



ЗАГРУЗКА РАБОЧЕЙ ПАМЯТИ И ПЕРЦЕПТИВНОЕ СХОДСТВО ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ЗРИТЕЛЬНОГО ПОИСКА МНОЖЕСТВЕННЫХ СТИМУЛОВ

КОЗЛОВ К.С.*, *Национальный исследовательский университет*

«Высшая школа экономики», Москва, Россия,

e-mail: kirillskozlov@gmail.com

ГОРБУНОВА Е.С.**, *Национальный исследовательский университет*

«Высшая школа экономики», Москва, Россия,

e-mail: gorbunovaes@gmail.com

Во время выполнения задачи зрительного поиска нескольких стимулов может возникнуть эффект «пропусков при продолжении поиска» (ПППП). Данный феномен заключается в том, что после успешного обнаружения первого целевого стимула второй может быть пропущен. Было проведено два эксперимента, в которых изучалось влияние загрузки рабочей памяти, сходства целевых стимулов и сходства стимулов в задачах на рабочую память и зрительный поиск на эффект «ПППП». Было выявлено, что значимое влияние имеет перцептивное сходство целевых стимулов, а также загрузка рабочей памяти при условии сходства стимулов в задачах на рабочую память и зрительный поиск. Кроме того, было обнаружено значимое взаимодействие между загрузкой рабочей памяти и числом общих признаков у двух целевых стимулов, что может говорить об общем механизме, лежащем в основе действия факторов загрузки рабочей памяти и перцептивного сходства стимулов.

Ключевые слова: зрительный поиск, пропуски при продолжении поиска, рабочая память.

Введение

Зрительный поиск — поиск целевых стимулов среди отвлекающих (дистракторов) — является одной из наиболее разработанных тем в современной когнитивной психологии, однако большая часть исследований посвящена поиску одного объекта, в то время как в реальной жизни зачастую можно столкнуться с ситуациями, в которых искомым целевым стимулом может быть несколько. С подобного рода задачами достаточно часто имеют дело рентгенологи, которые порой могут допускать различного рода ошибки. Одной из таких

Для цитаты:

Козлов К.С., Горбунова Е.С. Загрузка рабочей памяти и перцептивное сходство при решении задач зрительного поиска множественных стимулов // Экспериментальная психология. 2019. Т. 12. № 3. С. 119—134. doi:10.17759/exppsy.2019120309

* *Козлов К.С.* Стажер-исследователь лаборатории когнитивной психологии пользователя цифровых интерфейсов, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Москва, Россия. E-mail: kirillskozlov@gmail.com

** *Горбунова Е.С.* Кандидат психологических наук, заведующая лабораторией когнитивной психологии пользователя цифровых интерфейсов, доцент департамента психологии, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Москва, Россия. E-mail: gorbunovaes@gmail.com



ошибок является эффект «пропусков при продолжении поиска» (ПППП) (см. например: Cain, Mitroff, 2013), заключающийся в том, что после успешного обнаружения первого объекта второй может быть пропущен.

Стоит отметить, что эффект пропусков при продолжении поиска очень схож с эффектом «мигания внимания», наблюдаемым в условиях быстрого последовательного предъявления зрительных стимулов (Adamo, Cain, Mitroff, 2013). Оба типа ошибок заключаются в пропуске второго стимула после успешного обнаружения первого. Однако структура задач разная: в первом случае это зрительный поиск целевых стимулов в некотором пространстве, а во втором — обнаружение их в последовательно предъявляемой цепочке стимулов.

На данный момент существует три основные теории, объясняющие причины возникновения эффекта «ПППП»: теория насыщения поиска, теория перцептивной установки и теория ограниченных ресурсов внимания (Cain, Mitroff, 2013).

Первоначально, когда данный тип ошибки был зафиксирован в работе рентгенологов, он был назван эффектом «насыщения поиска» (Verbaum et al., 1990) и объяснялся тем, что как только врач находит некоторую аномалию на рентгенограмме, то будучи удовлетворенным этим он тут же прекращает поиск, даже если в поле поиска находится еще одна аномалия. Однако недавние исследования Кейна и его коллег показали, что прекращение поиска после обнаружения первой цели является причиной ошибок лишь в 6,1% случаев (Cain, Adamo, Mitroff, 2013). Таким образом, было обнаружено, что насыщение поиска не является единственной причиной ошибки, поэтому эффекту дали название, которое используется до сих пор, — эффект «пропусков при продолжении поиска».

Первые исследования возникновения пропусков при продолжении поиска в области рентгенологии также показали, что в качестве одной из причин ошибок подобного рода может выступать перцептивное сходство между двумя аномалиями на рентгенограмме. В более общем смысле это означает, что после обнаружения первой цели у субъекта возникает установка на поиск объекта, схожего с первым. Таким образом, как было показано в исследовании Бербаума, при выявлении перелома на рентгеновском снимке врач с большей вероятностью обнаружит на том же снимке второй перелом и с меньшей вероятностью опухоль (Verbaum et al., 1991). В пользу данной теории также говорят результаты исследования Е.С. Горбуновой (Gorbunova, 2017). В этом исследовании варьировалось число общих признаков у двух целевых стимулов, при этом в качестве признаков использовались цвет, форма, ориентация и размер. Целевые стимулы на дисплее могли иметь 2, 3 или 4 общих признака (в последнем случае стимулы были идентичными). С увеличением количества общих признаков у целевых стимулов в условии с наличием двух искомых объектов амплитуда эффекта «пропусков при продолжении поиска» уменьшалась, т. е. снижалось количество ошибок данного типа.

Теория ограниченных ресурсов внимания и/или рабочей памяти (истощения ресурсов) объясняет причины возникновения феномена «пропусков при продолжении поиска» ограниченным количеством ресурсов внимания и/или рабочей памяти. Согласно данной теории, у каждого человека имеется ограниченное количество некоторых когнитивных ресурсов, которые расходуются при выполнении тех или иных задач. То есть если на обнаружение первого целевого стимула человек потратит определенное количество ресурсов, то, следовательно, ресурсов, которые необходимы для обнаружения второго целевого стимула, останется меньше. Стоит отметить, что при решении задачи зрительного поиска данные ресурсы могут быть необходимы для осуществления нескольких операций. Во-первых, данные ресурсы могут быть потрачены на удержание в рабочей памяти репрезентации целевого стимула, что было показа-



но в исследованиях, в которых целевой стимул менялся в каждой пробе (Cain, Mitroff, 2013). Кроме того, ресурсы могут быть потрачены на то, чтобы закодировать в рабочей памяти уже просмотренные объекты — дистракторы или целевые стимулы, а также их положение в пространстве для того, чтобы впоследствии к ним не возвращаться, если того не предполагает поставленная задача. В пользу необходимости сохранять в рабочей памяти уже просмотренные объекты говорят результаты экспериментов исследовательской группы Вудмана, которая изучала особенности влияния степени загрузки рабочей памяти пространственной информацией на эффективность зрительного поиска (Woodman, Luck, 2004). Испытуемые выполняли три разных задачи: задачу на зрительный поиск, задачу на удержание в рабочей памяти позиций двух точек, а также задание, в котором эти задачи были совмещены. В ходе эксперимента было обнаружено, что при выполнении комбинированной задачи затрачивалось значительно больше времени для обнаружения целевого стимула или его отсутствия, нежели при выполнении задания только на поиск. Процент ошибок в комбинированном задании также возрастал, причем в данном случае на число ошибок влиял не только сам факт дополнительной задачи на поиск, но и общее число стимулов в поиске (чем больше стимулов, тем больше ошибок). Таким образом, было доказано, что загрузка пространственной рабочей памяти влияет на эффективность зрительного поиска при условии неизменного целевого стимула.

