



# ВЛИЯНИЕ НАГРУЗКИ НА ВЕРБАЛЬНУЮ РАБОЧУЮ ПАМЯТЬ ПРИ ГЛАЗОДВИГАТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ В УСЛОВИЯХ ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЯ ЗРИТЕЛЬНОГО ПОИСКА

**ВЕЛИЧКОВСКИЙ Б.Б.\***, факультет психологии, МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия,  
e-mail: velitchk@mail.ru

**ИЗМАЛКОВА А.И.\*\***, факультет психологии, МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия,  
e-mail: mayoran@mail.ru

В структуре рабочей памяти исследователями выделяются компоненты, отвечающие за хранение вербальной и зрительно-пространственной информации; несмотря на достаточно подробную изученность функций и механизмов их работы, вопрос об их взаимном влиянии остается открытым. В ходе исследований влияния нагрузки на вербальную рабочую память на особенности выполнения зрительного поиска – задания, требующего использования ресурсов зрительно-пространственной рабочей памяти – было обнаружено, что нагрузка на вербальную рабочую память приводит к повышению эффективности обнаружения целей. Результаты анализа глазодвигательной активности в условиях выполнения задания зрительного поиска также указывают на то, что выполнение такого рода задания в условиях нагрузки на вербальную рабочую память сопровождается увеличением когнитивной напряженности и повышением степени автоматизации поиска. Полученные результаты могут свидетельствовать о взаимодействии вербального и зрительно-пространственного компонентов рабочей памяти, связанного с разделением неспецифических когнитивных ресурсов между ними.

**Ключевые слова:** вербальная рабочая память, зрительно-пространственная рабочая память, зрительный поиск, автоматизмы, когнитивные ресурсы.

## Введение

Рабочая память – это система когнитивных процессов, обеспечивающих хранение и переработку информации, необходимой для решения актуально стоящих перед человеком задач (Клингберг, 2010; Baddeley, 1986; Turner, Engle, 1989). Роль рабочей памяти может быть наглядно продемонстрирована в ситуациях выполнения простых арифметических вычислений. В ходе осуществления арифметических действий ресурсы рабочей памяти используются для удержания операндов, применения к ним операций и сохранения промежуточных результатов. Необходимость использования рабочей памяти возникает тогда, когда решение задачи требует актуализации когнитивных репрезентаций и осуществления трансформаций над ним в некотором «ментальном пространстве» (Franklin, Vaars, 2003).

### Для цитаты:

Величковский Б.Б., Измакова А.И. Влияние нагрузки на вербальную рабочую память при глазодвигательной активности в условиях выполнения задания зрительного поиска // Экспериментальная психология. 2015. Т. 8. № 2. С. 21–35. doi:10.17759/exppsy.2015080203

\*Величковский Б.Б. Кандидат психологических наук, доцент кафедры методологии психологии, факультет психологии, МГУ имени М.В. Ломоносова. E-mail: velitchk@mail.ru

\*\*Измакова А.И. Научный сотрудник, лаборатория психологии труда, факультет психологии, МГУ имени М.В. Ломоносова. E-mail: mayoran@mail.ru



С точки зрения современных теорий, именно рабочая память выполняет функцию «ментального рабочего пространства», напрямую связанного с функциями произвольного контроля деятельности и сознания. Более того, исследователи указывают на тот факт, что индивидуальные различия в объеме рабочей памяти тесно связаны с показателями общего интеллекта (Ackerman et al., 2005) и эффективностью выполнения различных видов сложной деятельности (Engle et al., 1999).

Сегодня наблюдается значительный рост числа исследований, посвященных изучению структуры рабочей памяти и ее механизмов. Несмотря на большое количество концепций структуры рабочей памяти, основной моделью рабочей памяти до сих пор является мультikomпонентная модель А. Бэддели (Baddeley, 1986). В этой модели рабочая память представляется в виде иерархически организованной системы компонентов, в которой выделяется управляющий компонент («центральный исполнитель») и несколько подчиненных ему систем хранения. Системы хранения обеспечивают удержание информации в течение непродолжительных интервалов времени, причем поддержание активации отдельных репрезентаций осуществляется с помощью специализированных процессов «обновления» информации. Различные системы хранения предназначены для удержания информации разных типов. В экспериментальных исследованиях А. Бэддели хорошо документировано различие между системами хранения вербальных и зрительных репрезентаций. Вербальная информация удерживается в так называемой фонологической петле, а зрительная – в так называемом зрительно-пространственном блокноте (хранение репрезентаций объектов и их пространственных положений осуществляется отдельно). Хранение информации прочих модальностей (например, кинестетической) осуществляется в других системах хранения.

