снижению точности результатов айтрекинга. Поэтому данный вопрос остается открытым для дальнейшего исследования. На основании полученных результатов можно утверждать лишь то, что осуществляющаяся во время отдельной фиксации первичная обработка стимулов в пределах функционального зрительного поля требует меньше времени, а само функциональное поле шире, если искомые стимулы имеют симметричную форму и/или позволяют предварительно актуализировать определенную семантическую категорию. Подобное влияние фактора симметрии вполне можно объяснить с позиций теории Дж. Вольфа о дополнительной нисходящей активации отдельных элементов на картах активации признаков: симметричность формы может трактоваться как самостоятельный признак, имеющий высокий весовой коэффициент, и потому спо-

собствующий быстрому отбору элементов, обладающих данным признаком. Что же касается фактора семантической категории, возможно, имеет смысл говорить, скорее, об укрупнении перцептивных единиц анализа (Фаликман, 2018) при поиске означенных конфигураций. Не исключено также, что такие сформированные группировки элементов могут подвергаться параллельному предвнимательному анализу (Величковский, 2006). Такая позиция подкрепляется данными, демонстрирующими эффект превосходства объекта (Weisstein, Harris, 1974). Впрочем, сравнение размера эффектов исследуемых факторов говорит в пользу большей значимости фактора конфигурации на этапах обработки, предворяющих собственно узнавание и категоризацию объекта.

Практическое применение

Полученные результаты могут оказаться ценными при разработке и модификации различного рода интерфейсов (программного обеспечения ПК, смартфонов, планшетов и пр.), в веб-дизайне, промышленном дизайне, в организации рабочих мест человека-оператора в любой сфере деятельности.

Выводы

Результаты исследования особенностей зрительного поиска стимулов, сходных по базовым признакам и различающихся симметричностью конфигурации и легкостью отнесения к определенной семантической категории (вербализуемостью), позволяют принять часть высказанных гипотез:

1) на скорость зрительного поиска независимо влияют фактор конфигурации стимула (симметричность) и семантический фактор (вербализуемость). Симметричная форма и легкость семантической категоризации цели приводят к более быстрому завершению поиска на матрицах, на которых целевой стимул отсутствует, в сравнении с несимметричной формой и слабой вербализуемостью.

2) фактор конфигурации стимула (симметричность) и семантический фактор (вербализуемость) влияют на характеристики поисковых движений глаз: при поиске симметричных и легко вербализуемых стимулов наблюдатели в среднем делают более короткие фиксации и высокоамплитудные саккады, чем при поиске несимметричных и/или слабо вербализуемых стимулов. Влияние каждого из факторов на оба параметра независимо, при этом размер эффекта фактора симметричности в обоих случаях выше.

Число ошибок, допущенных наблюдателями в ходе решения поисковой задачи, оказалось слишком малым во всех экспериментальных условиях, что не позволяет проверить гипотезу о влиянии исследуемых факторов на эффективность зрительного поиска.

Литература

Арбекова О.А., Гусев А.Н. Влияние установок разного уровня на скорость зрительного поиска // Вопросы психологии. 2015. № 4. С. 147–158.

Величковский Б.М. Когнитивная наука: Основы психологии познания. В 2 т. М.: Смысл; Издательский центр «Академия», 2006.

Луныкова Е.Г., Крускоп А.С., Дубровский В.Е. Влияние категории стимула на характеристики движений глаз при зрительном поиске // Медицина труда и промышленная экология. 2023. Т. 63, № 3. С. 163–170. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2023-63-3-163-170>

Метрики и оценки: количественная оценка качества прогнозов // Scikit learn. [Электронный ресурс] // URL: https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.metrics.balanced_accuracy_score.html (дата обращения: 20.04.2023).

Фаликман М.В. Парадоксы зрительного внимания: эффекты перцептивных задач. М.: Издательский дом «ЯСК», 2018.

Bertera, J.H., Rayner, K. (2000). Eye movements and the span of the effective stimulus in visual search. *Perception & psychophysics*, 62 (3), 576–585.

Cunningham, C.A., Wolfe, J.M. (2014). The role of object categories in hybrid visual and memory search. *Journal of Experimental Psychology: General*, 143 (4), 1585.

Duncan, J., Humphreys, G.W. (1989). Visual search and stimulus similarity. *Psychological Review*, 96 (3), 433–458.

Eckstein, M.P. (2011). Visual search: A retrospective. *Journal of vision*, 11 (5), 14–14.