Объяснение подобным результатам может быть следующим: удержание пространственной информации в рабочей памяти задействует те же механизмы, что используются в зрительном поиске, поэтому эффективность выполнения обеих задач снижается в комбинированном условии. При этом было предположено, что функционирование объектной рабочей памяти обеспечивается иными механизмами и объектная рабочая память не оказывает существенного влияния на эффективность зрительного поиска.

Также было обнаружено, что выделение целевого стимула или исчезновение первого целевого стимула после его обнаружения уменьшает амплитуду эффекта ПППП, в то время как замена первого найденного объекта на дистрактор, наоборот, увеличивает количество ошибок данного рода. Такие данные также могут быть объяснены с помощью теории ограниченных ресурсов. В то время как в первых двух случаях выделение или исчезновение целевого стимула лишало необходимости удержания его локации в рабочей памяти, в последнем случае замена, напротив, приводила к увеличению затрат ресурсов. Более того, на эффект ПППП может влиять такой феномен, как краудинг («скучивание») (Adamo, Cain, Mitroff, 2015) Под термином «краудинг» имеется в виду скопление/локализация большого числа стимулов в одном месте или в определенном радиусе от цели, затрудняющая успешность решения перцептивной задачи. Например, во время досмотров в аэропорту анализу может подвергнуться сумка, переполненная множеством различных вещей, плотно прилегающих или накладывающихся друг на друга, что затрудняет поиск запрещенных для провоза предметов, в то время как поиск среди небольшого числа вещей, равномерно распределенных по чемодану, осуществляется значительно быстрее и легче. Тем не менее, как показали наши недавние исследования, введение дополнительной задачи на запоминание местоположений стимулов не оказывает значимого влияния на амплитуду эффекта ПППП (Горбунова, 2017; Gorbunova, Kozlov, Le, Makarov 2019), что ставит под сомнение вклад рабочей памяти как таковой в возникновение данного феномена.

Как можно заметить, ни одна из трех описанных ранее теорий не способна предоставить полное объяснение механизма возникновения эффекта «пропусков при продолжении поиска» и описывает лишь определенный тип ошибок, связанный с ними. Поэтому представители когнитивной психологии обратили внимание на ситуативные факторы, которые



могут вызывать данный эффект. Например, на амплитуду ПППП могут повлиять такие факторы, как внешнее давление (ограничение времени и денежное вознаграждение) (Fleck, Samei, Mitroff, 2010) и тревожность испытуемых (Cain, Dunsmoor, LaBar, Mitroff, 2011). Достаточно перспективным является направление исследований, в рамках которого когнитивные феномены изучаются с точки зрения индивидуальных различий. Примером может служить исследование Адамо и его коллег, направленное на изучение специфики взаимосвязи таких свойств, как бдительность и время восстановления после спада внимания в парадигме «мигания внимания», с величиной эффекта «пропусков при продолжении поиска» (Adamo, Cain, Mitroff, 2016). Как оказалось, между данными феноменами прослеживается сильная корреляционная взаимосвязь. Данные результаты могут быть рассмотрены с точки зрения теории ограниченных ресурсов; т. е. низкая бдительность (она же целевая чувствительность) и продолжительность периода спада внимания могут говорить о некотором общем сниженном количестве ресурсов внимания, что, в свою очередь, проявляется в увеличении амплитуды эффекта «пропусков при продолжении поиска».

Таким образом, ни одно из предложенных объяснений эффекта ПППП не охватывает всего спектра эмпирических данных. При этом в качестве наиболее перспективных можно назвать теорию перцептивного смещения и теорию ограниченных ресурсов рабочей памяти. Мы предлагаем некоторое промежуточное объяснение, а именно: перцептивное смещение и истощение ресурсов рабочей памяти представляют собой единый механизм возникновения эффекта «пропусков при продолжении поиска». Репрезентация первого целевого стимула, попадая в систему рабочей памяти, одновременно истощает ресурсы и вызывает перцептивное смещение (установку) по поиску сходных стимулов. Потому представляется актуальным изучение совместного влияния факторов загрузки объектной рабочей и сходства стимулов в задачах на поиск и запоминание. Если перцептивная установка и истощение ресурсов рабочей памяти представляют собой единый механизм, то при использовании в парадигме ПППП дополнительной задачи на рабочую память будет обнаружено значимое взаимодействие между этим фактором и фактором количества общих признаков у двух целевых стимулов (отражающим перцептивное сходство). Для проверки выдвинутого предположения было проведено 2 эксперимента.

Методика

Выборка

В исследовании приняли участие 36 студентов (28 — женского пола и 8 — мужского) 1–4 курсов Высшей школы экономики, в возрасте от 17 до 21 года (средний возраст — 19 лет). Половина испытуемых участвовали в первом эксперименте (14 — женского пола и 4 — мужского), другая половина (аналогично) — во втором. Все испытуемые имели нормальное или скорректированное до нормального зрение и проходили данный эксперимент впервые; таким образом, можно сказать, что они были наивными касательно *экспериментальных гипотез*.

Оборудование

Стимулы предъявлялись на экране LaCie electron 19 blue III0 (ширина = 370; высота = 280) с разрешением 1024x768. В качестве программного обеспечения использовалась программа Psychory v. 1.82.01.

Для ответа испытуемых использовалась клавиатура и стандартная мышь. В задании на зрительный поиск испытуемый нажимал левую кнопку мыши при наведении стрелки на предъявляемые на экране стимульные объекты.



Эксперимент 1

Стимульный материал

В задании на зрительный поиск целевыми стимулами являлись прямоугольники с пробелом с одной из сторон, а дистракторами — прямоугольники с разрезом с других сторон. Целевых стимулов могло быть два, один или не быть совсем (последнее условие не использовалось в статистическом анализе данных, однако было введено для соблюдения стандартной процедуры получения эффекта ПППП). В случае двух целевых стимулов варьировалось их перцептивное сходство: отсутствие общих признаков (стимулы разного цвета и размера), наличие одного общего признака (одинаковый цвет или размер) и наличие двух общих признаков (полностью идентичные стимулы). Целевые стимулы и стимулы-дистракторы могли быть белого/черного цвета и большого/маленького размера. Угловой размер маленьких стимулов составлял $0,5 \times 0,19$ угловых градусов, а больших — $0,78 \times 0,29$ угловых градусов. Оба типа стимулов предъявлялись на фоне серого цвета. В каждой новой пробе в правом верхнем и левом нижнем углах, либо в левом верхнем и правом нижнем углах появлялись 20 стимулов (по 10 в каждой части). Также важно отметить, что если в пробе присутствовало два целевых стимула, расположены они могли быть либо в одной зоне, либо в разных. Кроме того, внизу экрана находились две прямоугольных кнопки, подписанные как «ОК» и «НЕТ».