Полученные в экспериментальных работах данные о наличии в структуре рабочей памяти компонентов, связанных с переработкой вербальной и зрительно-пространственной информации, подтверждаются результатами корреляционных исследований (Giofre et al., 2013). В частности, исследования такого рода указывают на то, что латентные факторы, соответствующие вербальному и зрительно-пространственному компоненту, практически ортогональны друг другу (Shah, Miyake, 1996). Таким образом, функционирование этих компонентов описывается как независимое. Такая изоляция вербального и зрительно-пространственного компонентов имплицитно предполагается и в модели А. Бэддели. Тем не менее, вопрос о взаимовлиянии вербального и зрительно-пространственного компонентов остается открытым. Теоретическое значение этого вопроса заключается в том, что его решение связано с решением вопроса о роли доменно-неспецифических когнитивных ресурсов в функционировании рабочей памяти. Если вербальный и зрительно-пространственный компоненты оказывают влияние друг на друга, то справедливо предположение о существенном вкладе неспецифических ресурсов в реализацию функций рабочей памяти. Установление справедливости этого предположения позволяет проследить связь между функциями рабочей памяти и функциями сознательного контроля когнитивной деятельности человека (Миллер и др., 1965; Franklin, Vaars, 2003).

Цель данного исследования состояла в определении степени влияния деятельности вербального компонента хранения информации на работу зрительно-пространственного компонента. Для этого необходимо, в первую очередь, оценить, в какой мере необходимость удержания информации в вербальном компоненте определяет особенности выполнения задачи, требующей использования зрительно-пространственного компонента. В качестве такой задачи была выбрана задача зрительного поиска (Treisman, Gelade, 1980). Многие специ-



алисты в области когнитивной науки не раз высказывали предположения о том, что зрительный поиск осуществляется с привлечением ресурсов зрительно-пространственной рабочей памяти, в частности, для сравнения обследуемых объектов с эталоном и для удержания информации о пространственном положении объектов (Bundesen, 1990; Woodman, Luck, 2004). Так как влияние нагрузки на вербальную рабочую память на скорость и точность зрительного поиска может быть нейтрализовано такими факторами, как мотивация или мобилизация, способствующими поддержанию заданного уровня эффективности деятельности, то следующим весьма важным вопросом исследования стал вопрос о том, как под влиянием нагрузки на рабочую память изменяется характер глазодвигательной активности, сопровождающей зрительный поиск. Параметры движений глаз, сопровождающих решение многих зрительных и вербальных задач, являются информативными показателями особенностей психологических процессов, лежащих в основе их выполнения (Барabanщиков, Жегалло, 2014).

Итак, был сделан вывод о том, что нагрузка на зрительно-пространственную рабочую память может влиять на осуществление зрительного поиска. Манипулируя нагрузкой на пространственную рабочую память, Вудман и Лак обнаружили, что эффективность зрительного поиска уменьшается вследствие увеличения нагрузки (Woodman, Luck, 2004). При этом нагрузка на рабочую память приводила не только к увеличению времени поиска в среднем, но и к увеличению наклона поисковой кривой, что говорит о снижении эффективности процессов поиска, а не только процессов, связанных с кодированием стимуляции и реализацией моторного ответа. В другом исследовании также было обнаружено, что нагрузка на пространственную рабочую память приводит к снижению эффективности зрительного поиска, в отличие от нагрузки на объектную память (Oh, Kim, 2004). С использованием задачи зрительного поиска с реалистичной стимуляцией (обнаружение пешеходами опасных объектов) показано, что нагрузка на зрительную и пространственную рабочую память объясняет значимую долю дисперсии показателей процессов зрительного поиска (Kovesdi, Barton, 2013). Общий вывод, который может быть сделан из этих исследований, заключается в том, что выполнение зрительного поиска и хранение информации в пространственной рабочей памяти требует использования одного и того же когнитивного механизма с ограниченной пропускной способностью.

Исследования влияния нагрузки на вербальную рабочую память на эффективность зрительного поиска крайне редки. В этих исследованиях сравнивается влияние вербальной и невербальной рабочей памяти. Результаты исследования Андерсона и др. (Anderson et al., 2008) указывают на то, что нагрузка на вербальную рабочую память снижает эффективность контролируемого зрительного поиска в той же мере, в какой ее снижает нагрузка на пространственную рабочую память. Примечательно, что оба вида нагрузки не влияли на эффективность автоматического зрительного поиска. С использованием реалистичного экспериментального сценария (обнаружение периферических объектов во время вождения в симуляторе) также обнаружено, что эффективность зрительного поиска снижается как под воздействием нагрузки на пространственную рабочую память, так и под влиянием нагрузки на вербальную рабочую память (Charatto et al., 2007). Таким образом, нагрузка на вербальную рабочую память может оказывать негативное влияние на выполнение задачи, требующей использования ресурсов зрительно-пространственной рабочей памяти. Эти результаты свидетельствуют в пользу того факта, что процесс выполнения зрительного поиска определяется работой механизмов памяти – общих как для вербальной, так и для зрительно-пространственной рабочей памяти.



