ЭМПИРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Роль рабочей памяти в механизме эффекта контекстной подсказки: исследование методом регистрации движений глаз

Сигнаевская К.В.[1], Горбунова Е.С.[1]

[1] Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ), Москва, Россия

В статье рассмотрен эффект контекстной подсказки в условиях разных степеней загрузки объектной рабочей памяти (РП). В соответствии с ним повторная встреча с определенной конфигурацией целевых объектов и дистракторов приводит к уменьшению времени поиска цели. При этом испытуемые не могут отличить старые конфигурации от новых, что позволяет предположить имплицитность этого эффекта. Существует теория раннего и теория позднего локуса контекстной подсказки: если следовать первой из них, эффект возникает до того, как цель была обнаружена; если следовать второй – эффект возникает после того, как цель была обнаружена. Эти представления согласуются с различением процессов гайденса и верификации в зрительном поиске. Предыдущие исследования показали неоднозначные результаты о влиянии зрительной РП на возникновение эффекта контекстной подсказки, также в них не использовался айтрекер для изучения роли РП в появлении этого эффекта. Мы провели эксперимент для выявления паттернов, которые возникают в ходе выполнении двойной задачи, объединяющей зрительный поиск и загрузку объектной РП. Время реакции, количество фиксаций и длительность фиксаций на цели были зависимыми переменными. Результаты исследования продемонстрировали, что по показателям времени реакции и количества фиксаций эффект контекстной подсказки уменьшался с увеличением степени загрузки объектной РП, в то время как по показателям переменной длительности фиксаций на цели эффект был устойчив к любой степени загрузки объектной РП. Результат подтверждает, что по показателям времени реакции и количества фиксаций на цели загрузка РП приводит к нарушению гайденса, следовательно, к исчезновению эффекта контекстной подсказки, в то время как длительность фиксации на цели не зависит от загрузки РП, хоть и отражает возникновение этого эффекта.

Ключевые слова: рабочая память, эффект контекстной подсказки, имплицитное научение, зрительный поиск, айтрекинг

Введение

Как объекты реального мира, так и целевые стимулы в задачах зрительного поиска почти всегда представлены рядом с другими объектами, которые называются нецелевыми или дистракторами. В совокупности они образуют глобальный контекст, который содержит в себе сложную структуру взаимосвязей между этими объектами [Biederman, 1972]. С самого рождения человек взаимодействует с окружающей средой, следовательно, ему становится доступным глобальный контекст: люди существуют в нем, получают информацию из него, а также учатся посредством него. Обычно под словом «научиться» подразумевается эксплицитное, то есть осознаваемое, получение знаний. При эксплицитном научении учащийся способен обозначить изучаемый предмет, а также использовать полученные знания на практике. Однако этот тип научения становится доступным человеку далеко не сразу. Эволюционно первый тип научения – *имплицитное научение*, представляющее собой процесс непреднамеренного и неосознанного приобретения знаний, при котором субъект не способен сообщить содержание полученного знания, однако может использовать его для решения задач [Seger, 1994]. Хоть имплицитное научение и вызывает интенсивный интерес исследователей уже более ста лет, споров в области методологии изучения этого феномена остается много и на сегодняшний день.

Несмотря на это, существует ряд стандартных методик для исследования имплицитного научения, например искусственная грамматика и методика подавления вспышкой [Морошкина, Гершкович, 2014]. Еще одна методика изучения этого эффекта – *парадигма контекстной подсказки* [Chun, Jiang, 1998]: испытуемые выполняют зрительный поиск целевых стимулов среди множества случайно расположенных дистракторов, при этом одна половина конфигураций, то есть совокупностей расположений целевых объектов и дистракторов на экране, систематически повторяется в экспериментальных блоках, в то время как другая появляется только один раз за все время эксперимента. Результаты исследований в рамках этой задачи указывают на возникновение эффекта контекстной подсказки, который заключается в постепенном улучшении эффективности поиска целевого стимула в условии старых (неоднократно повторяющихся) конфигураций по сравнению с новыми (впервые представленными) конфигурациями [см., напр., Chun, Jiang, 1998]. Важно отметить, что после завершения выполнения задачи испытуемые не могут отличить предъявленные ранее повторяющиеся конфигурации от новых. Это позволяет предположить, что в основе эффекта контекстной подсказки лежит именно имплицитное научение.

Глобальная цель статьи, в которой впервые была упомянута контекстная подсказка, – выяснить, как взаимодействуют память и внимание в контексте зрительного поиска [Chun, Jiang, 1998]. Авторы исследования основывались на трех предположениях: во-первых, предполагалось, что при обработке сложной визуальной информации главную роль играет внимание, которое направляется посредством глобального контекста. Таким образом, контекстная подсказка – это совокупность глобальных свойств изображений, определяющая приоритетность объектов и областей в сложных сценах для выбора и распознавания изображений и направления внимания. Во-вторых, предполагалось, что информация о глобальном контексте получается посредством имплицитного научения – без намерения и осознания. В то же время знания, которые обретены в глобальном контексте, хранятся в имплицитной памяти, сформированной на основе конкретных примеров. В-третьих, предполагалось, что запоминание информации о глобальном контексте основано на примерах (*instance-based*), а также что полученные экземпляры совместно с вниманием направляют зрительный поиск.

В оригинальном исследовании в качестве методики была использована стандартная парадигма контекстной подсказки, которая представляет собой многократно повторяющиеся задачи зрительного поиска. Испытуемые искали целевой стимул – букву T, повернутую на 90° вправо или влево, – среди дистракторов – букв L, повернутых на 0°, 90°, 180° или 270°. Независимыми переменными выступали тип конфигурации (старая или новая) и номер эпохи (1–6), а главной зависимой переменной было время поиска целевого стимула. Каждая эпоха содержала 24 конфигурации: 12 новых и 12 старых. Испытуемые давали ответ с клавиатуры, им было необходимо указать направление нижней части буквы T – вправо или влево.

Также было изучено, как время влияет на эффект контекстной подсказки, и оказалось, что он сохраняется до одной недели [Chun, Jiang, 2003]. Следовательно, можно предположить, что знания, полученные в результате имплицитного научения, хранятся именно в долговременной памяти. Большинство исследователей согласны с тем, что во время эксплицитного научения информация в первую очередь сохраняется в рабочей памяти (РП), а затем попадает в долговременную – в ней знания хранятся до последующего извлечения [Baddeley, Hitch, 1994]. Однако, рассуждая об имплицитном научении, исследователи редко используют концепт РП для описания этого процесса [Reber, 2013]. Также важно отметить, что в некоторых исследованиях контекстной подсказки имплицитность эффекта была поставлена под сомнение [Vadillo et al., 2016]. Так, в предыдущих работах наблюдалась недостаточная чувствительность и мощность статистических тестов задачи на распознавание конфигураций, что могло привести к ложным отрицательным результатам, то есть в исследованиях не было обнаружено эффекта, хотя на самом деле он возникал. Авторы критических статей утверждают, что рассматриваемый эффект эксплицитный, поскольку испытуемые осознают возникновение контекстной подсказки [Vadillo et al., 2016]. Прояснение того, какую роль РП играет в возникновении эффекта контекстной подсказки, может также приблизить нас к пониманию того, эксплицитен или имплицитен этот эффект.

Возникновение эффекта контекстной подсказки, результаты теста на имплицитность, а также длительность сохранения этого эффекта позволяют предположить, что в долговременной памяти создаются имплицитные репрезентации пространственного контекста, которые автоматически извлекаются при встрече с повторяющимися конфигурациями и направляют внимание к целевому стимулу [Annac et al., 2019]. Ряд исследователей предполагают [см., напр., Desimone, Duncan, 1995], что репрезентации объектов сохраняются в РП и направляют внимание на выбор похожих объектов из доступной в настоящее время зрительной информации. Если предположить, что репрезентации пространственного контекста создаются так же, как и репрезентации объектов, РП может играть роль в возникновении эффекта контекстной подсказки, поскольку она необходима для появления зрительных репрезентаций. Однако наиболее современные теории, в частности теория управляемого поиска, предполагают, что РП не задействована в формировании зрительных репрезентаций в случае обработки информации по неселективному пути [Wolfe, 2021]. Более того, есть исследования, согласно результатам которых во время зрительного поиска в РП не сохраняется информации о местоположении объектов [Horowitz, Wolfe, 1998]. Понимание роли РП в возникновении эффекта контекстной подсказки может, с одной стороны, дополнить существующие теории РП, а с другой стороны, расширить представления о возникновении этого эффекта.

Эффект контекстной подсказки был продемонстрирован во многих исследованиях, представляющих собой репликации оригинальной работы [см., напр., Bennett et al., 2009; Lleras, Von Muhlenen, 2004; Olson, Chun, 2002]. Кроме того, популярной стала методика двойной задачи: она частично использует парадигму контекстной подсказки и дополняет зрительный поиск интерферирующим заданием [Annac et al., 2019; Chen et al., 2019; Travis et al., 2013]. Такая методика была использована в работах, направленных на выявление взаимосвязи между РП и возникновением эффекта контекстной подсказки [Annac et al., 2019; Travis et al., 2013], а также она применяется в нашем исследовании.

В одном из первых исследований влияния загрузки РП на механизм контекстной подсказки были получены результаты, согласно которым эффект сохраняется в условии интерференции со стороны параллельной задачи [Vickery et al., 2010]. Авторы статьи основывались на предположении о том, что при возникновении эффекта контекстной подсказки и при загрузке РП задействованы одни и те же процессы, во время которых используются общие ресурсы, однако полученные данные не подтвердили эту гипотезу. В работе была использована парадигма двойной задачи: классическая методика контекстной подсказки была объединена с задачей на загрузку РП, в которой от испытуемых требовалось запоминать различные пространственные массивы, цвета и последовательности элементов. В адрес этой работы были высказаны критические замечания: в одном из них отмечается, что этап тестирования состоял только из задачи зрительного поиска и не включал задачу на загрузку РП. Таким образом, эти результаты могут свидетельствовать о том, что загрузка РП не влияет на эффект контекстной подсказки на этапе научения, но не на этапе извлечения информации.