В задании на рабочую память в качестве стимульного материала выступали две геометрические фигуры, которые возникали в по разным сторонам от фиксационного креста, расположенного в самом центре экрана. В качестве стимулов выступали следующие фигуры: овал, крест, треугольник, ромб, прямоугольник, пятиугольник. Угловой размер фигур составил $0,67 \times 0,37$ угловых градуса. Примеры стимулов приведены на рис. 1.

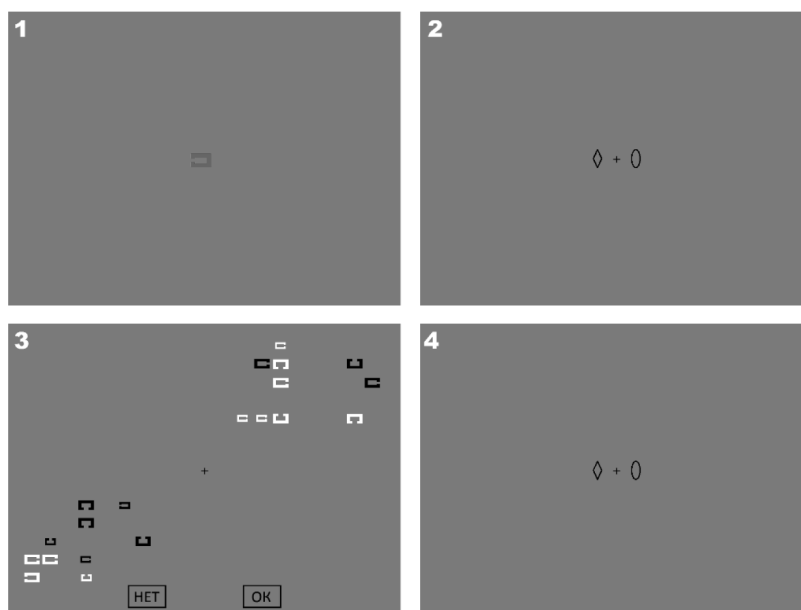


Рис. 1. Последовательность предъявления стимулов в задании на зрительный поиск с загрузкой рабочей памяти. На 1-м и 3-м изображениях показано задание на зрительный поиск, а на 2 и 4 — задание на рабочую память



Процедура эксперимента

Задание на зрительный поиск. В данном задании испытуемый должен был найти либо один стимул, либо два стимула, либо же отчитаться о том, что целевых стимулов в данной пробе не обнаружено. В каждой серии проб признаки целевого стимула варьировались; более того, в начале каждой пробы в центре экрана предьявлялся шаблон целевого стимула — тип прямоугольника, который необходимо было обнаружить, — красного цвета, размером 0,64x0,24 угловых градуса. Такие цвет и размер были выбраны, чтобы не задавать установку на поиск конкретного стимула. Если в пробе не было обнаружено целевых стимулов, испытуемый должен был два раза щелкнуть по значку «НЕТ». В случае обнаружения одного целевого стимула испытуемый сначала нажимал на сам стимул, а затем на значок с «ОК» внизу экрана. При обнаружении двух целевых стимулов испытуемый должен был последовательно нажать на каждый из них. Таким образом, за одну пробу испытуемый должен был совершить два щелчка левой кнопкой мыши. В данном задании было 160 проб (32 — на условие с отсутствием целевого стимула, 64 — на условие с одним стимулом, 64 — на условие с двумя стимулами). Последовательность предьявления проб была случайной.

Задание на рабочую память. В данном задании испытуемому одновременно в течение 500 мс предьявляли две геометрические фигуры, равноудаленные от фиксационного креста в центре экрана. Испытуемый должен был запомнить эти объекты и удерживать их в рабочей памяти в течение всей пробы. После предьявления двух объектов следовал пустой интервал длиной в 5000 мс, после чего на экране вновь возникали два объекта. Причем могли возникнуть те же два объекта, что и в первый раз (50% проб), либо же один из них мог быть заменен другой фигурой (50% проб). Таким образом, испытуемый должен был отчитаться о том, соответствуют ли объекты их первоначальному предьявлению. Данное задание испытуемый выполнял с использованием клавиш клавиатуры. В случае если ответ положительный (объекты соответствуют), испытуемый нажимал клавишу «V», в случае же отрицательного ответа — «Z». Задание на рабочую память, как и задание на зрительный поиск, состояло из 160 проб (80 проб, в которых объекты совпадали, и 80 проб, в которых они не совпадали). Последовательность предьявления проб также была случайной.

Задание с двумя типами задач. В данном задании испытуемому было необходимо выполнить обе задачи одновременно. В начале пробы в центре экрана возникал шаблон целевого стимула, затем на 500 мс появлялись два объекта. После чего на экране возникал стимульный материал для задачи зрительного поиска. Как только испытуемый щелкал мышкой второй раз, на экране вновь появлялись два объекта из задачи на рабочую память, и испытуемому необходимо было определить, соответствуют ли они двум ранее предьявленным объектам. Во всех типах задач испытуемому давалась дополнительная задача на артикуляторное подавление (проговаривание слога «ба»), чтобы избежать вербального кодирования предьявляемых стимулов.

Результаты

Полученные результаты были проанализированы в SPSS, версия 22.0. Для анализа всех типов данных был использован дисперсионный анализ с повторными измерениями. Результаты представлены в графической форме на рис. 2—4.

Процент правильных ответов в задании на зрительный поиск. Полученные в ходе эксперимента данные (% правильных ответов в задании на зрительных поиск) были обработаны с помощью метода дисперсионного анализа с повторными измерениями. В качестве



факторов выступили: тип целевого стимула (4 уровня — два стимула с двумя общими признаками, два стимула с одним общим признаком, два стимула с отсутствием общих признаков, один стимул) и загрузка рабочей памяти (наличие или отсутствие дополнительной задачи). Результаты теста сферичности Моучли не подтвердили предположение о сферичности данных. Было выявлено, что в задаче на зрительный поиск процент правильных ответов зависит от числа общих признаков у двух целевых стимулов ($F(3,51) = 8,819$; $p = 0,000$; $\eta^2 = 0,342$). Взаимосвязь показателей загрузки рабочей памяти и числа общих признаков также не демонстрирует статистической значимости ($F(1,17) = 0,521$; $p = 0,48$; $\eta^2 = 0,03$ и $F(3,51) = 1,005$; $p = 0,398$; $\eta^2 = 0,056$ соответственно). Кроме того, были проведены попарные сравнения для разных уровней фактора числа общих признаков между целевыми стимулами с применением поправки на множественные сравнения Бонферрони. Были выявлены значимые различия между условием с двумя стимулами без общих признаков и условием с двумя целевыми стимулами с двумя общими признаками ($p = 0,000$), а также между условием с двумя стимулами с отсутствием общих признаков и условием с одним стимулом ($p = 0,002$).