Нагрузка на рабочую память может приводить не только к изменениям показателей эффективности выполнения различных когнитивных задач (таких, как задача зрительного поиска), но и к специфическим изменениям глазодвигательной активности (Lehtonen et al., 2012; MacNamara et al., 2012). Например, было показано, что при управлении автомобилем на дороге с поворотами нагрузка на рабочую память приводит к снижению вероятности антиципирующих движений глаз, направленных на мониторинг точек окклюзии – ближайших к водителю точек дороги, за которыми дорога скрыта от наблюдения (Lehtonen et al., 2012). Таким образом, нагрузка на рабочую память приводит к повышению экономичности движений глаз, известному обеднению их динамики, их концентрации на элементах, непосредственно необходимых для выполнения текущей задачи (в данном примере – на элементах, мониторинг которых необходим для поддержания оптимальной траектории движения). Примечательно, что данный эффект был получен в ситуации повышенной нагрузки на рабочую память, вызванную выполнением задания, не имеющего выраженного зрительно-пространственного или моторного компонента. Было продемонстрировано, что нагрузка на рабочую память приводит к увеличению количества фиксаций на предъявляемых испытуемому эмоционально-значимых лицах, т.е. к изменению стратегий распределения и концентрации внимания (MacNamara et al., 2012). В целом, эти и другие исследования показывают, что использование ресурсов рабочей памяти может приводить к изменению характера движений глаз, отражающему изменения в когнитивных стратегиях решения актуально стоящих перед человеком задач.

В данной работе было изучено влияние нагрузки на вербальную рабочую память на глазодвигательную активность при выполнении зрительного поиска в реалистичных зрительных сценах (поиск фигур людей на фотографиях городских ландшафтов). Предполагалось обнаружить изменения характера движений глаз, связанных с тем, что необходимость использовать ресурсы вербальной рабочей памяти приводит к снижению доступности когнитивных ресурсов и, как следствие, к увеличению когнитивной нагрузки при выполнении задачи зрительного поиска. Такие изменения могут наблюдаться в динамике различных показателей глазодвигательной активности, включая как характеристики фиксаций, так и характеристики саккад. Обнаружение изменений глазодвигательной активности при выполнении задачи зрительного поиска, требующей привлечения ресурсов зрительно-пространственной рабочей памяти, под влиянием нагрузки на вербальную рабочую память, позволит опровергнуть предположение о независимости вербального и зрительно-пространственного компонентов рабочей памяти и сделать новые выводы о функциональной организации рабочей памяти.

#### Методика

**Испытуемые.** В эксперименте приняли участие 16 человек, студенты факультета психологии МГУ имени М. В. Ломоносова, 14 женщин и 2 мужчин в возрасте от 20 до 25 лет, с нормальным или скорректированным зрением.

**Аппаратура.** Предъявление зрительной стимуляции осуществлялось с помощью 19" ЖК-монитора, расположенного на расстоянии 60–65 см от испытуемого. Ответы испытуемого фиксировались с помощью клавиатуры. Программирование экспериментальных заданий было осуществлено в программной среде ExperimentBuilder производства SR Research (Канада). Регистрация движений глаз осуществлялась с помощью системы бесконтактной видеорегистрации движений глаз EyeLink 1000 производства SR Research (Канада) с частотой 250 Гц. Выделение фиксаций осуществлялось на основе обработки данных о скорости и ускорении движений глаз.



**Схема эксперимента.** Основной задачей испытуемых было определение наличия изображений людей на фотографиях городских сцен. Фотографии были отобраны случайным образом из набора фотографий, описанного в работе Эрлингера и др. (Ehringer et al., 2009). Указанный набор содержит фотографии городских сцен, уравненные по наличию изображений людей, их пространственному расположению, средней яркости фотографий, и используется для разработки алгоритмов компьютерного зрения, позволяющих автоматически выделять области, непроизвольно привлекающие внимание испытуемых. Из 912 фотографий, содержащихся в этом наборе, для предъявления были отобраны 50 фотографий, содержащих изображения людей, и 50 фотографий, не содержащих изображений людей.

Было использовано два экспериментальных условия – условие с нагрузкой на вербальную рабочую память и условие без нагрузки на вербальную рабочую память. В условии с нагрузкой на вербальную рабочую память испытуемые во время выполнения основного задания должны были удерживать в рабочей памяти набор из четырех случайно отобранных цифр. С этой целью перед предъявлением каждого зрительного кадра, для которого следовало определить наличие или отсутствие изображений людей, испытуемым в течение 5 секунд зрительно предъявлялся набор из четырех цифр. После выполнения основной задачи – определения наличия или отсутствия изображений людей на предъявленном зрительном кадре – испытуемым предъявлялась цифра, и они должны были определить, содержалась ли она в предъявленном ранее наборе цифр. Ответы испытуемых фиксировались при помощи клавиатуры («да» – клавиша «?», «нет» – клавиша «z»). Аналогично фиксировались ответы испытуемого при выполнении основного задания. Зрительные кадры основного задания предъявлялись случайным образом.