В дальнейшем были проведены исследования, дополняющие результаты ранее рассмотренной статьи. В этих работах авторы также пытались определить, будет ли интерферирующая задача РП препятствовать возникновению эффекта контекстной подсказки и на каком этапе выполнения задачи может возникнуть помеха [Annac et al., 2019; Chen et al., 2019; Manginelli et al., 2013; Travis et al., 2013; Vicente-Conesa et al., 2022]. В одном из последних исследований было выделено два типа двойных задач на загрузку РП и возникновение эффекта контекстной подсказки, которые использовались в предыдущих работах [Vicente-Conesa et al., 2022]. В двойной задаче первого типа второстепенная задача (на загрузку РП) присутствует только на этапе научения, но не на заключительном этапе тестирования, то есть в течение 1–5 эпохи, в то время как 6 эпоха – тестирование – состоит только из зрительного поиска. В двойной задаче второго типа этап научения выполняется в условиях одной задачи (зрительный поиск), а интерферирующая задача на РП предъявляется только на этапе тестирования. Предполагается, что если загрузка РП мешает выражению эффекта контекстной подсказки, но не научению, то при выполнении двойной задачи первого типа не будет обнаружено эффекта контекстной подсказки на этапе научения, но он возникнет на этапе тестирования, а при выполнении задачи второго типа эффект возникнет в начале выполнения задачи и будет постепенно затухать.

Итак, предыдущие исследования, в которых использовалась двойная задача первого типа, показали неоднозначные результаты. В трех работах [Chen et al., 2019; Travis et al., 2013; Vicente-Conesa et al., 2022] не было обнаружено эффекта контекстной подсказки на этапе тестирования, в то время как в двух других работах эффект был обнаружен [Annac et al., 2013; Manginelli et al., 2013]. В двух из трех исследований с двойной задачей второго типа был обнаружен эффект контекстной подсказки на этапе научения [эффект обнаружен: Annac et al., 2013; Manginelli et al., 2013; эффект не обнаружен: Vicente-Conesa et al., 2022]. Эти результаты обуславливают необходимость дальнейшего изучения взаимодействия механизма контекстной подсказки и РП с использованием двойной задачи.

В вышеперечисленных исследованиях особое внимание уделялось эффекту контекстной подсказки, но не РП. Однако современные исследования позволяют предположить, что определенные компоненты РП, которые не рассматривались отдельно в предыдущих работах по теме, относительно независимы друг от друга, и это необходимо учитывать при изучении РП [Chai et al., 2018]. Поскольку эффект контекстной подсказки возникает в задаче зрительного поиска, предполагается, что именно *зрительная рабочая память* может быть задействована в нем. Зрительная РП представляет собой ментальное пространство для временного хранения зрительной информации и манипулирования ей [Mance, Vogel, 2013]. Как поведенческие данные, так и данные нейронаук показывают, что объем РП ограничен тремя-четырьмя элементами [Cowan, 2010]. Эта характеристика (ограниченность объема РП) выступает основополагающей для теорий, стремящихся объяснить устройство зрительной РП и то, каким именно образом ее объем ограничен. Так, согласно ячеечным, или слотовым, моделям [Luck, Vogel, 1997], объем зрительной РП определяется количеством доступных слотов, при этом запоминание целостных объектов позволяет удерживать фактически любое число признаков этих объектов, если само их количество не больше трех-четырех. Согласно же ресурсным моделям [Ma et al., 2014], объем зрительной РП ограничен не количеством ячеек, а общим количеством *ресурсов*, которые могут быть потрачены на любое число структурных единиц, но только за счет качества репрезентации каждой из них [Уточкин и др., 2016]. Следовательно, ограничивающий фактор здесь – не то, сколько элементов хранится, а то, сколько ресурсов выделяется на каждую репрезентацию. Причина, по которой запоминание большого числа объектов ухудшается, заключается в том, что каждой репрезентации выделяется все меньше ресурса. Существуют также более поздние модели, объясняющие ограниченность объема зрительной РП, например модель «ячейки + ресурсы» [Zhang, Luck, 2008], которая объединяет ячеечную и ресурсную модели. Согласно же теории иерархического кодирования [Brady et al., 2011], репрезентации элементов в зрительной РП создаются по отдельности на нескольких уровнях: уровне признаков, уровне связанных объектов и уровне, кодирующем информацию о целых группах объектов. Таким образом, репрезентации конструируются благодаря интеграции информации о множестве объектов с разных уровней, что способствует ее сжатию, а следовательно, и обработке большего ее количества за меньшее время. Однако в настоящий момент до сих пор нет окончательного согласия относительно того, возникают ли ограничения объема РП из-за фиксированного числа элементов или из-за недостатка ресурса. Важно также отметить, что большинство предыдущих работ, в которых изучалась роль РП в эффекте контекстной подсказки, опирались на многокомпонентную модель РП [Baddeley, Hitch, 1974], состоящую из фонологической петли (вербальная РП), зрительно-пространственного блокнота (зрительно-пространственная РП) и центрального исполнителя, отвечающего за контроль внимания [Baddeley, Hitch, 1974]. В 2000 году эта модель была дополнена еще одним компонентом, который был назван *эпизодическим буфером* и рассматривался как система временного хранения, контролирующая манипулирование, воспроизведение и обработку информации [Baddeley, 2000].

Одним из наиболее важных и дискуссионных вопросов среди исследователей РП был и остается вопрос о существовании ее подкомпонентов. Согласно одним исследователям, объектная и пространственная РП представляют собой раздельные системы для хранения объектной и пространственной информации и манипулирования ей. В пользу этого тезиса свидетельствуют в основном работы с применением методов нейронаук. Например, с помощью позитронно-эмиссионной томографии (ПЭТ) было изучено наличие отдельных компонентов объектной и пространственной РП [см., напр., Courtney et al., 1996; Smith et al., 1995; Ungerleider et al., 1998]. Так, в исследовании Смита 1995 года испытуемые выполняли задачу либо на объектную РП (запоминание объектов), либо на пространственную (запоминание расположений точек). Результаты показали, что задачи активировали разные участки мозга: например, при выполнении задачи на пространственную РП большая активность наблюдалась в правом полушарии, а именно в области правой теменной коры, в то время как при выполнении другой задачи – в левой нижней височной доли.

Однако существует и другое предположение, имеющее эмпирические свидетельства: РП хранит интегрированные объекты, а не их отдельные признаки (например, местоположение или цвет). РП часто изучается при помощи популярной задачи на обнаружение изменений (change-detection task) [Luck, Vogel, 1997], которая предполагает запоминание цветов, местоположения или одновременно цветов и местоположения объектов с последующем определением каких-либо изменений в них. В эксперименте Лака и Фогеля испытуемые выполняли задачу на обнаружение изменений; использовались 3 условия: менялся цвет, местоположение или цвет и местоположение объектов. Если в первых двух условиях при точном выполнении задачи от респондентов потребовалось бы запоминание 4 признаков (либо цвет, либо местоположение), то в третьем условии – 8 признаков (4 цвета и 4 местоположения). Результаты показали, что скорость и количество ошибок не различались между тремя условиями. Таким образом, авторы предполагают, что РП хранит объекты целиком, а не их отдельные характеристики. Эта интерпретация соотносится с исследованиями внимания, которые показывали, что оно направлено на целые объекты, а не на их отдельные признаки [Duncan, 1984]. Результаты классического эксперимента Лака и Фогеля были основным аргументом в пользу ячеечной теории. Таким образом, основываясь на ячеечной модели организации РП, мы предполагаем, что загрузка объектной РП будет препятствовать возникновению эффекта контекстной подсказки, для появления которого необходима пространственная РП.

Ранее проводились эксперименты с помощью айтрекера для изучения механизма эффекта контекстной подсказки. Так, было высказано два предположения о том, какие когнитивные процессы лежат в основе рассматриваемого эффекта. Согласно первой теории (теория раннего локуса) [Chun, Jiang, 1998], благодаря повторяющимся встречам с целевым стимулом в одном и том же месте создается *контекстная карта*, детерминирующая вероятность обнаружения целевого стимула в том или ином месте в этом контексте и направляющая внимание на места, в которых может располагаться цель. Таким образом, эффект контекстной подсказки возникает еще *до* того, как цель была обнаружена, то есть на относительно ранней стадии зрительного поиска. Предположение этой теории соотносится с процессом гайденса (направление внимания), описанного в модели управляемого поиска [Wolfe, 2021]. Так, в последней версии модели Вольфа внимание представляет собой механизм, который отбирает элементы в зрительном поиске таким образом, что их характеристики можно связать в объекты. Для эффективной обработки внимание направляется на эти характеристики, при этом выделяется 5 источников гайденса: восходящий и нисходящий гайденс со стороны признаков, прошлый опыт, вознаграждение (мотивация) и характеристики сцены [Wolfe, Horowitz, 2017]. Эти источники гайденса объединяются в *карту приоритетов* – динамический ландшафт внимания, который развивается в ходе осуществления поиска. Таким образом, контекстная подсказка может усиливать ранние перцептивные процессы, которые обеспечивают основу для выбора цели внимания и, как предполагается, направляют распределение внимания при зрительном поиске.

Согласно альтернативной теории (теория позднего локуса) [Kunar et al., 2007], после обнаружения целевого стимула испытуемые быстрее реагируют на него в условиях повторяющихся конфигураций из-за отсутствия двойной верификации цели (повторная верификация цели с репрезентацией после ее обнаружения) и других причин, связанных с ответом. Аргумент этой теории – результаты по заключительному тесту на имплицитность эффекта: испытуемые не отличают старые конфигурации от новых. Таким образом, согласно второй теории, эффект контекстной подсказки возникает уже после того, как цель была обнаружена, то есть на стадии ответа. Это предположение можно соотнести с другим процессом, описанным в теории управляемого поиска: объекты в зрительном поле необходимо сравнивать с шаблоном целевого стимула, чтобы идентифицировать их в качестве целевых стимулов или отвергнуть как дистракторы [Wolfe, 2021]. Сравнение репрезентации целевого стимула с шаблоном в других моделях называется процессом верификации – например, у Г. Зелински [Maxfield, Zelinsky, 2012]. Дж. Вольф при этом предполагает, что шаблон целевого стимула хранится в системе активированной долговременной памяти, то есть между рабочей и долговременной памятью, но не в РП. Таким образом, можно предположить, что контекстная подсказка усиливает не ранние перцептивные процессы, направляющие внимание при зрительном поиске, а эффективность сопоставления шаблона целевого стимула с объектом, на который направлено внимание. Отметим, что вышеупомянутый направляющий шаблон (*guiding template*) представляет собой репрезентацию из РП, которая отбирает объекты, подходящие под нужную категорию. Шаблон же целевого стимула (*target template*) определяет, относится ли объект к тем, которые были запомнены ранее в качестве целевых стимулов, и представляет собой более четкую репрезентацию по сравнению с направляющим шаблоном.