Время первого щелчка мышью. Данные о времени реакции были также обработаны с помощью дисперсионного анализа с повторными измерениями. В качестве факторов выступили тип целевого стимула (с теми же 4 уровнями) и загрузка рабочей памяти. Поскольку анализ влияния фактора количества общих признаков на успешность обнаружения стимульных объектов, а также взаимосвязь данного фактора с фактором загрузки рабочей памяти подтверждают предположение о сферичности ($p = 0,007$ и $p = 0,016$ соответственно), то к анализу этих параметров была применена поправка Гринхауса—Гейссера. Результаты проведенного анализа свидетельствуют о том, что на статистически значимом уровне находится взаимосвязь фактора числа стимулов и общих признаков между ними ($F(3,51) = 22,972$; $p = 0,000$; $\eta^2 = 0,575$). Показатели влияния фактора загрузки рабочей памяти, а также взаимодействие факторов находятся на статистически незначимом уровне ($F(1,17) = 0,399$; $p = 0,536$; $\eta^2 = 0,023$ и $F(3,51) = 0,785$; $p = 0,508$; $\eta^2 = 0,044$ соответственно). Попарные сравнения показали, что значительная разница наблюдается между условием с одним целевым стимулом и двумя стимулами с 2, 1, 0 общими признаками (во всех случаях $p = 0,000$).

Время второго щелчка мышью. Проведенный анализ данных не подтверждает предположение о сферичности. При этом было обнаружено, что на время поиска значимое влияние оказали фактор числа стимулов и сходств между ними ($F(3,51) = 18,483$; $p = 0,000$; $\eta^2 = 0,521$) и взаимодействие между факторами ($F(3,51) = 7,256$; $p = 0,000$; $\eta^2 = 0,299$). Фактор загрузки рабочей памяти оказался статистически незначим ($F(1,17) = 0,011$; $p = 0,919$; $\eta^2 = 0,001$). Как и в случае с одним щелчком мышью, попарные сравнения с поправкой Бонферрони показали значимые различия лишь между показателями точности в условиях с одним целевым стимулом и двумя стимулами с 2, 1, 0 общими признаками (0,000; 0,001 и 0,003 соответственно).

Процент правильных ответов в задании на рабочую память. В данном случае мы анализировали влияние фактора дополнительной задачи на успешность зрительного поиска (5 уровней: отсутствие задачи на зрительный поиск, поиск двух стимулов с двумя общими признаками, поиск двух стимулов с одним общим признаком, поиск двух стимулов с отсутствием общих признаков и поиск одного стимула). Результаты анализа данных на основании теста сферичности Моучли опровергают предположение о сферичности данных.



Фактор дополнительной задачи на зрительный поиск оказался статистически значимым ($F(4,68) = 2,989$; $p = 0,025$; $\eta^2 = 0,150$). Кроме того, мы использовали попарные сравнения Бонферрони и обнаружили значимое различие между условием с заданием только на запоминание стимула и с комбинированной задачей с одним целевым стимулом ($p = 0,016$).

Обсуждение

Полученные нами данные говорят о том, что число стимулов и общих признаков между ними оказывает влияние на точность поиска. Более того, в условии с полностью идентичными стимулами был выявлен процент ошибок, величина которого близка к величине процента ошибок в условии с распознаванием единичного стимула. Таким образом, наши данные соответствуют полученным результатам в экспериментах Бербаума и Горбуновой. Однако в нашем случае разница оказалась бинарной, т. е. она наблюдалась лишь между условиями с полностью идентичными и не имеющими ни одного общего признака стимулами. Такая закономерность в точности поиска может объясняться либо введением дополнительной задачи, либо строгостью применяемых поправок на множественные сравнения.

Фактор числа стимулов и общих признаков между ними демонстрирует существенное влияние как на точность поиска, так и на скорость первого щелчка. Если быть точнее, то значимым в данном случае было лишь число стимулов (один или два), в то время как число общих признаков между стимулами не оказало влияния на скорость осуществления первого щелчка мышью, что также согласуется с результатами прошлых исследований.

В данном случае число стимулов и общих признаков между ними тоже было значимым, а разница наблюдалась между условиями с одним и двумя стимулами. Однако результаты анализа указывают на тот факт, что именно взаимодействие двух факторов оказывает влияние на скорость осуществления щелчка мышью.

Как мы видим, дополнительная задача на зрительный поиск значительно повлияла на точность выполнения задания на рабочую память, в особенности в условии с одним целевым стимулом, что связано в первую очередь со временем удержания стимулов в рабочей памяти. То есть при выполнении дополнительного задания на зрительный поиск испытуемым приходилось удерживать стимулы в рабочей памяти значительно дольше, чем при выполнении только задания на удержание стимулов в памяти в течение 5 секунд.

Полученные данные свидетельствуют о наличии влияния взаимодействия факторов числа стимулов и общих признаков и параметров загрузки рабочей памяти лишь на скорость осуществления второго щелчка мышью, но не на точность поиска. Исследовательская группа Вудмана обнаружила, что в случае загрузки рабочей памяти эффективность зрительного поиска одного стимула во многом зависит от типа предъявляемых стимулов (Woodman, Vogel, Luck, 2001). Потому задача следующего эксперимента заключалась именно в оценке влияния типа предъявляемого стимула на точность и время поиска двух стимулов.

Эксперимент 2

Стимульный материал и последовательность предъявления стимулов

В задании на зрительный поиск были задействованы те же стимулы, что и в эксперименте 1. В задании на рабочую память испытуемым приходилось удерживать не две фигуры как в первом эксперименте, а два прямоугольника с разрезом с одной из сторон. Угловой размер маленьких стимулов составлял $0,5 \times 0,19$ угловых градусов, а больших — $0,78 \times 0,29$ угловых градусов. Типы задач, количество проб, последовательность предъяв-



ления стимулов, инструкция и способ ответа испытуемого были идентичными эксперименту 1.

Результаты

Анализ данных проводился тем же методом, который использовался нами в первом эксперименте. Результаты представлены в графической форме на рис. 2–4.

Процент правильных ответов в задании на зрительный поиск. Анализ данных на основании теста сферичности Моучли подтвердил предположение о сферичности факторов загрузки рабочей памяти и количества общих признаков у двух целевых стимулов на точность поиска стимулов ($W = 0,312$; $p = 0,003$), поэтому была использована поправка Гринхауса—Гейссера. В задаче на зрительный поиск было выявлено значимое влияние фактора загрузки рабочей памяти ($F(1,17) = 5,134$; $p = 0,037$; $\eta^2 = 0,232$) и число общих признаков между стимулами ($F(3,51) = 7,938$; $p = 0,000$; $\eta^2 = 0,318$) на процент правильных ответов. Показатель взаимодействия двух этих факторов оказался незначимым ($F(3,51) = 3,270$; $p = 0,06$; $\eta^2 = 0,161$). Также были проведены попарные сравнения с поправкой Бонферрони. Были выявлены значимые различия между показателями точности зрительного поиска в условиях с двумя общими стимулами с двумя общими признаками и условиях с двумя общими признаками с 1 и 0 общими признаками ($p = 0,028$ и $p = 0,046$ соответственно). Кроме того, условие с одним стимулом тоже имеет значимые различия в точности зрительного с условиями с двумя стимулами с 1 и 0 общими признаками ($p = 0,023$ и $p = 0,017$ соответственно).