В условии без нагрузки на вербальную рабочую память испытуемые выполняли только основное задание, определяя наличие изображений людей в серии зрительных кадров. Порядок предъявления экспериментальных условий был сбалансирован между испытуемыми (по схемам АВ и ВА).

**Регистрируемые показатели.** В ходе эксперимента фиксировалась точность выполнения задачи зрительного поиска (доля правильных ответов при определении наличия изображений людей) и удержания информации в рабочей памяти (доля правильных ответов при опознании цифр). Регистрировался ряд показателей глазодвигательной активности, включая характеристики фиксации и саккад:

- длительность фиксации;
- амплитуда саккад;
- средняя скорость саккад;
- пиковая скорость саккад.

В качестве показателя ментальной нагрузки также регистрировался размер зрачка. Обработка данных производилась с помощью t-критерия Стьюдента для зависимых выборок. При анализе длительности фиксации производилось построение индивидуальных эмпирических распределений длительности фиксации и их подгонка к экспоненциально-гауссовскому распределению с применением методов нелинейной оптимизации, реализованных в пакете GAMLSS программной среды R. Полученные таким образом индивидуальные распределения длительности фиксации описывались с помощью трех параметров ( $\mu$ ,  $\sigma$ ,  $\tau$ ), с использованием которых проводился дальнейший статистический анализ. Два параметра –  $\mu$  и  $\sigma$  – характеризуют, соответственно, среднее и стандартное отклонение гауссовского компонента экспоненциально-гауссовского распределения, а параметр  $\tau$  характеризует степень сме-

щения экспоненциального компонента экспоненциально-гауссовского распределения вправо. Моделирование распределения длительности фиксации с помощью экспоненциально-гауссовского распределения получили сегодня определенное распространение (см., например: Staub, Venatar, 2013). Особый интерес при использовании этого метода представляет анализ параметра  $\tau$ , отражающего долю «сверхдлинных фиксаций», связанных с процессами сознательной, фокальной зрительной обработки (Velichkovsky et al., 2005).

### Результаты

Данные о точности выполнения задачи зрительного поиска показывают, что нагрузка на вербальную рабочую память приводит к ее изменению. Согласно тесту Колмогорова-Смирнова, показатели точности выполнения зрительного поиска (% правильных ответов) были распределены в соответствии с нормальным распределением (в условии без нагрузки на рабочую память –  $Z=0,98$ ,  $p>0,05$ ; в условии с нагрузкой на рабочую память –  $Z=0,92$ ,  $p>0,05$ ), что делает правомерным применение параметрического критерия сравнения средних при их сопоставлении. В условии без нагрузки средняя точность зрительного поиска составила 93%, а в условии с нагрузкой – 97,6%. Это различие оказывается значимым,  $t(15)=3,54$ ,  $p<0,01$ . Точность выполнения задачи на рабочую память (опознание цифр) составила 97%. Индивидуальные значения точности зрительного поиска (рис. 1) указывают на общий характер выделенного эффекта.

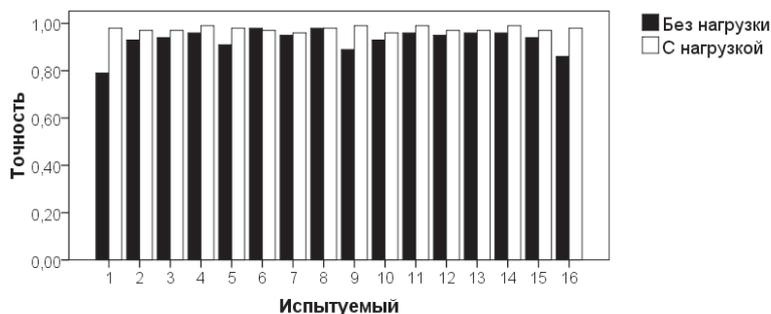


Рис. 1. Индивидуальная точность зрительного поиска в зависимости от нагрузки на вербальную рабочую память

Данные о параметрах глазодвигательной активности дают неоднородную картину их динамики под влиянием нагрузки на вербальную рабочую память. Во-первых, для показателя средней длительности фиксации не было обнаружено влияния нагрузки на рабочую память. Распределения длительности фиксации в разных экспериментальных условиях соответствовали нормальному закону ( $Z=0,52$ ,  $p>0,05$  – в условии без нагрузки на рабочую память;  $Z=0,84$ ,  $p>0,05$  – в условии с нагрузкой на рабочую память). В условии без нагрузки на рабочую память средняя длительность фиксации составила 259 мс, а в условии с нагрузкой на рабочую память она составила почти идентичные 257 мс. Это различие не является значимым,  $t(15)=-0,39$ ,  $p>0,05$ . Отсутствие различий между средней длительности фиксации в условиях с нагрузкой на рабочую память и без нее является неожиданным результатом, так как длительность фиксации является достаточно надежным показателем уровня когнитивной нагрузки. В связи с этим был проведен дополнительный анализ распределений длительности фиксации (см. далее).