В пользу первой теории выступают результаты эмпирических исследований с айтрекингом – технологией отслеживания глаз: количество фиксаций до локализации цели в условии старых конфигураций оказывается значительно меньшим, чем в условии новых [Harris, Remington, 2017; Peterson, Kramer, 2001], в то время как после локализации целевого стимула различий ни в каких показателях обычно не наблюдается [Harris, Remington, 2017]. В работах с применением электроэнцефалографа (ЭЭГ) и магнитоэнцефалографа (МЭГ) также были продемонстрированы различия между старыми и новыми конфигурациями уже через 50–100 мс после предъявления изображения [Chaumon et al., 2008]. В одном из последних теоретических обзоров, посвященных механизму контекстной подсказки [Sisk et al., 2019], авторы обобщают результаты эмпирических исследований и формулируют, что, если верна теория раннего локуса, испытуемые будут совершать меньше фиксаций до обнаружения цели в условии контекстной подсказки. Главное же свидетельство в пользу второй теории – отсутствие последовательного увеличения наклона графика в условии старых конфигураций [Kunar et al., 2007], однако этому есть и альтернативные объяснения [Brady, Chun, 2007]. Также предполагается, что, если верна теория позднего локуса, время между фиксацией на цели и ответом будет меньше в условии контекстной подсказки [Sisk et al., 2019]. Лишь одно из немногочисленных исследований свидетельствует в пользу этого предположения [Zhao et al., 2012], что создает перспективу для изучения позднего локуса контекстной подсказки. Также важно отметить, что, вероятно, эффект контекстной подсказки возникает в результате ассоциативного, а не перцептивного научения. Так, когда расположение дистракторов повторяется, но целевой стимул предъявляется в другом месте, эффекта контекстной подсказки не возникает [Chun, Jiang, 1998].

Таким образом, большинство эмпирических исследований локуса контекстной подсказки свидетельствуют о том, что на механизм этого эффекта оказывают влияние процессы, происходящие на ранних этапах зрительного поиска (во время гайденса), однако влияние процессов, связанных с верификацией, то есть происходящих на поздних этапах поиска, требует отдельного изучения. Айтрекинговые же исследования контекстной подсказки показывают, что в условиях старых конфигураций, то есть при повторяющемся контексте, в задаче зрительного поиска в среднем наблюдается меньше фиксаций по сравнению с новыми конфигурациями [см., напр., Harris, Remington, 2017; Tseng, Li, 2004; Manginelli, Pollmann, 2009]. Кроме того, ранее было предположено, что время реакции может коррелировать с количеством фиксаций в задаче зрительного поиска [Tseng, Li, 2004]. Длительность фиксации на цели, то есть длительность последней фиксации в задаче зрительного поиска, также выступала зависимой переменной в одном из исследований эффекта контекстной подсказки [Manelis, Reder, 2012]. Эта переменная, как и время реакции и общее количество фиксаций, по мнению авторов, свидетельствовала о возникновении эффекта контекстной подсказки: длительность фиксации на цели была значимо ниже в условиях повторяющихся конфигураций по сравнению с новыми.

Исследований в рамках теорий раннего и позднего локуса контекстной подсказки, изучающих влияние загрузки РП на возникновение эффекта, пока что не проводилось. При этом на основе теории управляемого поиска и ранее полученных результатов эмпирических исследований мы можем сделать некоторые предсказания относительно теорий раннего и позднего локуса, изучая эффект контекстной подсказки в условиях загрузки РП. Так, если процесс гайденса связан с ранним локусом, мы можем предположить, что загрузка РП приведет к нарушению гайденса и, как следствие, к исчезновению эффекта контекстной подсказки, поскольку направляющий шаблон хранится в РП. О раннем локусе эффекта будет свидетельствовать отсутствие различий между количеством фиксаций в условиях новых и старых конфигураций при высокой загрузке РП. Соотнося же процесс верификации с поздним локусом, мы можем предположить, что загрузка РП не приведет к ее нарушению и, как следствие, к исчезновению эффекта контекстной подсказки, поскольку процесс верификации цели устойчив к загрузке РП: он протекает в активированной долговременной памяти, где хранится шаблон целевого стимула. В таком случае показатель длительности фиксации на цели будет различаться в зависимости от типа конфигурации (новая или старая), но не будет зависеть от степени загрузки РП.

Соответственно, с одной стороны, до сих пор спорным остается вопрос о механизме контекстной подсказки, поскольку исследований этого эффекта с использованием айтрекинга немного и часть из них противоречит друг другу. С другой стороны, ранее в немногочисленных исследованиях изучалось влияние РП на возникновение эффекта контекстной подсказки, в них также были получены неоднозначные результаты. Однако влияние разных степеней загрузки РП на механизм эффекта контекстной подсказки не изучалось ранее с помощью айтрекера. Кроме того, спорным остается и вопрос о наличии подкомпонентов РП: разделены ли пространственный и объектный компоненты друг от друга или нет? Эти результаты создают предпосылку для данного исследования, в котором были изучены паттерны глазодвигательной активности при возникновении эффекта контекстной подсказки в условиях разных степеней загрузки объектной РП. Зависимыми переменными в отдельных дисперсионных анализах выступали время реакции, длительность фиксации на цели и количество фиксаций в задаче зрительного поиска.

Главная гипотеза исследования заключается в том, что разные степени загрузки объектной РП влияют на возникновение эффекта контекстной подсказки. Ожидается, что с увеличением степени загрузки объектной РП выраженность эффекта контекстной подсказки будет снижаться, о чем будет свидетельствовать время реакции и количество фиксаций. Также ожидается, что длительность фиксации на цели будет более устойчивым к загрузке объектной РП показателем эффекта контекстной подсказки, о чем будут свидетельствовать различия между новыми и старыми конфигурациями по этому показателю, независимо от степени загрузки объектной РП. Так, длительность фиксации на цели будет значимо различаться между условиями старых и новых конфигураций независимо от степени загрузки РП (то есть и при низкой, и при средней, и при высокой загрузке будут значимые различия), в то время как другие показатели будут менее устойчивы к высокой загрузке РП (при высокой загрузке РП различий по этим показателям не возникнет). Кроме того, мы предполагаем, что, если загрузка объектной РП повлияет на эффект контекстной подсказки, в возникновении которого играет роль пространственная РП, значит, объектный и пространственный компоненты РП зависимы друг от друга.

Процедура и методика исследования

Выборка

В эксперименте приняло участие 16 человек (13 – женщины), средний возраст которых составил 19,2 лет. Объем выборки был рассчитан с помощью калькулятора статистической мощности G-power (показатель мощности – 80%) с опорой на средний размер эффекта для разницы во времени реакции между старыми и новыми конфигурациями в условии загрузки РП [Chen et al., 2019]. Все респонденты дали согласие на обработку данных, а также подтвердили, что имеют нормальное или скорректированное с помощью линз до нормального зрение, не имеют неврологических заболеваний и не принимают медицинские препараты, влияющие на запоминание. Все испытуемые были старше 18 лет и являлись студентами 1–4 курсов Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ).

Оборудование

Стимулы были предъявлены на цветном мониторе BENQ-GL2250 с разрешением дисплея 1920×1080 пикселей (частота обновления 76 Гц) на расстоянии просмотра приблизительно 70 см. Эксперимент был запрограммирован с помощью программы PsychoPy v.2022.2.5, ОС MS Windows 11. Стимулы также предъявлялись с помощью этой программы. Испытуемые использовали стандартную компьютерную мышь и стандартную клавиатуру для сообщения ответов.

Движение глаз записывалось с помощью портативной системы отслеживания глаз EyeLink

Portable Duo. В ходе выполнения всех заданий осуществлялась запись обоих глаз с постоянной бинокулярной частотой дискретизации 1000 Гц. Перед началом эксперимента проводилась калибровка и валидизация. Средняя точность составляла менее 1°. Несмотря на ограничения в подвижности головы подбородником, остальные требования были похожи на обычные рабочие условия.

На протяжении всего исследования присутствовал экспериментатор за хост-компьютером, чтобы отслеживать корректность записи и по необходимости корректировать положение испытуемого. Экспериментатор пояснял инструкцию и условия эксперимента и отвечал на уточняющие вопросы испытуемых.

Стимульный материал и процедура

Эксперимент состоял из двух частей и проводился полностью очно в лаборатории. Первой частью была двойная задача (рис. 1), объединяющая зрительный поиск и задачу с разными степенями загрузки объектной РП: 2, 3 или 4 объекта для запоминания. Для воспроизведения эффекта контекстной подсказки была использована классическая задача контекстной подсказки [Chun, Jiang, 1998], интерферирующей задачей выступала задача на обнаружение изменений (*change-detection task*) [Luck, Vogel, 1997]. От испытуемых требовалось запоминать цвета нескольких (2, 3 или 4) квадратов, искать букву T среди L, после чего нажимать на клавиатуре клавиши D или A в зависимости от того, поменялся ли цвет одного из квадратов. Сначала испытуемым был предъявлен фиксационный крест на 500 мс, после чего на экране появлялись в зависимости от экспериментального блока 2, 3 или 4 квадрата (каждый размером 1,5° × 1,5°) на 1000 мс. Расположение и цвета квадратов определялись случайным образом для каждой пробы.

Далее следовала задача зрительного поиска: испытуемые искали букву T среди случайно расположенных дистракторов в виде букв L. Ответ принимался нажатием компьютерной мыши. Испытуемым не было сообщено о том, что половина конфигураций повторяется в течение всего эксперимента по несколько раз. Стимулы предъявлялись на белом экране, состояли из одной целевой буквы T (повернутой на 90° или 270°) и 16 букв-дистракторов L (повернутых на 0°, 90°, 180° или 270°). Размер букв составил 0,7° × 0,7°. Каждый блок двойной задачи был разбит на 5 эпох. За пятой эпохой каждого экспериментального блока следовала шестая эпоха, включающая только зрительный поиск, то есть в ней не было задачи на загрузку РП. Каждая эпоха состояла из 12 новых (предъявляемых единожды за весь эксперимент) и 12 старых (предъявляемых в каждой эпохе одного блока) конфигураций. В старых конфигурациях расположение и ориентация дистракторов и цели были одинаковыми на протяжении всего экспериментального блока.