Время первого щелчка мышью. Анализ фактора числа стимулов и количества общих признаков между ними подтверждает предположение о сферичности ($W = 0,269$; $p = 0,001$), потому к нему была применена поправка Гринхауса—Гейссера. Показатели факторов загрузки рабочей памяти и числа стимулов находятся на статистически значимом уровне ($F(1,17) = 7,949$; $p = 0,012$; $\eta^2 = 0,319$ и $F(3,51) = 12,378$; $p = 0,000$; $\eta^2 = 0,421$ соответственно). При этом показатели их взаимодействия не обнаруживают статистически значимых величин ($F(3,51) = 0,667$; $p = 0,576$; $\eta^2 = 0,038$). Попарные сравнения с поправкой Бонферрони показали значимые различия между показателями точности в условиях с одним целевым стимулом и с двумя стимулами с 2, 1, 0 общими признаками ($p = 0,003$; $p = 0,000$; $p = 0,000$ соответственно).

Время второго щелчка мышью. Анализ данных на основании теста сферичности Моучли подтверждают предположение о сферичности, как фактора числа стимулов, так и его взаимодействия с фактором загрузки рабочей памяти ($W = 0,438$; $p = 0,024$ и $W = 0,468$; $p = 0,036$). Количество целевых стимулов и количество сходств между ними оказало значимое влияние на скорость осуществления второго щелчка мышью ($F(3,51) = 14,936$; $p = 0,000$; $\eta^2 = 0,468$). Показатели загрузки рабочей памяти и взаимодействия факторов не обнаруживают статистически значимых величин ($F(1,17) = 2,686$; $p = 0,12$; $\eta^2 = 0,136$ и $F(3,51) = 0,418$; $p = 0,741$; $\eta^2 = 0,024$ соответственно). Попарные сравнения показали значимые различия в показателях точности поиска в условиях с одним стимулом и двумя стимулами с 2, 1, 0 общими признаками ($p = 0,00$; $p = 0,00$ и $p = 0,023$ соответственно).

Процент правильных ответов в задании на рабочую память. Анализ данных на основании теста Моучли подтвердил предположение о сферичности данных ($W = 0,307$; $p = 0,034$), поэтому была использована поправка Гринхауса—Гейссера. Дополнительная задача на зрительный поиск оказала значимое влияние на процент правильных ответов в задании на рабочую память ($F(4,68) = 6,541$; $p = 0,002$; $\eta^2 = 0,278$). Кроме того, мы использовали попарные сравнения Бонферрони и обнаружили значимые различия между пока-



зателями точности поиска в условиях с отсутствием дополнительной задачи на поиск и ее наличием с одним целевым стимулом ($p = 0,001$). Кроме того, точность поиска стимула в условии с одним стимулом существенно отличалась от точности поиска в условии с двумя целевыми стимулами с двумя общими признаками ($p = 0,024$).

Обсуждение

Полученные во втором эксперименте данные свидетельствуют о том, что оба фактора — загрузка РП и количество общих признаков — влияют на точность поиска по отдельности. Показатели взаимодействия факторов находятся на статистически незначимом уровне, однако близки к таковому ($p = ,06$), в связи с чем вопрос об общем механизме перцептивной установки и истощения ресурсов остается открытым. При этом наблюдается разница между показателями точности в условиях с двумя стимулами с 0, 1, 2 общими признаками, что соответствует полученным ранее данным. Как и на процент правильных ответов, на скорость первого щелчка мышью повлияли оба фактора по отдельности. Как и предполагалось, разница наблюдалась лишь в условиях с одним и двумя стимулами. На скорость второго щелчка мышью, как и в первом эксперименте, повлияли фактор количества стимулов и его взаимодействие с фактором загрузки РП. Хотя показатели влияния фактора загрузки РП находятся на статистически незначимом уровне, различия наблюдались лишь в показателях точности распознавания стимулов в условиях с одним и двумя стимулами. Было выявлено, что на процент правильных ответов в задании на удержание в рабочей памяти стимулов, схожих со стимулами в задании на ЗП, тоже может повлиять фактор наличия дополнительной задачи на ЗП. Более того, результаты свидетельствуют о большем количестве правильных ответов испытуемых в условии с двумя идентичными стимулами, чем в условии с одним стимулом, что, скорее всего, связано со временем удержания в рабочей памяти стимулов, на которое в свою очередь влияло число целевых стимулов на экране.

Сравнение экспериментов

Процент правильных ответов в задании на зрительный поиск. Было произведено сравнение двух экспериментов, позволяющее изучить влияние трех факторов на эффективность зрительного поиска: загрузки рабочей памяти (наличие или отсутствие дополнительной задачи на загрузку РП), типа информации для загрузки рабочей памяти (несхожая/схожая со стимулами в задании на поиск, т. е. геометрические фигуры/ прямоугольники с разрезом) и типа стимула (4 уровня — два стимула с двумя общими признаками, два стимула с одним общим признаком, два стимула с отсутствием общих признаков, один стимул). Полученные данные о взаимодействии трех факторов показали значимое отклонение от сферичной модели для взаимодействия второго порядка ($W < 0,00$), поэтому в данном случае была использована поправка Гринхауса—Гейссера. Было выявлено незначимое влияние факторов типа стимула ($F(1,17) = 0,398$; $p = 0,537$; $\eta^2 = 0,023$) и загрузки рабочей памяти ($F(1,17) = 3,931$; $p = 0,064$; $\eta^2 = 0,188$). Показатели влияния фактора числа стимулов находятся на статистически значимом уровне ($F(3,51) = 16,513$; $p = 0,000$; $\eta^2 = 0,493$). Показатели взаимодействия между факторами загрузки рабочей памяти и числом стимулов также находятся на статистически значимом уровне ($F(3,51) = 4,667$; $p = 0,006$; $\eta^2 = 0,215$). При этом показатели взаимодействия типа стимулов для загрузки рабочей памяти с другими факторами находятся на статистически незначимом уровне, как и показатели взаимодействия трех факторов ($F(3,51) = 0,709$; $p = 0,475$; $\eta^2 = 0,04$). Кроме того, были обнаружены значимые различия в точности



распознавания стимула между условием с поиском двух идентичных стимулов и условиями с двумя стимулами с одним общим признаком ($p = 0,003$) и их отсутствием ($p = 0,001$). В показателях точности поиска между условием с одним целевым стимулом и условиями с двумя стимулами с одним общим признаком и их отсутствием были также обнаружены значимые различия ($p = 0,000$ и $p = 0,001$ соответственно).