Humphreys, G.W. (2016). Feature confirmation in object perception: Feature integration theory 26 years on from the Treisman Bartlett lecture. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 69 (10), 1910–1940.

Kahneman, D., Treisman, A., Gibbs, B.J. (1992). The reviewing of object files: Object-specific integration of information. *Cognitive psychology*, 24 (2), 175–219.

Mackworth, N.H. (1948). The breakdown of vigilance during prolonged visual search. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 1, 6–21. <https://doi.org/10.1080/17470214808416738>.

Maxfield, J.T., Stalder, W.D., Zelinsky, G.J. (2014). Effects of target typicality on categorical search. *Journal of Vision*, 14 (12), 1–11.

McConkie, G.W., Rayner, K. (1975). The span of the effective stimulus during a fixation in reading. *Perception & Psychophysics*, 17, 578–586.

Potter, M.C. (1975). Meaning in visual search. *Science*, 187 (4180), 965–966.

Rayner, K. (2009). The 35th Sir Frederick Bartlett Lecture: Eye movements and attention in reading, scene perception, and visual search. *Quarterly journal of experimental psychology*, 62 (8), 1457–1506.

Treisman, A. (1988). Features and objects: The fourteenth Bartlett memorial lecture. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 40A, 201–237.

Treisman, A.M., Gelade, G. (1980). A feature-integration theory of attention. *Cognitive Psychology*, 12 (1), 97–136. [https://doi.org/10.1016/0010-0285\(80\)90005-5](https://doi.org/10.1016/0010-0285(80)90005-5)

Treisman, A.M., Sato, S. (1990). Conjunction search revisited. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 16, 459–478.

Weisstein, N., Harris, C.S. (1974). Visual detection of line segments: An object-superiority effect. *Science*, 186 (4165), 752–755.

Wolfe, J.M. (2020). Forty years after feature integration theory: An introduction to the special issue in honor of the contributions of Anne Treisman. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 82, 1–6.

Wolfe, J.M. (2021). Guided Search 6.0: An updated model of visual search. *Psychonomic Bulletin & Review*, 28 (4), 1060–1092.

Wolfe, J.M., Brunelli, D.N., Rubinstein, J., Horowitz, T.S. (2013). Prevalence effects in newly trained airport checkpoint screeners: Trained observers miss rare targets, too. *Journal of Vision*, 13 (3), 33–33.

Wolfe, J.M., Cave, K.R., Franzel, S.L. (1989). Guided search: An alternative to the feature integration model for visual search. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 15 (3), 419–433.

Wolfe, J.M., Horowitz, T.S. (2017). Five factors that guide attention in visual search. *Nature Human Behaviour*, 1 (3), 1–8.

Zelinsky, G.J., Chen, Y., Ahn, S., Adeli, H. (2020). Changing perspectives on goal-directed attention control: The past, present, and future of modeling fixations during visual search. *Psychology of learning and motivation*, 73, 231–286. <https://doi.org/10.1016/bs.plm.2020.08.001>

References

Arbekova, O.A., Gusev, A.N. (2015). The influence of different level sets on the speed of visual search. *Voprosy psikhologii (Issues in Psychology)*, 4, 147–158. (In Russ.).

Bertera, J.H., Rayner, K. (2000). Eye movements and the span of the effective stimulus in visual search. *Perception & psychophysics*, 62 (3), 576–585.

Cunningham, C.A., Wolfe, J.M. (2014). The role of object categories in hybrid visual and memory search. *Journal of Experimental Psychology: General*, 143 (4), 1585.

Duncan, J., Humphreys, G.W. (1989). Visual search and stimulus similarity. *Psychological Review*, 96 (3), 433–458.

Eckstein, M.P. (2011). Visual search: A retrospective. *Journal of vision*, 11 (5), 14–14.

Falikman, M.V. (2018). Paradoxes of visual attention: effects of perceptual tasks. M.: Izdatel'skii dom "YaSK". (In Russ.).

Humphreys, G.W. (2016). Feature confirmation in object perception: Feature integration theory 26 years on from the Treisman Bartlett lecture. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 69 (10), 1910–1940.

Kahneman, D., Treisman, A., Gibbs, B.J. (1992). The reviewing of object files: Object-specific integration of information. *Cognitive Psychology*, 24 (2), 175–219.

Luniakova, E.G., Kruskop, A.S., Doubrovski, V.E. (2023). The effect of the stimulus category on the characteristics of eye movements during visual search. *Meditsina Truda i Promyshlennaya Ekologiya (Occupational Medicine and Industrial Ecology)*, 63 (3), 163–170. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2023-63-3-163-170> (In Russ.).