Как только испытуемый нажимал кнопку мыши, на экране появлялись квадраты. Респондентам нужно было определить, изменился ли цвет од-

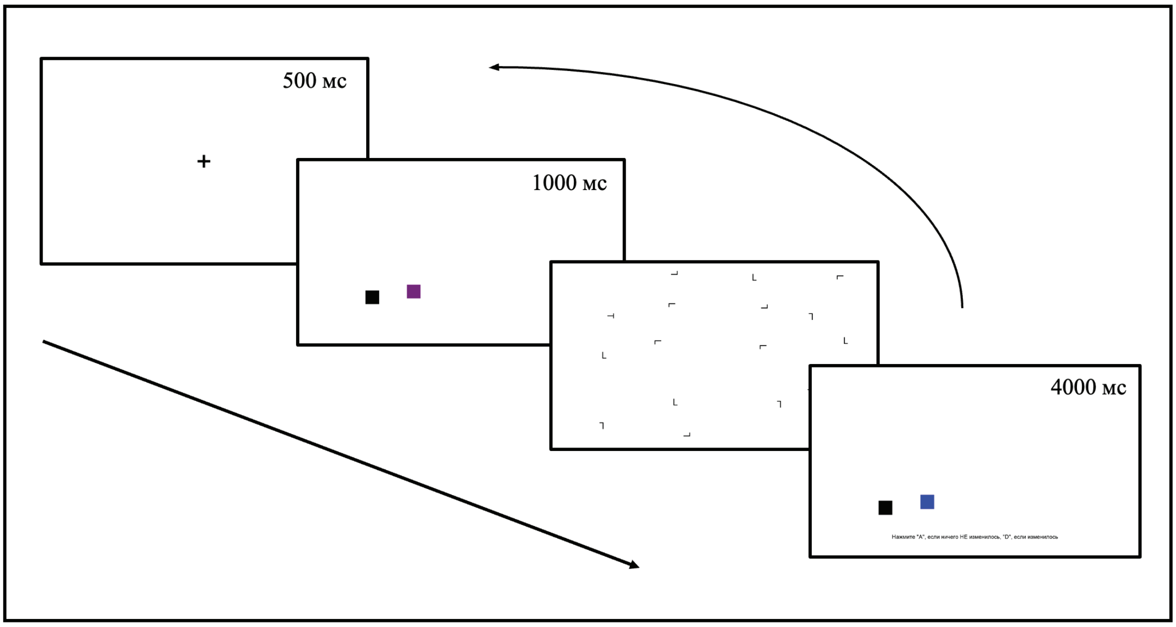

Рис. 1. *Демонстрация двойной задачи, объединяющей зрительный поиск и задачу на загрузку объектной РП.*

ного из квадратов по сравнению с квадратами, предъявленными до зрительного поиска. Испытуемые нажимали клавишу D, если изменения произошли, и клавишу A, если нет. На ответ давалось 4000 мс, проба также завершалась после ответа. Перед основной частью было проведено 15 тестовых проб, всего же в часть эксперимента с двойной задачей входило 360 проб (120 проб с двумя квадратами, 120 – с тремя, 120 – с четырьмя). В 50% всех проб цвета квадратов оставались неизменными после задачи зрительного поиска. Три экспериментальных блока с разным количеством квадратов для запоминания были рандомизированы среди испытуемых.

Заключительным блоком исследования была задача на узнавание конфигураций. Испытуемым предъявлялись 72 конфигурации, 36 из которых были новыми, 36 – старыми, то есть предъявленными в течение предыдущих трех блоков. Размер и характеристики стимулов были такими же, как и в задаче зрительного поиска. Внизу экрана были расположены две кнопки: «ДА» и «НЕТ» (размером 2,5° × 1,8°), которые испытуемые нажимали мышью в зависимости от того, видели они конфигурацию ранее или нет.

Анализ данных

Обработка полученных данных глазодвигательной активности производилась с помощью программ EyeLink Data Viewer и RStudio 2022.02.3+492. Для их анализа были использованы смешанные дисперсионные анализы средних значений времени реакции в задаче зрительного поиска, количества фиксаций в задаче зрительного поиска, времени фиксации на целевом стимуле (буква T) в задаче зрительного поиска. В качестве внутрисубъектных факторов выступали тип конфигурации (новая, старая), номер эпохи (1–5, test) и степень загрузки РП (низкая, средняя, высокая). Для анализа данных по задаче распознавания конфигураций использовался парный t-тест Стьюдента.

Данные четырех участников были исключены, поскольку возникли проблемы с записью движений их глаз. Кроме того, по этой же причине были удалены 72 пробы из всех данных. Также были удалены пробы (около 5%), в которых время реакции по задаче зрительного поиска было больше или меньше двух стандартных отклонений. Средняя точность задачи на загрузку объектной РП составила 84%, что можно назвать достаточно высокой точностью согласно данным для условия с двойной задачей [см., напр., Chen et al., 2019].

Время реакции

ANOVA со смешанным дизайном по основной экспериментальной части для времени реакции выявила значимые эффекты типа конфигурации $F\ (1,\ 14) = 5{,}05,\ p = {,}041,\ \eta 2 = {,}00$, эпохи $F\ (5,\ 70) = 20{,}95,\ p < {,}001,\ \eta 2 = {,}12$ и степени загрузки объектной РП $F\ (2,\ 28) = 23{,}96,\ p < {,}001,\ \eta 2 = {,}11$. Также было выявлено взаимодействие факторов конфигурации и эпохи $F\ (5,\ 70) = 11{,}14,\ p < {,}001,\ \eta 2 = {,}03$. Остальные взаимодействия не были значимыми.

Результаты дисперсионных анализов для трех условий загрузки объектной РП по отдельности представлены в табл. 1. В каждом из условий были выявлены эффекты эпохи, однако эффект типа конфигурации был выявлен только в условии низкой загрузки объектной РП. Взаимодействия факторов эпохи и конфигурации возникали в условиях средней и высокой загрузки объектной РП. Таким образом, тенденция к эффекту контекстной подсказки возникала в каждом из условий, однако по мере увеличения степени загрузки она снижалась (рис. 2).

Длительность фиксации на цели

ANOVA со смешанным дизайном по основной экспериментальной части для длительности фиксации на цели выявила значимые эффекты типа конфигурации $F\ (1,\ 14) = 172{,}86,\ p < {,}001,\ \eta 2 = {,}02$, эпохи $F\ (5,\ 70) = 6{,}68,\ p = {,}004,\ \eta 2 = {,}04$ и степени загрузки объектной РП $F\ (2,\ 28) = 11{,}63,\ p < {,}001,\ \eta 2 = {,}06$. Были выявлены взаимодействия факторов конфигурации и эпохи $F\ (5,\ 70) = 6{,}46,\ p < {,}001,\ \eta 2 = {,}01$, а также конфигурации и степени загрузки объектной РП $F\ (2,\ 28) = 6{,}50,\ p < {,}007,\ \eta 2 = {,}01$.

Результаты дисперсионных анализов для трех условий загрузки объектной РП по отдельности для длительности фиксации на цели представлены в табл. 2. В условиях низкой и средней загрузки объектной РП были выявлены эффекты эпохи, и типа конфигурации, и взаимодействия этих факторов. В условии средней загрузки были выявлены эффекты эпохи и конфигурации по отдельности, однако не было выявлено взаимодействия этих факторов (рис. 3).

Количество фиксаций

ANOVA со смешанным дизайном для количества фиксаций выявила значимые эффекты типа конфигурации $F\ (1,\ 14) = 12{,}39,\ p = {,}003,\ \eta 2 = {,}02$, эпохи $F\ (5,\ 70) = 3{,}63,\ p = {,}019,\ \eta 2 = {,}04$ и степени

Таблица 1

Дисперсионные анализы со смешанным дизайном времени реакции для разных степеней загрузки объектной РП по отдельности

Степень загрузки РП	Фактор	df_{Num}	df_{Den}	F	p	η^2_g
Низкая	эпоха	5	70	11,66	,000	,34
	конфигурация	1	14	12,12	,004	,03
	эпоха x конфигурация	5	70	1,41	,231	,03
Средняя	эпоха	5	70	8,01	,000	,24
	конфигурация	1	14	1,60	,226	,01
	эпоха x конфигурация	5	70	4,93	,001	,12
Высокая	эпоха	5	70	9,69	,000	,28
	конфигурация	1	14	0,10	,754	,00
	эпоха x конфигурация	5	70	8,12	,000	,17

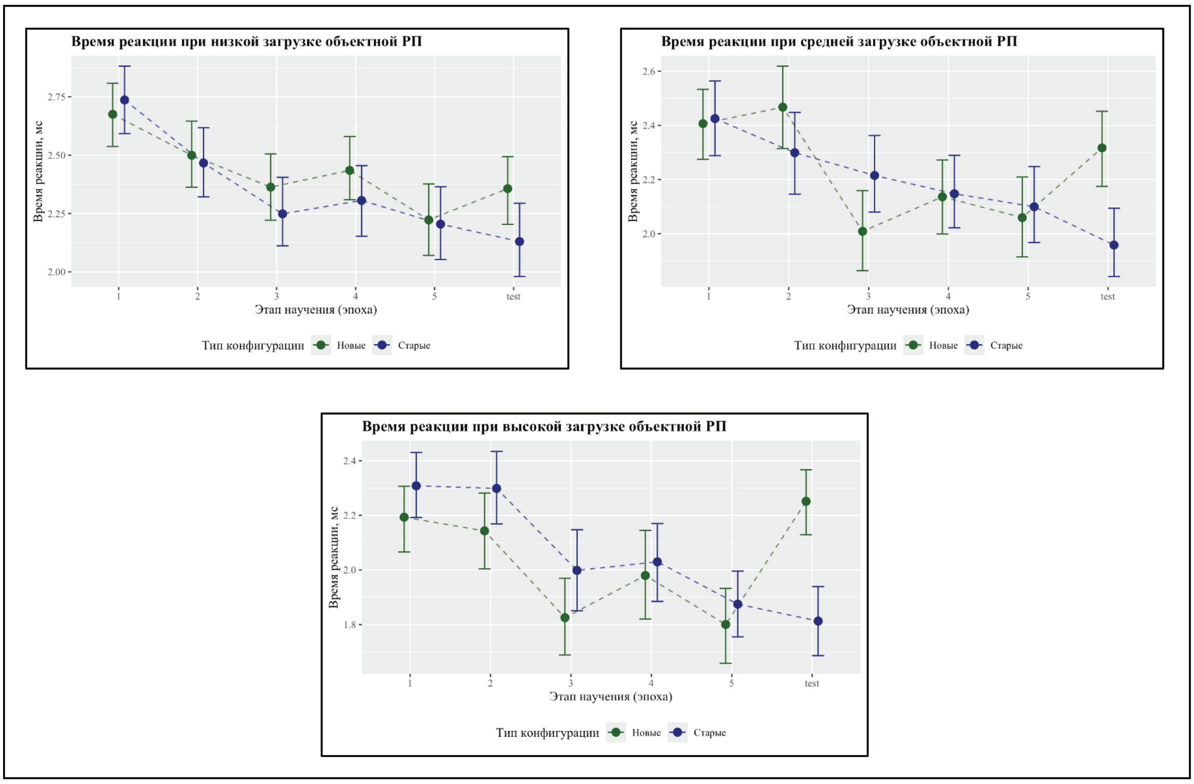

Рис. 2. *Зависимость времени реакции от номера эпохи, типа конфигурации и объема РП при разных степенях загрузки объектной РП.*

загрузки объектной РП $F (2, 28) = 13,78$, $p < ,001$, $\eta2 = ,10$. Никакие другие взаимодействия не были значимыми.