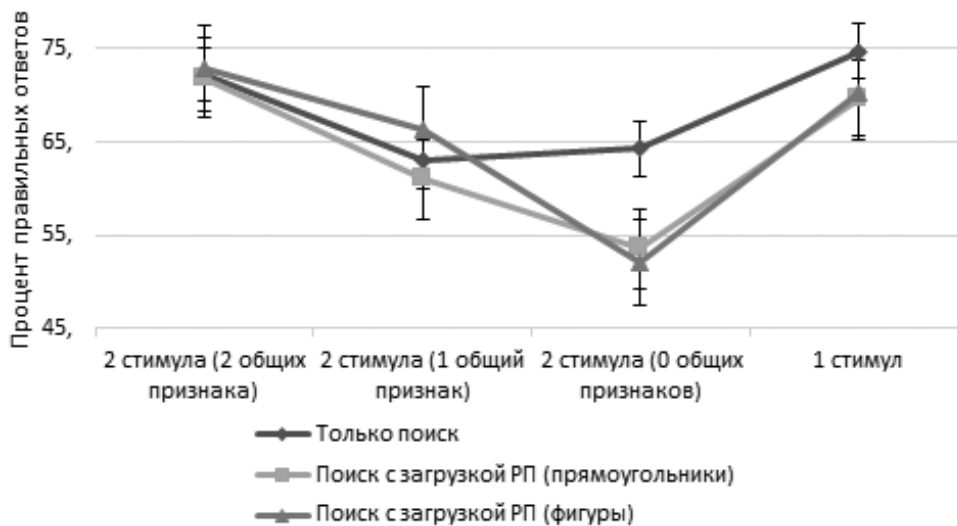


Рис. 2. Процент верных ответов в задаче на зрительный поиск (для условий только со зрительным поиском и с комбинированной задачей «зрительный поиск + рабочая память» в обоих экспериментах). Столбики ошибок отражают стандартные ошибки среднего

Время первого щелчка мышью. В ходе проверки данных на основании теста сферичности Муучли было подтверждено предположение о сферичности фактора числа стимулов, а также его взаимодействия с факторами загрузки рабочей памяти и типом стимулов для загрузки ($W = 0,407$; $p = 0,015$; $W = 0,191$; $p = 0,000$ и $W = 0,485$; $p = 0,045$), поэтому к ним была применена поправка Гринхауса—Гейссера. Различия между типами стимула для загрузки рабочей памяти находятся на статистически незначимом уровне ($F(1,17) = 0,619$; $p = 0,442$; $\eta^2 = 0,035$), в то время как показатели влияния фактора загрузки РП и фактора числа стимулов и общих признаков оказались на статистически значимом уровне ($F(1,17) = 7,287$; $p = 0,015$; $\eta^2 = 0,300$ и $F(3,51) = 33,391$; $p = 0,000$; $\eta^2 = 0,663$). При этом не было обнаружено значимого влияния на точность поиска целевых стимулов взаимодействия между тремя факторами: между типом стимулов и загрузкой РП ($F(1,17) = 1,395$; $p = 0,254$; $\eta^2 = 0,076$), между типом стимулов в задаче на РП и числом стимулов для поиска ($F(3,51) = 1,401$; $p = 0,253$; $\eta^2 = 0,076$), а также числом стимулов и загрузкой РП ($F(3,51) = 0,875$; $p = 0,46$; $\eta^2 = 0,049$). Показатели взаимодействия трех факторов не обнаружили статистически значимых различий ($F(3,51) = 0,476$; $p = 0,7$; $\eta^2 = 0,027$). Парные сравнения Бонферрони показали, что различия между условиями с одним стимулом и двумя целевыми стимулами с 0, 1, 2 общими признаками являются значимыми ($p = 0,000$ во всех случаях).

Время второго щелчка мышью. Результаты оценки взаимодействия между факторами загрузки РП и числом стимулов подтверждают предположение о сферичности ($W = 0,486$; $p = 0,046$), поэтому была применена поправка Гринхауса—Гейссера. Показатели влияния

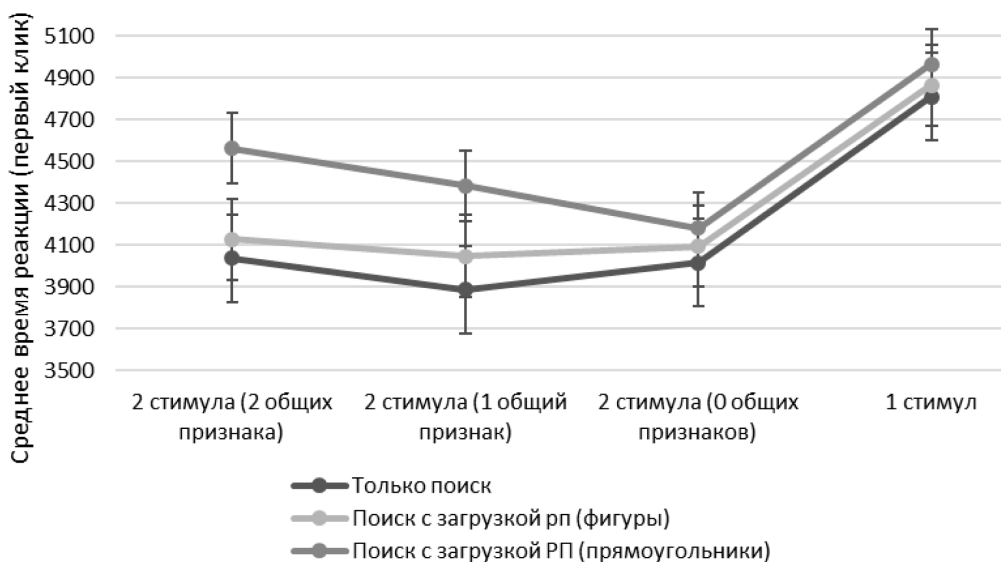


Рис. 3. Среднее время реакции (первый клик мышкой) в задаче на зрительный поиск (для условий только со зрительным поиском и с комбинированной задачей «зрительный поиск + рабочая память»). Столбики ошибок отражают стандартные ошибки среднего

факторов типа стимулов и загрузки РП находятся на статистически незначимом уровне ($F(1,17) = 0,163$; $p = 0,691$; $\eta^2 = 0,010$ и $F(1,17) = 1,372$; $p = 0,258$; $\eta^2 = 0,075$). Число стимулов и общих признаков имело значимое влияние на время второго щелчка мышью ($F(3,51) = 45,497$; $p = 0,000$; $\eta^2 = 0,728$). Как и в случае одного щелчка попарное сравнение показателей взаимодействия между факторами не выявило значимых различий ($F(1,17) = 2,241$; $p = 0,153$; $\eta^2 = 0,116$; $F(3,51) = 0,105$; $p = 0,957$; $\eta^2 = 0,006$; $F(3,51) = 2,216$; $p = 0,122$; $\eta^2 = 0,115$). Показатели взаимодействия трех факторов также не обнаруживают статистически значимых различий ($F(3,51) = 1,478$; $p = 0,231$; $\eta^2 = 0,080$). Попарные сравнения Бонферрони показали, что различия в показателях успешности поиска при условии с одним стимулом и двумя целевыми стимулами с 0, 1, 2 общими признаками являются значимыми ($p = 0,000$ во всех случаях).