Во-вторых, для различных параметров саккадических движений глаз – амплитуды саккад, средней скорости саккад и пиковой скорости саккад – было обнаружено влияние нагрузки на вербальную рабочую память. Распределение параметров саккад соответствовало нормальному распределению. Для амплитуды саккад значения критерия Колмогорова–Смирнова составили  $Z=0,47$  ( $p>0,05$ ) и  $Z=0,62$  ( $p>0,05$ ) в условии без нагрузки на рабочую память и с нагрузкой на рабочую память, соответственно; для средней скорости саккад значения критерия Колмогорова–Смирнова составили  $Z=0,52$  ( $p>0,05$ ) и  $Z=0,64$  ( $p>0,05$ ); для пиковой скорости саккад –  $Z=0,57$  ( $p>0,05$ ) и  $Z=0,67$  ( $p>0,05$ ). Средняя амплитуда саккад в условии без нагрузки на рабочую память составила 5,7 градусов, а в условии с нагрузкой на рабочую память – 6,2 градуса. Это различие является значимым,  $t(15)=-8,33$ ,  $p<0,001$  (рис. 2). Средняя скорость саккад в условии без нагрузки на рабочую память составила 161 градусов/секунду, а в условии с нагрузкой на рабочую память – 171 градусов/секунду. Такое увеличение средней скорости саккад является значимым,  $t(15)=-7,8$ ,  $p<0,001$  (рис. 3). Пиковая скорость саккад в условии без нагрузки на рабочую память составила 190 градусов/секунду, а в условии с нагрузкой на рабочую память – 202 градуса/секунду. Данное различие является значимым,  $t(15)=-6,2$ ,  $p<0,001$  (рис. 4).

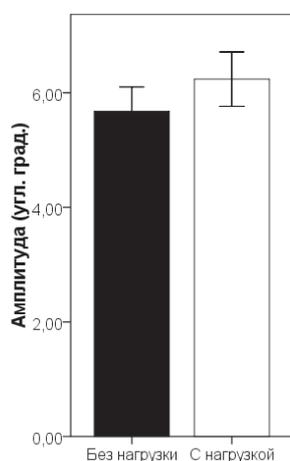


Рис. 2. Изменение амплитуды саккад (угл. град.) в зависимости от нагрузки на вербальную рабочую память

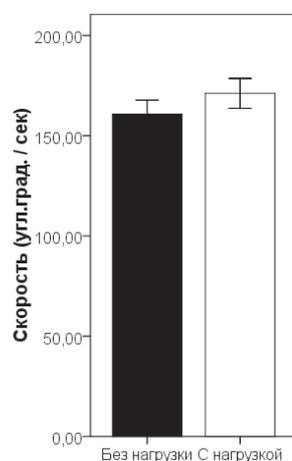


Рис. 3. Изменение средней скорости саккад (угл. град./сек) в зависимости от нагрузки на вербальную рабочую память

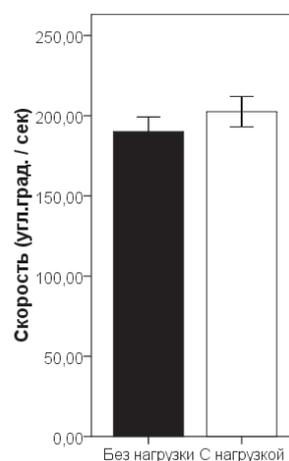


Рис. 4. Изменение пиковой скорости саккад (угл. град./сек) в зависимости от нагрузки на вербальную рабочую память

Нагрузка на рабочую память ожидаемым образом приводила и к изменению размера зрачка. Распределение значений размера зрачка соответствовало нормальному закону ( $Z=0,66$ ,  $p>0,05$  – в условии без нагрузки на рабочую память,  $Z=0,59$ ,  $p>0,05$  – в условии с нагрузкой на рабочую память). В условии без нагрузки на рабочую память размер зрачка составил 357 условных единиц, а в условии с нагрузкой на рабочую память – 325 условных единиц. Данное различие является значимым,  $t(15)=3,24$ ,  $p<0,01$ .

Таким образом, были получены результаты, свидетельствующие о изменении параметров саккад и размера зрачка в условии с нагрузкой на рабочую память, а также результаты об отсутствии изменения длительности фиксации в этом условии. Такие результаты представляются противоречивыми, так как использованные параметры саккад, размер



зрчка, а также длительность фиксаций являются показателями, чувствительными к увеличению нагрузки на центральные элементы системы переработки информации у человека. В этой связи был проведен дополнительный анализ индивидуальных распределений длительности фиксаций с целью выявления изменений параметров распределения длительности фиксаций под влиянием нагрузки на вербальную рабочую память.