Результаты дисперсионных анализов для трех условий загрузки объектной РП по отдельности представлены в табл. 3. В условии низкой загрузки объектной РП были выявлены эффекты конфигурации и эпохи, в то время как в условии средней загрузки был выявлен только эффект конфигурации (рис. 4). В условии высокой загрузки объектной РП не было выявлено эффектов ни конфигурации, ни эпохи, ни взаимодействия этих факторов.

Задача на распознавание конфигураций

Точность выполнение задачи на распознавание конфигураций была на уровне случайности (51%) и не отличалась в зависимости от типа конфигурации $t (1072) = 1,22$, $p = 0,22$. Время реакции в

Таблица 2

Дисперсионные анализы со смешанным дизайном количества фиксаций в задаче зрительного поиска для разных степеней загрузки объектной РП по отдельности

Степень загрузки РП	Фактор	df_{Num}	df_{Den}	F	p	η^2_g
Низкая	эпоха	5	70	2,68	,029	,13
	конфигурация	1	14	51,56	,000	,13
	эпоха х конфигурация	5	70	3,00	,016	,04
Средняя	эпоха	5	70	4,13	,002	,14
	конфигурация	1	14	10,79	,005	,04
	эпоха х конфигурация	5	70	1,89	,107	,05
Высокая	эпоха	5	70	4,03	,003	,14
	конфигурация	1	14	7,25	,017	,05
	эпоха х конфигурация	5	70	5,33	,000	,11

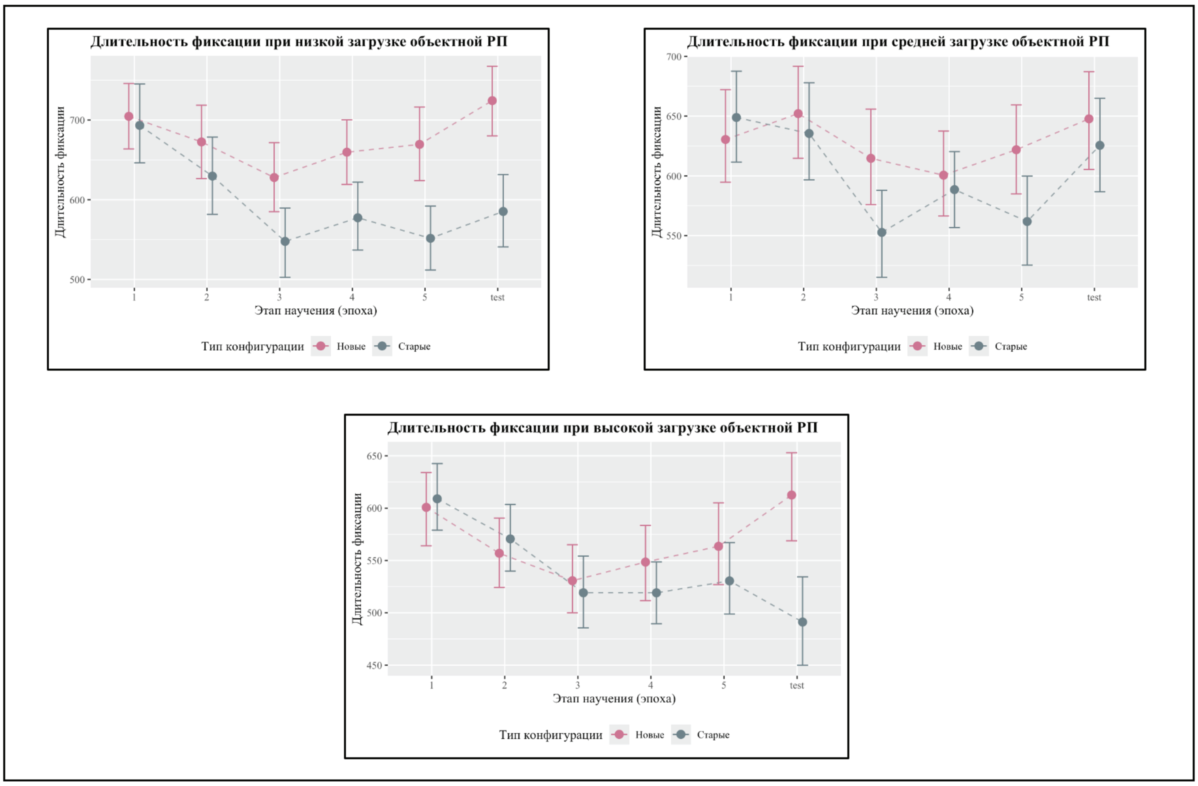

Рис. 3. *Зависимость длительности фиксации на цели от номера эпохи, типа конфигурации и объема РП при разных степенях загрузки объектной РП.*

задаче на распознавание конфигураций также не отличалось в зависимости от типа конфигурации *t (1072) = 1,74, p = 0,08.*

Обсуждение результатов

Результаты анализа демонстрируют эффекты эпохи, типа конфигурации и степени загрузки объектной РП на протяжении всего эксперимента и по показателю времени реакции, и по длительности фиксаций на цели, и по количеству фиксаций. Выявленный эффект эпохи указывает на то, что с увеличением номера эпохи время поиска цели, количество фиксаций и длительность фиксаций на цели снижались. Наблюдаемый эффект степени загрузки объектной РП показывает, что с увеличением количества объектов для запоминания в интерферирующей задаче испытуемым было сложнее выполнять задачу зрительного поиска. Возникновение эффекта типа конфигурации на протяжении всего эксперимента свидетельствует о том, что тенденция к возникновению эффекта

Таблица 3

Дисперсионные анализы со смешанным дизайном количества фиксаций для разных степеней загрузки объектной РП по отдельности

Степень загрузки РП	Фактор	df_{Num}	df_{Den}	F	p	η^2_g
Низкая	эпоха	5	70	6,84	,000	,21
	конфигурация	1	14	5,02	,042	,03
	эпоха х конфигурация	5	70	0,25	,937	,01
Средняя	эпоха	5	70	0,68	,636	,03
	конфигурация	1	14	11,46	,004	,06
	эпоха х конфигурация	5	70	1,21	,314	,03
Высокая	эпоха	5	70	0,54	,746	,02
	конфигурация	1	14	1,83	,198	,02
	эпоха х конфигурация	5	70	1,23	,303	,03

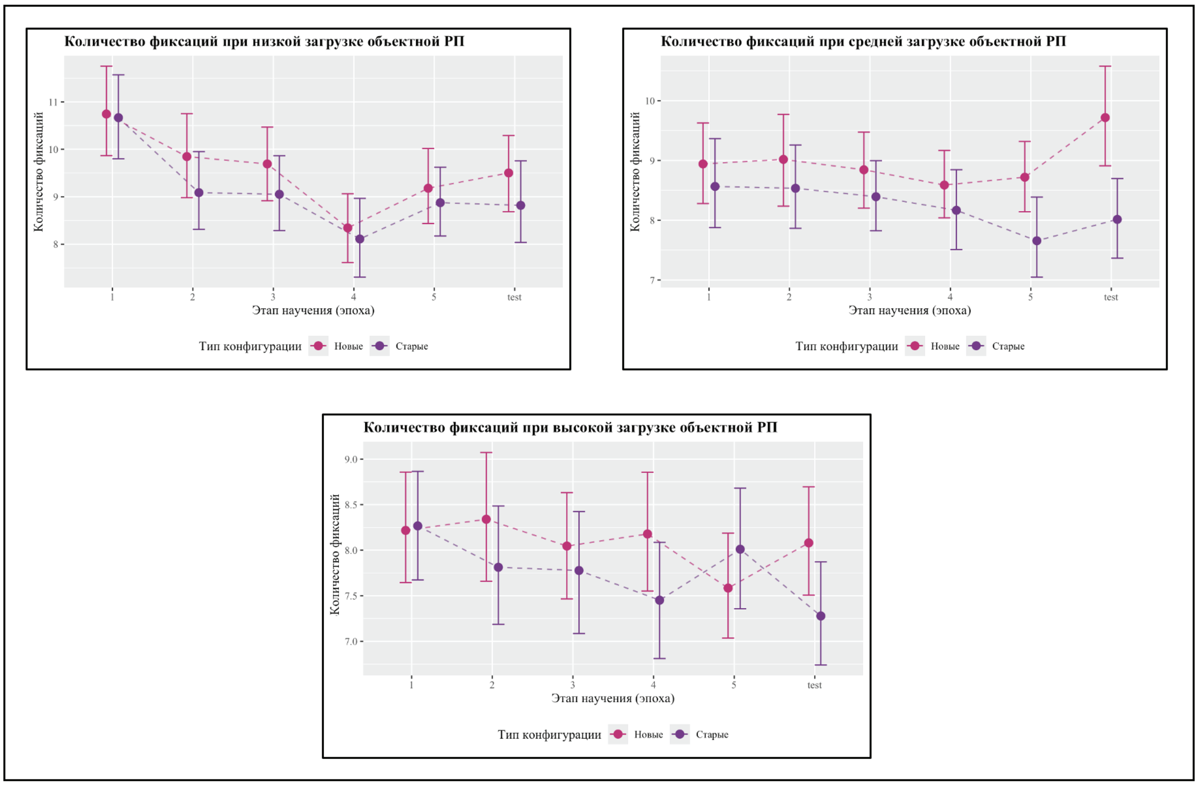

Рис. 4. Зависимость количества фиксаций от номера эпохи, типа конфигурации и объема РП при разных степенях загрузки объектной РП.