Общее обсуждение результатов

В ходе нашего исследования мы обнаружили, что загрузка рабочей памяти оказывает влияние на точность выполнения задания на зрительный поиск, но лишь в том случае, когда рабочая память загружена информацией, схожей со стимульным материалом (эксперимент 2). Данный факт может быть объяснен с позиции теории ограниченных ресурсов внимания. Ресурсы внимания людей ограничены. Поэтому дополнительная задача на загрузку рабочей памяти отнимает некое число ресурсов, оставляя меньшее их количество для выполнения зрительного поиска. В свою очередь, некоторое количество ресурсов будет затрачено на обнаружение первого стимула, таким образом, ресурсов внимания для поиска второго целевого стимула останется критически мало. Кроме того, на различение целевого стимула и стимулов, которые нужно удерживать в памяти, также затрачивается некоторое количество ресурсов внимания.

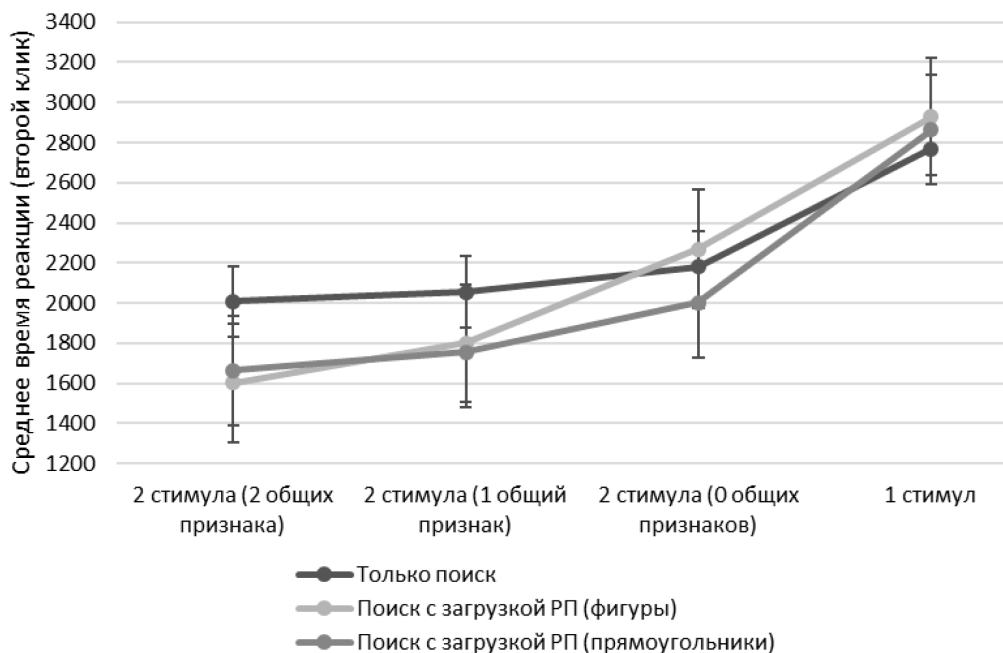


Рис. 4. Среднее время реакции (второй клик мышкой) в задаче на зрительный поиск (для условий только со зрительным поиском и с комбинированной задачей «зрительный поиск + рабочая память»). Столбики ошибок отражают стандартные ошибки среднего

Далее, в ходе сравнения двух экспериментов, было обнаружено, что параметры загрузки рабочей памяти находится во взаимосвязи с числом общих признаков между двумя стимулами, однако результаты проведенного анализа влияния каждого из взаимодействующих факторов на точность поиска не обнаружили существенных различий. Лишь во втором эксперименте оно было близко к значимому. Такое близкое к значимому взаимодействие между факторами может быть объяснено недостаточной загрузкой рабочей памяти, так как испытуемым требовалось удерживать в памяти два стимула из задания на запоминание и один стимул из задания на поиск, т. е. всего три стимула. Можно предположить, что если бы количество стимулов в задании на запоминание было бы увеличено до трех, а следовательно, общее число стимулов в рабочей памяти — до четырех, то показатели взаимодействия между факторами были бы более значимыми.

Таким образом, мы предполагаем, что зрительный поиск и объектная рабочая память функционируют на основании действия связанных друг с другом механизмов. Данное предположение согласуется с результатами другого исследования, показавшими, что рабочая память руководит направлением зрительного поиска (Dowd, Mitroff, 2013). Также данный механизм может быть рассмотрен с позиции теории ограниченных ресурсов: так, с одной стороны для удержания в рабочей памяти двух объектов может быть затрачено некое количество когнитивных ресурсов, но, с другой стороны, первый найденный стимул задает установку, замещая собой репрезентацию целевого стимула в рабочей памяти; таким образом, при фиксации взгляда на втором объекте на его определение как целевого может также быть затрачено определенное количество ресурсов. Причем чем больше различий между двумя целями, тем большее количество ресурсов будет затрачено.



Фактор числа общих признаков между стимулами, как мы и предполагали, оказал значимое влияние как на процент правильных обнаружений, так и на время поиска в обоих экспериментах, что также согласуется с результатами других исследований, проведенных в рамках парадигмы перцептивного смещения. Более того, если целевые стимулы были идентичными, то процент ПППП снижался до значения, очень близкого к проценту ошибок в условии с одним целевым стимулом.

В свою очередь, загрузка рабочей памяти влияет лишь на скорость первого щелчка мышью и не взаимодействует с фактором числа стимулов и общих признаков между ними. Возможно, испытуемые, тем не менее, затрачивают некоторое время для кодирования стимулов в рабочей памяти, несмотря на короткий промежуток предъявления стимулов.

Таким образом, имеются основания полагать, что существует взаимодействие факторов загрузки рабочей памяти и количества общих признаков между стимулами, а значит, и единый механизм работы перцептивной установки и истощения ресурсов. Подробное изучение данной взаимосвязи представляет собой перспективу дальнейших исследований. В частности, возможно проведение дополнительного эксперимента с большим количеством объектов для запоминания в задаче на рабочую память.

Выводы

1. Цель исследования состояла в проверке гипотезы о том, что перцептивная установка и истощение ресурсов рабочей памяти представляют собой единый механизм, т. е. между факторами загрузки рабочей памяти и количества общих признаков между целевыми стимулами присутствует значительное взаимодействие. Для проверки данной гипотезы было проведено 2 эксперимента.
2. Полученные результаты говорят о наличии существенной взаимосвязи между факторами загрузки рабочей памяти и числа общих признаков между стимулами в отношении влияния на точность поиска двух стимулов, что свидетельствует о наличии единого механизма работы перцептивной установки и истощения ресурсов.

Финансирование

Исследование осуществлено в рамках Программы фундаментальных исследований НИУ ВШЭ в 2019 году.