Для каждого испытуемого в каждом экспериментальном условии была осуществлена подгонка распределения длительности фиксаций к экспоненциально-гауссовскому распределению и определены оптимальные параметры этого распределения ( $\mu$ ,  $\sigma$ ,  $\tau$  – см. раздел Методика). Для всех параметров были обнаружены значимые различия между условием с нагрузкой на вербальную рабочую память и условием без нагрузки на вербальную рабочую память. Среднее значение параметра  $\mu$  в условии без нагрузки на рабочую память составило 128, а в условии с нагрузкой на рабочую память – 135. Данное различие является значимым,  $t(14)=-2,33$ ,  $p<0,05$ . Среднее значение параметра  $\sigma$  в условии без нагрузки на рабочую память составило 3,87, а в условии с нагрузкой на рабочую память – 3,96. Данное различие является значимым,  $t(14)=-3,95$ ,  $p<0,05$ . Среднее значение параметра  $\tau$  в условии без нагрузки на рабочую память составило 4,86, а в условии с нагрузкой на рабочую память – 4,78. Данное различие также является значимым,  $t(14)=2,34$ ,  $p<0,05$ . Таким образом, нагрузка на рабочую память не приводит к изменению среднего значения длительности фиксаций, но приводит к изменению параметров, моделирующих распределения фиксаций экспоненциально-гауссовских распределений. Гауссовские компоненты этих распределений смещаются вправо и характеризуются увеличенным разбросом значений, а экспоненциальные компоненты распределений под влиянием нагрузки на рабочую память несколько смещаются влево. Последний результат можно интерпретировать как свидетельство снижения доли «сверх-длинных» фиксаций при осуществлении зрительного поиска в условии с нагрузкой на вербальную рабочую память.

### Обсуждение

Проведенное исследование было посвящено изучению степени влияния нагрузки на вербальную рабочую память на выполнение задачи, требующей привлечения ресурсов зрительно-пространственной рабочей памяти. В частности, в исследовании был поставлен вопрос о том, приводит ли нагрузка на вербальную рабочую память к изменению характеристик глазодвигательной активности при выполнении задачи зрительного поиска. Полученные результаты показывают, что нагрузка на рабочую память влияет на выполнение задачи зрительного поиска и сопровождающую его глазодвигательную активность.

Во-первых, было обнаружено значимое увеличение точности выполнения зрительного поиска в условии с нагрузкой на вербальную рабочую память. Такой результат может быть объяснен различиями в уровне мобилизации когнитивных ресурсов, характерном для работы в разных экспериментальных условиях. В условии без нагрузки на вербальную рабочую память задача зрительного поиска высокозаметных фигур людей является достаточно простой для испытуемых, в силу чего при ее выполнении у них может развиваться состояние монотонии. Такие состояния приводят к увеличению количества ошибок при выполнении простой деятельности с высокой скоростью (Леонова, 1984). В условии с нагрузкой на вербальную рабочую память необходимость выделять когнитивные ресурсы на удержание информации в рабочей памяти приводит к увеличению сложности деятельно-



сти, которое сопровождается повышением уровня энергетического и ресурсного обеспечения (Канеман, 2006). Усложнение условий деятельности может приводить к мобилизации процессов когнитивной сферы, косвенным следствием которой является повышение точности зрительного поиска.

Во-вторых, между условиями с нагрузкой на вербальную рабочую память и без нагрузки на вербальную рабочую память были обнаружены значимые различия в ряде характеристик глазодвигательной активности, сопровождающей зрительный поиск. Такие различия обнаружены для амплитуды саккад, а также средней и пиковой скорости саккад. Показано (Ahlstrom, Friedman-Berg, 2006; DiStasi et al., 2011), что увеличение этих показателей является индикатором увеличения когнитивной нагрузки – умственного усилия, которое необходимо приложить для решения когнитивной задачи (Канеман, 2006). Полученные результаты подтверждают предположение о том, что нагрузка на вербальную рабочую память приводит к использованию неспецифических когнитивных ресурсов, т.е. таких когнитивных ресурсов, которые обеспечивают решение любых когнитивных задач.