контекстной подсказки наблюдалась всегда, так как испытуемые быстрее искали цель при предъявлении старых конфигураций, а также в этом случае уменьшалась длительность фиксаций на цели и общее количество фиксаций. Таким образом, результаты общих дисперсионных анализов по времени реакции, длительности фиксаций на цели, количеству фиксаций в целом согласуются между собой.

При анализе длительности фиксаций на цели были выявлены взаимодействия факторов конфигурации и эпохи, а также конфигурации и степени загрузки, в то время как при анализе времени реакции было выявлено только взаимодействие факторов конфигурации и эпохи. При анализе количества фиксаций не было выявлено никаких значимых взаимодействий. Выявленные взаимодействия факторов конфигурации и эпохи свидетельствуют в пользу того, что, во-первых, эффект контекстной подсказки возникал на протяжении всего эксперимента, а во-вторых, промежуток в длительности фиксации на цели с увеличением эпохи для новых и старых конфигураций увеличивался. Этот результат визуализирован на рис. 3: в каждом из условий, независимо от степени загрузки объектной РП, длительность фиксаций на цели для старых конфигураций снижалась с течением эксперимента по сравнению с длительностью фиксаций на цели для новых конфигураций. При анализе времени реакции и количества фиксаций (рис. 2, 4) такой тенденции не наблюдалось. Полученный результат можно интерпретировать так: длительность фиксаций на цели – более точный показатель возникновения эффекта контекстной подсказки, поскольку, согласно ему, даже в условиях высокой загрузки объектной РП эффект возникает. Кроме того, ответ на задачу зрительного поиска давался с помощью компьютерной мыши, а не клавиатуры, как в классических экспериментах по изучению контекстной подсказки. Мы приняли решение модифицировать классическую процедуру после проведения пилотного эксперимента: субъективные отчеты испытуемых показали, что им было проще давать ответ на задачу на РП с клавиатуры, а потом использовать компьютерную мышь, чтобы выполнить задачу зрительного поиска, нежели давать ответы по обеим задачам с помощью клавиатуры. Такое изменение процедуры могло повлиять на результаты эксперимента по показателю времени реакции в условиях средней и высокой загрузок РП: ответ с помощью мыши менее быстрый, чем с помощью клавиатуры, так как нужно навести ее на стимул.

Характер возникновения эффекта контекстной подсказки можно проанализировать после проведения отдельных дисперсионных анализов для разных степеней загрузок объектной РП. В каждом из дисперсионных анализов времени реакции для трех условий загрузки РП наблюдались эффекты эпохи. В условиях низкой загрузки наблюдался эффект конфигурации, а в условиях средней и высокой – взаимодействие факторов эпохи и конфигурации. Отсутствие значимого эффекта типа конфигурации в условиях средней и высокой загрузки РП позволяет предположить, что загрузка РП влияла на время реакции обнаружения цели для старых и новых конфигураций, следовательно, эффект контекстной подсказки снижался с увеличением степени загрузки РП. Важно отметить, что для загрузки РП мы использовали задачу именно на объектную РП, а не на пространственную. Наше исследование показало, что по показателю времени реакции загрузка объектной РП влияет на возникновение эффекта контекстной подсказки, для которого предположительно необходима пространственная РП. Этот результат в целом согласуется с ячеечными моделями РП и поддерживает предположение о зависимости пространственного компонента РП от объектного. Выводы нашего исследования также можно проинтерпретировать с точки зрения ресурсных моделей РП: при увеличении загрузки объектной РП становится все меньше ресурсов на сохранение каждой репрезентации в РП. При этом нет различия в том, какие конкретно репрезентации сохраняются в РП: пространственные или объектные. Наше исследование не опровергает ни ячеечные, ни ресурсные модели РП, однако оно согласуется с более общим предположением о том, что пространственные и объектные компоненты РП зависимы друг от друга.

При анализе длительности фиксаций на цели для трех степеней загрузок объектной РП по отдельности были выявлены эффекты эпохи, типа конфигурации и взаимодействия этих факторов и для низкой, и для высокой степеней загрузок объектной РП. В условиях средней загрузки не было выявлено только взаимодействия факторов эпохи и типа конфигурации. Таким образом, длительность фиксаций на цели была ниже в случае старых конфигураций независимо от степени загрузки объектной РП. Этот результат свидетельствует в пользу теории позднего локуса, объясняющей механизм возникновения эффекта контекстной подсказки за счет уменьшения времени фиксации на цели. Соотнося теорию позднего локуса с процессом верификации, можно предположить, что последний устойчив к загрузке РП, поскольку он протекает не в ней, а в активированной долговременной памяти, где хранится шаблон цели. Следовательно, время фиксации на цели не зависит от загрузки РП, но в то же время отражает возникновение этого эффекта.

Дисперсионные анализы количества фиксаций для трех степеней загрузок объектной РП по отдельности выявили эффекты эпохи и типа конфигурации в условии низкой загрузки объектной РП, а также эффект типа конфигурации в условии средней загрузки. Остальные различия не были значимыми. Этот результат свидетельствует в пользу теории раннего локуса, но только для условия низкой загрузки объектной РП. Ранее мы предположили, что теория раннего локуса соотносится с процессом гайденса, описанным в теории управляемого поиска. Поскольку он осуществляется с помощью шаблона гайденса, который хранится в РП, увеличение ее загрузки приводит к нарушению работы гайденса и, как следствие, к исчезновению эффекта контекстной подсказки. Этот результат согласуется с большинством эмпирических исследований, посвященных локусу контекстной подсказки, и подтверждает, что на механизм рассматриваемого эффекта оказывают влияние процессы, происходящие на ранних этапах зрительного поиска.

Средняя точность выполнения задачи на распознавание конфигураций была на уровне случайного угадывания. Это свидетельствует о том, что испытуемые не могли отличить старые конфигурации от новых. Таким образом, можно предположить, что наблюдаемый эффект контекстной подсказки действительно был имплицитным.

Итак, эффект контекстной подсказки уменьшался с увеличением степени загрузки объектной РП по показателям времени реакции и количества фиксаций, в то время как по показателям длительности фиксаций на цели эффект был устойчив к любой степени загрузки объектной РП. Результаты настоящего исследования частично согласуются с предыдущими работами. Так, в них были получены данные, согласно которым количество фиксаций было меньше для повторяющихся конфигураций по сравнению с новыми [Harris, Remington, 2017; Manginelli, Pollmann, 2009]. В нашем исследовании количество фиксаций было меньше для повторяющихся конфигураций по сравнению с новыми только в условии низкой загрузки объектной РП. Результаты дисперсионных анализов времени реакции, количества фиксаций, длительности фиксаций на цели также были сопоставимы, что соотносится с предыдущими исследованиями [Tseng, Li, 2004]. Также были получены результаты, согласно которым точность выполнения задачи на распознавание конфигураций была на уровне случайного угадывания, что позволяет предположить имплицитность эффекта контекстной подсказки и соотносится с большинством работ по этому эффекту. Однако в предыдущих исследованиях не изучалось влияние разных степеней загрузки РП на механизм эффекта контекстной подсказки, кроме того, ранее редко рассматривалась длительность фиксаций на цели как показатель этого эффекта. Наше исследование вносит вклад в понимание механизма контекстной подсказки: по показателям времени реакции и количества фиксаций загрузка объектной РП влияет на эффект, в то время как длительность фиксации на цели не зависит от загрузки РП, хоть и отражает возникновение эффекта. Таким образом, при любой степени загрузки РП эффект возникает за счет того, что уменьшается время верификации цели, а это в большей степени соотносится с теорией позднего локуса контекстной подсказки.

Заключение

Мы провели исследование с использованием метода регистрации движений глаз, чтобы изучить механизм контекстной подсказки в условии загрузки объектной РП. Результаты показывают, что эффект контекстной подсказки в целом возникал на протяжении всего эксперимента, однако с увеличением степени загрузки объектной РП сила эффекта снижалась, о чем свидетельствуют показатели времени реакции и длительности фиксаций на цели. Этот результат говорит о том, что объектная РП влияет на возникновение эффекта контекстной подсказки. Кроме того, точность задачи на распознавание конфигураций была на уровне случайности, что свидетельствует об имплицитности этого эффекта. Однако по показателям переменной длительности фиксаций на цели эффект был устойчив к любой степени загрузки объектной РП. Этот результат подтверждает, что длительность фиксаций на цели – более точный показатель, свидетельствующий о возникновении эффекта контекстной подсказки.

Основные ограничения исследования состоят в том, что, во-первых, в эксперименте загрузке подвергалась только объектная РП, однако мы предполагаем, что пространственная РП задействована в возникновении эффекта контекстной подсказки в большей степени. Перспективой для следующих работ по теме может быть изучение влияния пространственной РП на механизм рассматриваемого эффекта. Во-вторых, в эксперименте был использован только один тип двойной задачи, хотя предыдущие исследования с использованием разных типов двойных задач показывают отличающиеся друг от друга результаты. Таким образом, проведение эксперимента со схожей методологией, но с другим типом двойной задачи (1–5 эпохи – только задача зрительного поиска, 6 эпоха – задача зрительного поиска и задача на загрузку РП) – перспектива для дальнейших исследований роли РП в эффекте контекстной подсказки.

Благодарности

Авторы выражают огромную благодарность Логиновой Таисии Сергеевне и Филипповой Дарье Алексеевне за помощь с рекрутингом испытуемых и проведением экспериментов с использованием айтрекера.

Финансирование

Исследование осуществлено в рамках Программы фундаментальных исследований НИУ ВШЭ в 2024 году

Литература

Морошкина Н. В., Гершкович В. А. Актуальные тенденции в исследовании имплицитного научения. Вестник Санкт-Петербургского университета. Психология, 2014, No. 4, 14–24.

Уточкин И. С., Юревич М. А., Булатова М. Е. Зрительная рабочая память: методы, исследования, теории. Российский журнал когнитивной науки, 2016, 3(3), 58–76.