Mackworth, N.H. (1948). The breakdown of vigilance during prolonged visual search. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 1, 6–21. <https://doi.org/10.1080/17470214808416738>

Maxfield, J.T., Stalder, W.D., Zelinsky, G.J. (2014). Effects of target typicality on categorical search. *Journal of Vision*, 14 (12), 1–11.

McConkie, G.W., Rayner, K. (1975). The span of the effective stimulus during a fixation in reading. *Perception & Psychophysics*, 17, 578–586.

Metrics and estimates: quantifying the quality of forecasts. *Scikit learn*. (Retrieved from https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.metrics.balanced_accuracy_score.html) (review date: 20.04.2023). (In Russ.).

Potter, M.C. (1975). Meaning in visual search. *Science*, 187 (4180), 965–966.

Rayner, K. (2009). The 35th Sir Frederick Bartlett Lecture: Eye movements and attention in reading, scene perception, and visual search. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 62 (8), 1457–1506.

Treisman, A. (1988). Features and objects: The fourteenth Bartlett memorial lecture. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 40A, 201–237.

Treisman, A.M., Sato, S. (1990). Conjunction search revisited. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 16, 459–478.

Treisman, A.M., Gelade, G. (1980). A feature-integration theory of attention. *Cognitive Psychology*, 12 (1), 97–136. [https://doi.org/10.1016/0010-0285\(80\)90005-5](https://doi.org/10.1016/0010-0285(80)90005-5)
Velichkovsky, B.M. (2006). Cognitive science: Foundations of epistemic psychology. M.: Smysl; Izdatel'skii tsentr «Akademiya». (In Russ.).

Weisstein, N., Harris, C.S. (1974). Visual detection of line segments: An object-superiority effect. *Science*, 186 (4165), 752–755.

Wolfe, J.M., Brunelli, D.N., Rubinstein, J., Horowitz, T.S. (2013). Prevalence effects in newly trained airport checkpoint screeners: Trained observers miss rare targets, too. *Journal of Vision*, 13 (3), 33–33.

Wolfe, J.M., Horowitz, T.S. (2017). Five factors that guide attention in visual search. *Nature Human Behaviour*, 1 (3), 1–8.

Wolfe, J.M. (2020). Forty years after feature integration theory: An introduction to the special issue in honor of the contributions of Anne Treisman. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 82, 1–6.

Wolfe, J.M. (2021). Guided Search 6.0: An updated model of visual search. *Psychonomic Bulletin & Review*, 28 (4), 1060–1092.

Wolfe, J.M., Cave, K.R., Franzel, S.L. (1989). Guided search: An alternative to the feature integration model for visual search. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 15 (3), 419–433.

Zelinsky, G.J., Chen, Y., Ahn, S., Adeli, H. (2020). Changing perspectives on goal-directed attention control: The past, present, and future of modeling fixations during visual search. *Psychology of Learning and Motivation*, 73, 231–286. <https://doi.org/10.1016/bs.plm.2020.08.001>

Поступила: 03.10.2023

Получена после доработки: 26.10.2023

Принята в печать: 31.10.2023

Received: 03.10.2023

Revised: 26.10.2023

Accepted: 31.10.2023

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Александр Сергеевич Крускоп — аспирант лаборатории «Восприятие» факультета психологии Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, kruskop.a@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0002-0595-9221>

Елизавета Геннадьевна Лунякова — кандидат психологических наук, старший научный сотрудник лаборатории «Восприятие» факультета психологии Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, eglun@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4300-818X>

Виктор Ефимович Дубровский — научный сотрудник лаборатории «Восприятие» факультета психологии Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, vicdubr@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9173-0329>

Александр Владимирович Гарусев — научный сотрудник лаборатории «Восприятие» факультета психологии Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, percept5@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0008-2284-7364>

ABOUT THE AUTHORS

Alexander S. Kruskop — Postgraduate Student at the Laboratory of Perception, Faculty of Psychology, Lomonosov Moscow State University, kruskop.a@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0002-0595-9221>

Elizaveta G. Luniakova — Cand. Sci. (Psychology), Senior Researcher at the Laboratory of Perception, Faculty of Psychology, Lomonosov Moscow State University, eglun@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4300-818X>

Victor E. Doubrovski — Researcher at the Laboratory of Perception, Faculty of Psychology, Lomonosov Moscow State University, vicdubr@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9173-0329>

Alexander V. Garusev — Researcher at the Laboratory of Perception, Faculty of Psychology, Lomonosov Moscow State University, percept5@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0008-2284-7364>