Вывод об увеличении когнитивной нагрузки и возникающей вследствие этого мобилизации когнитивных ресурсов под влиянием нагрузки на вербальную рабочую память подтверждается изменениями параметров длительности фиксации. Эти изменения касаются трех аспектов индивидуальных распределений длительности фиксации – среднего значения гауссовского компонента распределений длительности фиксации, их стандартного отклонения, а также среднего значения экспоненциального компонента распределений длительности фиксации. Эти результаты, с одной стороны, показывают, что для основной массы фиксации (представленной гауссовским компонентом распределения) их длительность, а также разброс длительности вокруг среднего значения увеличивается, и таким образом свидетельствуют о том, что при выполнении задания с нагрузкой на вербальную рабочую память увеличивается сложность работы, которая проявляется в замедлении глазодвигательной активности и снижении степени сознательного контроля над ее осуществлением. С другой стороны, смещение экспоненциального компонента распределения длительности фиксации влево свидетельствует о том, что длительность фиксации, соответствующих этому компоненту, уменьшается. Экспоненциальному компоненту могут соответствовать «долгие» фиксации (обычно более 300–500 мс), связанные с сознательной зрительной обработкой. При увеличении сложности заданий доля таких фиксации обычно увеличивается, что может быть связано с увеличением уровня сознательного контроля за осуществляемой деятельностью. Наблюдаемое в данном случае изменение среднего экспоненциального компонента свидетельствует о снижении доли «долгих» фиксации, что может говорить о снижении уровня сознательного контроля над выполнением задачи зрительного поиска.

Процесс выполнения использованной в исследовании задачи зрительного поиска содержит как автоматические компоненты, так и компоненты, требующие сознательного контроля. В частности, показано, что при поиске объектов в экологически валидных сценах целенаправленные процессы организации зрительного поиска, учитывающие содержание сцен и вероятное расположение целевых объектов, позволяют существенно уменьшить зону поиска и снизить время нахождения цели. С другой стороны, изолированные фигуры людей являются объектами с высокой значимостью, обнаружение которых обеспечивается автоматизированными механизмами обнаружения. Обнаруженные в данном исследовании изменения параметров глазодвигательной активности, возможно, говорят о том, что нагрузка на вербальную рабочую память приводит: 1) к выполнению задачи зрительного



поиска в условиях увеличенной когнитивной нагрузки и 2) к снижению роли сознательного контроля над выполнением задачи зрительного поиска и увеличению степени его автоматизации. Саккадические движения глаз становятся более длинными и осуществляются с более высокой скоростью, а для фиксации характерно некоторое замедление в среднем и увеличенный разброс длительности фиксаций (признак зависимости от низкоуровневых, перцептивных признаков рассматриваемого изображения). Кроме того, снижается необходимость длительного сознательного рассматривания объектов. Такие движения глаз соответствуют автоматическому режиму обработки информации, при котором зрительный поиск осуществляется в ускоренном темпе с ориентацией на низкоуровневые, перцептивные особенности изображений, а не на медленное, стратегически контролируемое рассматривание изображений.

Полученные результаты позволяют сделать выводы о взаимодействии вербального и зрительно-пространственного компонентов рабочей памяти. Как уже отмечалось выше, в литературе высказываются различные предположения о характере такого взаимодействия. В частности, эти предположения носят совершенно противоположный характер – одни исследователи говорят о полной независимости модально-специфичных компонентов, другие утверждают, что вербальный и зрительно-пространственный компоненты находятся в отношениях взаимодействия и взаимовлияния. В последнем случае возникает вопрос о том, какой механизм обеспечивает возникновение такого влияния и какова роль неспецифических ресурсов в функционировании рабочей памяти. В рамках этих представлений предполагается, что хранение информации в модально-специфичных компонентах рабочей памяти обеспечивается распределением ограниченного числа ресурсов. Какие свидетельства подкрепляют сегодня такую точку зрения?

В пользу предположения об обеспечении модально-специфического хранения информации путем распределения неспецифических ресурсов памяти говорят результаты корреляционных исследований с использованием модально-специфичных заданий на рабочую память и кратковременную память. В исследовании Кейн и др. (Kane et al., 2004) была оценена эффективность выполнения заданий на вербальную и зрительно-пространственную рабочую память, а также заданий на вербальную и зрительно-пространственную кратковременную память. Было показано, что результаты выполнения тестов на рабочую память отличались более значительной корреляционной связью, чем результаты выполнения тестов на кратковременную память. Это говорит о повышенной роли неспецифических ресурсов в реализации функций рабочей памяти. С использованием методов структурного моделирования также была показана большая содержательная валидность модели с единственным доменно-неспецифичным фактором по сравнению с моделью с двумя коррелирующими доменно-специфическими факторами вербальной и зрительно-пространственной рабочей памяти.

Использование неспецифических ресурсов при функционировании рабочей памяти может быть продемонстрировано и в экспериментальных исследованиях. В другом исследовании (Vergauwe et al., 2012) испытуемые выполняли задание на определение объема рабочей памяти, в котором совмещались задачи хранения и переработки информации, различавшиеся модальностью информации. Например, в одном из экспериментов задача удержания последовательности зрительно предъявленных изображений должна была осуществляться на фоне идентификации семантической категории предъявляемых на слух слов. При этом также изменялся уровень когнитивной нагрузки, для чего варьировалась ско-



рость предъявления стимуляции в задаче переработки. Результаты исследования свидетельствовали о том, что, несмотря на несовпадение признаков стимулов, подлежащих запоминанию и переработке, объем рабочей памяти (оцениваемый как количество успешно сохраненной информации) снижается при высокой когнитивной нагрузке. Возникновение этого эффекта означает, что возможность одновременного хранения и переработки информации в рабочей памяти зависит от возможности разделения универсальных ресурсов.