Annac E., Manginelli A.A., Pollmann S., Shi Z., Müller H.J., Geyer T. Memory under pressure: Secondary-task effects on contextual cueing of visual search. Journal of Vision, 2013, 13(6), 1–15. doi:10.1167/13.13.6

Annac E., Zang X., Müller H.J., Geyer T. A secondary task is not always costly: Context-based guidance of visual search survives interference from a demanding working memory task. British journal of psychology, 2019, 110(2), 381–399. doi:10.1111/bjop.12346

Baddeley A., Hitch G. Developments in the concept of working memory. Neuropsychology, 1994, 8(4), 485–493. doi:10.1037/0894-4105.8.4.485

Baddeley A., Hitch G. Working memory. Psychology of Learning and Motivation, 1974, Vol. 8, 47–89. doi:10.1016/S0079-7421(08)60452-1

Baddeley A. The episodic buffer: a new component of working memory? Trends in Cognitive Sciences, 2000, 4(11), 417–423. doi:10.1016/s1364-6613(00)01538-2

Bennett I.J., Barnes K.A., Howard J.H. Jr., Howard D.V. An abbreviated implicit spatial context learning task that yields greater learning. Behavior research methods, 2009, 41(2), 391–395. doi:10.3758/BRM.41.2.391

Biederman I. Perceiving real-world scenes. Science, 1972, 177(4043), 77–80. doi:10.1126/science.177.4043.77

Brady T.F., Chun M.M. Spatial constraints on learning in visual search: Modeling contextual cuing. Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 2007, 33(4), 798–815. doi:10.1037/0096-1523.33.4.798

Brady T.F., Konkle T., Alvarez G.A. A review of visual memory capacity: Beyond individual items and toward structured representations. Journal of vision, 2011, 11(5), 4. doi:10.1167/11.5.4

Chai W.J., Abd Hamid A.I., Abdullah J.M. Working memory from the psychological and neurosciences perspectives: A review. Frontiers in Psychology, 2018, 9. doi:10.3389/fpsyg.2018.00401

Chaumon M., Drouet V., Tallon-Baudry C. Unconscious associative memory affects visual processing before 100 ms. Journal of Vision, 2008, 8(3), 1–10. doi:10.1167/8.3.10

Chen M., Wang C., Sclodnick B., Zhao G., Liu X. Executive working memory involved in the learning of contextual cueing effect. Experimental Brain Research, 2019, Vol. 237, 3059–3070. doi:10.1007/s00221-019-05643-7

Chun M.M., Jiang Y. Contextual cueing: Implicit learning and memory of visual context guides spatial attention. Cognitive Psychology, 1998, 36(1), 28–71. doi:0.1006/cogp.1998.0681

Courtney S.M., Ungerleider L.G., Keil K., Haxby J.V. Object and Spatial Visual Working Memory Activate Separate Neural Systems in Human Cortex. Cerebral Cortex, 1996, 6(1), 39–49. doi:10.1093/cercor/6.1.39

Cowan N. The Magical Mystery Four. Current Directions in Psychological Science, 2010, 19(1), 51–57. doi:10.1177/0963721409359277

Desimone R., Duncan J. Neural mechanisms of selective visual attention. Annual Review of Neuroscience, 1995, 18(1), 193–222.

Duncan J. Selective attention and the organization of visual information. Journal of Experimental Psychology: General, 1984, 113(4), 501–517. doi:10.1037/0096-3445.113.4.501

Harris A.M., Remington R.W. Contextual cueing improves attentional guidance, even when guidance is supposedly optimal. Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 2017, 43(5), 926–940. doi:10.1037/xhp0000394

Horowitz T.S., Wolfe J.M. Visual search has no memory. Nature, 1998, 394(6693), 575–577. doi:10.1038/29068

Kunar M.A., Flusberg S., Horowitz T.S., Wolfe J.M. Does contextual cuing guide the deployment of attention? Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 2007, 33(4), 816–828. doi:10.1037/0096-1523.33.4.816

Lleras A., Von Mühlenen A. Spatial context and top-down strategies in visual search. Spatial vision, 2004, 17(4–5), 465–482. doi:10.1163/1568568041920113

Luck S., Vogel E. The capacity of visual working memory for features and conjunctions. Nature, 1997, 390(6657), 279–281. doi:10.1038/36846

Ma W.J., Husain M., Bays P.M. Changing concepts of working memory. Nature neuroscience, 2014, 17(3), 347–356. doi:10.1038/nn.3655

Mance I., Vogel E.K. Visual working memory. Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science, 2013, 4(2), 179–190. doi:10.1002/wcs.1219

Manelis A., Reder L.M. Procedural learning and associative memory mechanisms contribute to contextual cueing: Evidence from fMRI and eye-tracking. Learning and memory (Cold Spring Harbor, N.Y.), 2012, 19(11), 527–534. doi:10.1101/lm.025973.112

Manginelli A.A., Langer N., Klose D., Pollmann S. Contextual cueing under working memory load: Selective interference of visuospatial load with expression of learning. Attention, Perception, and Psychophysics, 2013, 75(6), 1103–1117. doi:10.3758/s13414-013-0466-5

Maxfield J.T., Zelinsky G.J. Searching through the hierarchy: How level of target categorization affects visual search. Visual Cognition, 2012, 20(10), 1153–1163. doi:10.1080/13506285.2012.735718

Olson I.R., Chun M.M. Perceptual constraints on implicit learning of spatial context. Visual Cognition, 2002, 9(3), 273–302. doi:10.1080/13506280042000162

Reber P.J. The neural basis of implicit learning and memory: A review of neuropsychological and neuroimaging research. Neuropsychologia, 2013, 51(10), 2026–2042. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2013.06.019

Peterson M., Kramer A. Attentional guidance of the eyes by contextual information and abrupt onsets. Perception and Psychophysics, 2001, Vol. 63, 1239–1249. doi:10.3758/bf03194537

Seger C.A. Implicit learning. Psychological Bulletin, 1994, 115(2), 163–196. doi:10.1037/0033-2909.115.2.163

Sisk C.A., Remington R.W., Jiang Y.V. Mechanisms of contextual cueing: A tutorial review. Attention, perception and psychophysics, 2019, 81(8), 2571–2589. doi:10.3758/s13414-019-01832-2

Smith E.E., Jonides J., Koeppe R.A., Awh E., Schumacher E.H., Minoshima S. Spatial versus object working memory: PET investigations. Journal of Cognitive Neuroscience, 1995, 7(3), 337–356. doi:10.1162/jocn.1995.7.3.337

Travis S. L., Mattingley, J. B., Dux, P. E. On the role of working memory in spatial contextual cueing. Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 2013, 39(1), 208–219. doi:10.1037/a0028644

Ungerleider L.G., Courtney S.M., Haxby J.V. A neural system for human visual working memory. Proceedings of the National Academy of Sciences, 1998, 95(3), 883–890. doi:10.1073/pnas.95.3.883

Vickery T.J., Sussman R.S., Jiang Y.V. Spatial context learning survives interference from working memory load. Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 2010, 36(6), 1358–1371. doi:10.1037/a0020558

Vadillo M.A., Konstantinidis E., Shanks D.R. Underpowered samples, false negatives, and unconscious learning. Psychonomic Bulletin and Review, 2016, 23(1), 87–102. doi:10.3758/s13423-015-0892-6

Vicente-Conesa F., Giménez-Fernández T., Shanks D.R., Vadillo M.A. The role of working memory in contextual cueing of visual attention. Cortex: A Journal Devoted to the Study of the Nervous System and Behavior, 2022, Vol. 154, 287–298. doi:10.1016/j.cortex.2022.05.019

Wolfe J.M. Guided Search 6.0: An updated model of visual search. Psychonomic bulletin and review, 2021, 28(4), 1060–1092. doi:10.3758/s13423-020-01859-9

Wolfe J.M., Horowitz T.S. Five Factors that Guide Attention in Visual Search. Nature human behaviour, 2017, 1(3), 0058. doi:10.1038/s41562-017-0058

Zhang W., Luck S.J. Discrete fixed-resolution representations in visual working memory. Nature, 2008, 453(7192), 233–235. doi:10.1038/nature06860

Zhao G., Liu Q., Jiao J., Zhou P., Li H., Sun H.-J. Dual-state modulation of the contextual cueing effect: Evidence from eye movement recordings. Journal of Vision, 2012, 12(6), 11. doi:10.1167/12.6.11

Поступила в редакцию: 6 июля 2024 г. Дата публикации: 30 декабря 2024 г.

Сведения об авторах

Сигнаевская Ксения Владимировна. Стажер-исследователь научно-учебной лаборатории когнитивной психологии пользователя цифровых интерфейсов, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ), ул. Мясницкая, д. 20, 101000 Москва, Россия.
E-mail: sgnvskaya@gmail.com

Горбунова Елена Сергеевна. Кандидат психологических наук, доцент департамента психологии, заведующая научно-учебной лабораторией когнитивной психологии пользователя цифровых интерфейсов, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ), ул. Мясницкая, д. 20, 101000 Москва, Россия.
E-mail: gorbunovaes@gmail.com

Ссылка для цитирования

Сигнаевская К.В., Горбунова Е.С. Роль рабочей памяти в механизме эффекта контекстной подсказки: исследование методом регистрации движений глаз. Психологические исследования. 2024. Т. 17, № 97. С. 5.
URL: https://psystudy.ru

Адрес статьи:

https://doi.org/10.54359/ps.v17i97.1658

The role of working memory in the contextual cueing effect: eye-tracking study

Signaevskaya K.V.[1], **Gorbunova E.S.**[1]

[1] National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia

The present study examines the contextual cueing effect under varying levels of object working memory (WM) load. The contextual cueing effect refers to the phenomenon where repeated exposure to a specific arrangement of target objects and distractors leads to a reduction in target retrieval time, despite participants being unable to consciously distinguish between «old» and «new» configurations. This suggests the effect operates implicitly. Two main theories have been proposed regarding the locus of contextual cueing: the «early» locus theory posits that the effect occurs prior to target detection, while the «late» locus theory suggests it occurs after the target has been detected. These theories align with the distinction between guidance and verification processes in visual search. Previous research has yielded mixed results concerning the influence of WM load on the contextual cueing effect, and to date, no studies have utilized eye-tracking methodologies to explore the role of WM load in this phenomenon.