Литература

1. Adamo S.H., Cain M.S., Mitroff S.R. An individual differences approach to multiple-target visual search errors: How search errors relate to different characteristics of attention // *Vision research*. 2016. Т. 141. С. 258–265.
2. Adamo S.H., Cain M.S., Mitroff S.R. Self-induced attentional blink: A cause of errors in multiple-target search // *Psychological Science*. 2013. Т. 24. № 12. С. 2569–2574.
3. Adamo S.H., Cain M.S., Mitroff S.R. Targets need their own personal space: Effects of clutter on multiple-target search accuracy // *Perception*. 2015. Т. 44. № 10. С. 1203–1214.
4. Berbaum K.S., Franken E.A., Jr Dorfman D.D., Rooholamini S.A., Coffman C.E., Cornell S.H., Kao S.C. Time-course Of Satisfaction Of Search // *Investigative Radiology*. 1991. Т. 25. № 12. С. 1352.
5. Berbaum K.S., Franken J.E., Dorfman D.D., Rooholamini S.A., Kathol M.H., Barloon T.J., El-khoury G.Y. Satisfaction Of Search In Diagnostic Radiology // *Investigative Radiology*. 1990. Т. 24. № 12. С. 113.
6. Cain M.S., Adamo S.H., Mitroff S.R. A taxonomy of errors in multiple-target visual search // *Visual Cognition*. 2013. Т. 21. № 7. С. 899–921.
7. Cain M.S., Dunsmoor J.E., LaBar K.S., Mitroff S.R. Anticipatory anxiety hinders detection of a second target in dual-target search // *Psychological Science*. 2011. Т. 22. № 7. С. 866–871.



8. Cain M.S., Mitroff S.R. Memory for found targets interferes with subsequent performance in multiple-target visual search // *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*. 2013. T. 39. № 5. C. 1398.
9. Dowd E.W., Mitroff S.R. Attentional guidance by working memory overrides salience cues in visual search // *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*. 2013. T. 39. № 6. C. 1786.
10. Fleck M.S., Samei E., Mitroff S.R. Generalized “satisfaction of search”: Adverse influences on dual-target search accuracy // *Journal of Experimental Psychology: Applied*. 2010. T. 16. № 1. C. 60.
11. Gorbunova E.S. Perceptual similarity in visual search for multiple targets // *Acta Psychologica*. 2017. T. 173. C. 46–54.
12. Gorbunova E.S., Kozlov K.S., Le S.T.T., Makarov I.M. The role of Working Memory in Visual Search for Multiple Targets // *Frontiers in Psychology*. 2019. T. 10. C. 1–15.
13. Woodman G.F., Luck S.J. Visual search is slowed when visuospatial working memory is occupied // *Psychonomic Bulletin & Review*. 2004. T. 11. № 2. C. 269–274.
14. Woodman G.F., Vogel E.K., Luck S.J. Visual search remains efficient when visual working memory is full // *Psychological Science*. 2001. T. 12. № 3. C. 219–224.

OBJECT WORKING MEMORY LOAD AND PERCEPTUAL SIMILARITY IN VISUAL SEARCH FOR MULTIPLE TARGETS

KOZLOV K.S.*, National Research University Higher School of Economics Moscow, Russia,
e-mail: kirillskozlov@gmail.com

GORBUNOVA E.S.**, National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia,
e-mail: gorbunovaes@gmail.com

Subsequent search misses can occur during visual search for several targets. SSM is a decrease in accuracy at finding a second target after successful detection of a first one. Two experiments investigated the effect of object working memory load, target stimuli similarity and the similarity of stimuli in visual search task and working memory tasks on the SSM. It was found that targets perceptual similarity is significant, as well as memory load in case of working memory task and visual search task stimuli similarity. In addition, we found a significant interaction between working memory load and number of shared features between two target stimuli, which may indicate a common mechanism underlying the role of working memory load and perceptual similarity factors.

Keywords: visual search, subsequent search misses, working memory.

Funding

The study was carried out as part of the HSE Program of Fundamental Studies in 2019.

For citation:

Kozlov K.S., Gorbunova E.S. Object working memory load and perceptual similarity in visual search for multiple targets. *Eksperimental'naya psikhologiya = Experimental psychology (Russia)*, 2019, vol. 12, no. 3, pp. 119–134. doi:10.17759/exppsy.2019120309

* Kozlov K.S. Research Assistant, Laboratory for Cognitive Psychology of Digital Interfaces User, National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia. E-mail: kirillskozlov@gmail.com

** Gorbunova E.S. PhD (Psychology), Laboratory Head, Laboratory for Cognitive Psychology of Digital Interfaces User, Associate Professor, School of Psychology, National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia. E-mail: gorbunovaes@gmail.com



References

1. Adamo S.H., Cain M.S., & Mitroff S.R. (2016). An individual differences approach to multiple-target visual search errors: How search errors relate to different characteristics of attention. *Vision research*, 141, 258–265.
2. Adamo S.H., Cain M.S., & Mitroff S.R. (2013). Self-induced attentional blink: A cause of errors in multiple-target search. *Psychological science*, 24 (12), 2569–2574.
3. Adamo S.H., Cain M.S., & Mitroff S.R. (2015). Targets need their own personal space: Effects of clutter on multiple-target search accuracy. *Perception*, 44(10), 1203–1214.
4. Berbaum K.S., Franken J.E., Dorfman D.D., Rooholamini S.A., Coffman C.E., Cornell S.H., ... & Kao S.C. (1991). Time course of satisfaction of search. *Investigative radiology*, 26(7), 640–648.
5. Berbaum K.S., Franken J.E., Dorfman D.D., Rooholamini S.A., Kathol M.H., Barloon T.J., ... & Elkhoury G.Y. (1990). Satisfaction of search in diagnostic radiology. *Investigative radiology*, 25(2), 133–140.
6. Cain M.S., Adamo S.H., & Mitroff S.R. (2013). A taxonomy of errors in multiple-target visual search. *Visual Cognition*, 21(7), 899–921.
7. Cain M.S., Dunsmoor J.E., LaBar K.S., & Mitroff S.R. (2011). Anticipatory anxiety hinders detection of a second target in dual-target search. *Psychological Science*, 22(7), 866–871.
8. Cain M.S., & Mitroff S.R. (2013). Memory for found targets interferes with subsequent performance in multiple-target visual search. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 39(5), 1398.
9. Dowd E.W., & Mitroff S.R. (2013). Attentional guidance by working memory overrides salience cues in visual search. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 39(6), 1786.
10. Fleck M.S., Samei E., & Mitroff S.R. (2010). Generalized “satisfaction of search”: Adverse influences on dual-target search accuracy. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 16(1), 60.
11. Gorbunova E.S. (2017). Perceptual similarity in visual search for multiple targets. *Acta psychologica*, 173, 46–54.
12. Gorbunova E., Kozlov K.S., Le S.T.T., & Makarov I.M. (2019). The role of Working Memory in Visual Search for Multiple Targets. *Frontiers in Psychology*. 2019, 10, 1–15.
13. Woodman G.F., & Luck S.J. (2004). Visual search is slowed when visuospatial working memory is occupied. *Psychonomic bulletin & review*, 11(2), 269–274.
14. Woodman G.F., Vogel E.K., & Luck S.J. (2001). Visual search remains efficient when visual working memory is full. *Psychological Science*, 12(3), 219–224.