In this study, we conducted an experiment combining a visual search task with an object WM load task to identify patterns in participants' performance. Reaction time, number of fixations, and fixation duration on the target were measured as dependent variables. The results revealed that increased WM load diminished the contextual cueing effect for reaction time and number of fixations. However, the effect on fixation duration remained robust across all WM load levels. These findings support the hypothesis that high WM load disrupts the guidance process, leading to the attenuation of the contextual cueing effect in terms of reaction time and fixation count. In contrast, the fixation duration on the target appears unaffected by WM load, suggesting it may reflect the persistence of contextual cueing despite the breakdown of guidance mechanisms.

Keywords: working memory, context cueing effect, implicit learning, visual search, eye tracking

Acknowledgements

The authors would like to thank Taisiya Sergeevna Loginova and Daria Alekseevna Filippova for their help in recruiting subjects and conducting eye tracking experiments.

Funding

The study was implemented in the framework of the Basic Research Program at the National Research University Higher School of Economics (HSE University) in 2024.

References

Annac E., Manginelli A.A., Pollmann S., Shi Z., Müller H.J., Geyer T. Memory under pressure: Secondary-task effects on contextual cueing of visual search. Journal of Vision, 2013, 13(6), 1–15. doi:10.1167/13.13.6

Annac E., Zang X., Müller H.J., Geyer T. A secondary task is not always costly: Context-based guidance of visual search survives interference from a demanding working memory task. British journal of psychology, 2019, 110(2), 381–399. doi:10.1111/bjop.12346

Baddeley A., Hitch G. Developments in the concept of working memory. Neuropsychology, 1994, 8(4), 485–493. doi:10.1037/0894-4105.8.4.485

Baddeley A., Hitch G. Working memory. Psychology of Learning and Motivation, 1974, Vol. 8, 47–89. doi:10.1016/S0079-7421(08)60452-1

Baddeley A. The episodic buffer: a new component of working memory? Trends in Cognitive Sciences, 2000, 4(11), 417–423. doi:10.1016/s1364-6613(00)01538-2

Bennett I.J., Barnes K.A., Howard J.H. Jr., Howard D.V. An abbreviated implicit spatial context learning task that yields greater learning. Behavior research methods, 2009, 41(2), 391–395. doi:10.3758/BRM.41.2.391

Biederman I. Perceiving real-world scenes. Science, 1972, 177(4043), 77–80. doi:10.1126/science.177.4043.77

Brady T.F., Chun M.M. Spatial constraints on learning in visual search: Modeling contextual cuing. Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 2007, 33(4), 798–815. doi:10.1037/0096-1523.33.4.798

Brady T.F., Konkle T., Alvarez G.A. A review of visual memory capacity: Beyond individual items and toward structured representations. Journal of vision, 2011, 11(5), 4. doi:10.1167/11.5.4

Chai W.J., Abd Hamid A.I., Abdullah J.M. Working memory from the psychological and neurosciences perspectives: A review. Frontiers in Psychology, 2018, 9. doi:10.3389/fpsyg.2018.00401

Chaumon M., Drouet V., Tallon-Baudry C. Unconscious associative memory affects visual processing before 100 ms. Journal of Vision, 2008, 8(3), 1–10. doi:10.1167/8.3.10

Chen M., Wang C., Sclodnick B., Zhao G., Liu X. Executive working memory involved in the learning of contextual cueing effect. Experimental Brain Research, 2019, Vol. 237, 3059–3070. doi:10.1007/s00221-019-05643-7

Chun M.M., Jiang Y. Contextual cueing: Implicit learning and memory of visual context guides spatial attention. Cognitive Psychology, 1998, 36(1), 28–71. doi:0.1006/cogp.1998.0681

Courtney S.M., Ungerleider L.G., Keil K., Haxby J.V. Object and Spatial Visual Working Memory Activate Separate Neural Systems in Human Cortex. Cerebral Cortex, 1996, 6(1), 39–49. doi:10.1093/cercor/6.1.39

Cowan N. The Magical Mystery Four. Current Directions in Psychological Science, 2010, 19(1), 51–57. doi:10.1177/0963721409359277

Desimone R., Duncan J. Neural mechanisms of selective visual attention. Annual Review of Neuroscience, 1995, 18(1), 193–222.

Duncan J. Selective attention and the organization of visual information. Journal of Experimental Psychology: General, 1984, 113(4), 501–517. doi:10.1037/0096-3445.113.4.501

Harris A.M., Remington R.W. Contextual cueing improves attentional guidance, even when guidance is supposedly optimal. Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 2017, 43(5), 926–940. doi:10.1037/xhp0000394

Horowitz T.S., Wolfe J.M. Visual search has no memory. Nature, 1998, 394(6693), 575–577. doi:10.1038/29068

Kunar M.A., Flusberg S., Horowitz T.S., Wolfe J.M. Does contextual cuing guide the deployment of attention? Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 2007, 33(4), 816–828. doi:10.1037/0096-1523.33.4.816

Lleras A., Von Mühlenen A. Spatial context and top-down strategies in visual search. Spatial vision, 2004, 17(4–5), 465–482. doi:10.1163/1568568041920113

Luck S., Vogel E. The capacity of visual working memory for features and conjunctions. Nature, 1997, 390(6657), 279–281. doi:10.1038/36846

Ma W.J., Husain M., Bays P.M. Changing concepts of working memory. Nature neuroscience, 2014, 17(3), 347–356. doi:10.1038/nn.3655

Mance I., Vogel E.K. Visual working memory. Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science, 2013, 4(2), 179–190. doi:10.1002/wcs.1219

Manelis A., Reder L.M. Procedural learning and associative memory mechanisms contribute to contextual cueing: Evidence from fMRI and eye-tracking. Learning and memory (Cold Spring Harbor, N.Y.), 2012, 19(11), 527–534. doi:10.1101/lm.025973.112

Manginelli A.A., Langer N., Klose D., Pollmann S. Contextual cueing under working memory load: Selective interference of visuospatial load with expression of learning. Attention, Perception, and Psychophysics, 2013, 75(6), 1103–1117. doi:10.3758/s13414-013-0466-5

Maxfield J.T., Zelinsky G.J. Searching through the hierarchy: How level of target categorization affects visual search. Visual Cognition, 2012, 20(10), 1153–1163. doi:10.1080/13506285.2012.735718

Moroshkina N.V., Gershkovich V.A. Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Psihologiya, 2014, No. 4, 14–24. (in Russian)

Olson I.R., Chun M.M. Perceptual constraints on implicit learning of spatial context. Visual Cognition, 2002, 9(3), 273–302. doi:10.1080/13506280042000162

Reber P.J. The neural basis of implicit learning and memory: A review of neuropsychological and neuroimaging research. Neuropsychologia, 2013, 51(10), 2026–2042. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2013.06.019

Peterson M., Kramer A. Attentional guidance of the eyes by contextual information and abrupt onsets. Perception and Psychophysics, 2001, Vol. 63, 1239–1249. doi:10.3758/bf03194537

Seger C.A. Implicit learning. Psychological Bulletin, 1994, 115(2), 163–196. doi:10.1037/0033-2909.115.2.163

Sisk C.A., Remington R.W., Jiang Y.V. Mechanisms of contextual cueing: A tutorial review. Attention, perception and psychophysics, 2019, 81(8), 2571–2589. doi:10.3758/s13414-019-01832-2

Smith E.E., Jonides J., Koeppe R.A., Awh E., Schumacher E.H., Minoshima S. Spatial versus object working memory: PET investigations. Journal of Cognitive Neuroscience, 1995, 7(3), 337–356. doi:10.1162/jocn.1995.7.3.337

Travis S. L., Mattingley, J. B., Dux, P. E. On the role of working memory in spatial contextual cueing. Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 2013, 39(1), 208–219. doi:10.1037/a0028644

Ungerleider L.G., Courtney S.M., Haxby J.V. A neural system for human visual working memory. Proceedings of the National Academy of Sciences, 1998, 95(3), 883–890. doi:10.1073/pnas.95.3.883

Utochkin I.S., YUrevich M.A., Bulatova M.E. Rossijskij zhurnal kognitivnoj nauki, 2016, 3(3), 58–76. (in Russian)

Vickery T.J., Sussman R.S., Jiang Y.V. Spatial context learning survives interference from working memory load. Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 2010, 36(6), 1358–1371. doi:10.1037/a0020558

Vadillo M.A., Konstantinidis E., Shanks D.R. Underpowered samples, false negatives, and unconscious learning. Psychonomic Bulletin and Review, 2016, 23(1), 87–102. doi:10.3758/s13423-015-0892-6

Vicente-Conesa F., Giménez-Fernández T., Shanks D.R., Vadillo M.A. The role of working memory in contextual cueing of visual attention. Cortex: A Journal Devoted to the Study of the Nervous System and Behavior, 2022, Vol. 154, 287–298. doi:10.1016/j.cortex.2022.05.019

Wolfe J.M. Guided Search 6.0: An updated model of visual search. Psychonomic bulletin and review, 2021, 28(4), 1060–1092. doi:10.3758/s13423-020-01859-9

Wolfe J.M., Horowitz T.S. Five Factors that Guide Attention in Visual Search. Nature human behaviour, 2017, 1(3), 0058. doi:10.1038/s41562-017-0058

Zhang W., Luck S.J. Discrete fixed-resolution representations in visual working memory. Nature, 2008, 453(7192), 233–235. doi:10.1038/nature06860

Zhao G., Liu Q., Jiao J., Zhou P., Li H., Sun H.-J. Dual-state modulation of the contextual cueing effect: Evidence from eye movement recordings. Journal of Vision, 2012, 12(6), 11. doi:10.1167/12.6.11

Information about authors

Signaevskaya Kseniya Vladimirovna. Research assistant at the Laboratory for Cognitive Psychology of Digital Interface Users, National Research University Higher School of Economics, Myasnitskaya street, 20, 101000 Moscow, Russia.
E-mail: sgnvskaya@gmail.com

Gorbunova Elena Sergeevna. PhD in Psychology, Associate Professor at the Department of Psychology, Head of Laboratory for Cognitive Psychology of Digital Interface Users, National Research University Higher School of Economics, Myasnitskaya street, 20, 101000 Moscow, Russia.
E-mail: gorbunovaes@gmail.com

For citation:

Signaevskaya K.V., Gorbunova E.S. The role of working memory in the contextual cueing effect: eye-tracking study. Psikhologicheskie Issledovaniya, 2024, Vol. 17, No. 97, p. 5.
https://psystudy.ru