Также показано, что при одновременном удержании в рабочей памяти вербального и зрительно-пространственного материала эффективность его распознавания зависит от «платежной матрицы», ассоциированной с правильным распознаванием материала определенной модальности (Morey et al., 2011). Динамическое перераспределение неспецифических ресурсов переработки в зависимости от мотивационных переменных (Канеман, 2006) является свидетельством роли неспецифических ресурсов переработки в реализации функций рабочей памяти. Результаты целого ряда исследований указывают на то, что для функционирования модально-специфических компонентов хранения в рабочей памяти необходимо привлечение и распределение ограниченного числа ресурсов рабочей памяти человека.

Результаты, полученные в настоящем исследовании, могут быть интерпретированы как подтверждающие сформулированную выше точку зрения. Увеличение нагрузки на вербальную рабочую память приводит к изменению эффективности выполнения зрительного поиска как задачи, требующей использования зрительно-пространственной рабочей памяти. При этом наблюдаются признаки увеличения когнитивной нагрузки, т.е. уменьшения количества когнитивных ресурсов, доступных для решения задачи зрительного поиска. В этих усложненных условиях деятельности мобилизация субъекта данной деятельности приводит к повышению эффективности зрительного поиска, однако изменения параметров глазодвигательной активности показывают общее замедление скорости работы и снижение степени сознательного управления поисковой глазодвигательной активностью. Такое увеличение доли автоматических процессов также свидетельствует о снижении количества ресурсов, обеспечивающих функционирование зрительно-пространственной рабочей памяти. Таким образом, реализация функций вербального и зрительно-пространственного компонентов рабочей памяти обеспечивается распределенной работой ограниченного числа ресурсов рабочей памяти.

### Выводы

В данном исследовании было изучено влияние нагрузки на вербальную рабочую память на особенности выполнения зрительного поиска – относительно простого задания, требующего использования ресурсов зрительно-пространственной рабочей памяти. Было обнаружено, что нагрузка на вербальную рабочую память, с одной стороны, приводит к повышению эффективности обнаружения целей. С другой стороны, результаты анализа глазодвигательной активности при зрительном поиске показывают, что выполнение этого задания в условиях нагрузки на рабочую память сопровождается увеличением когнитивной нагрузки и повышением степени автоматизации поиска. Полученные результаты могут свидетельствовать о взаимодействии вербального и зрительно-пространственного компонентов рабочей памяти, связанного с разделением неспецифических когнитивных ресурсов между ними.

---

#### Финансирование

Исследование выполнено при поддержке гранта РФФИ № 14-06-00371а.



## Литература

- Барабанчиков В.А., Жегалло А.В. Айттрекинг: Методы регистрации движений глаз в психологических исследованиях и практике. М.: Когито-центр, 2014. 128 с.
- Канеман Д. Внимание и усилие. М.: Смысл, 2006. 288 с.
- Клинзберг Т. Перегруженный мозг. Информационный поток и пределы рабочей памяти. М.: Ломоносовъ, 2010. 209 с.
- Леонова А.Б. Психодиагностика функциональных состояний человека. М.: Изд. МГУ, 1984. 200 с.
- Миллер Дж., Галантер Ю., Прибрам К. Планы и структуры поведения. М.: Прогресс, 1965. 238 с.
- Ackerman P.L., Beier M.E., Boyle M.O. Working memory and intelligence: the same or different constructs? // Psychological Bulletin. 2005. Vol. 131. P. 30–60. doi:10.1037/0033-2909.131.1.30.
- Ahlstrom U., Friedman-Berg F.J. Using eye movement activity as a correlate of cognitive workload // International Journal of Industrial Ergonomics. 2006. Vol. 36. P. 623–636. doi:10.1016/j.ergon.2006.04.002.
- Anderson E.J., Mannan S.K., Rees G., Sumner P., Kennard C. A role for spatial and nonspatial working memory processes in visual search // Experimental Psychology. 2008. Vol. 55. P. 301–312. doi:10.1027/1618-3169.55.5.301.
- Baddeley A.D. Working memory. Oxford: Oxford University Press, 1986.
- Bundesen C. A theory of visual attention // Psychological Review. 1990. Vol. 97. P. 523–547. doi:10.1037/0033-295X.97.4.523.
- Chapparo A., Tokuda S., Morris N. Effects of visual-spatial and verbal working memory on visual attention and driving performance // Journal of Vision. 2007. Vol. 7. Article 683. doi:10.1167/7.9.683.
- DiStasi L.L., Anatoli A., Cañas J.J. Main Sequence: An index for detecting mental workload variation in complex tasks // Applied Ergonomics. 2011. Vol. 42. P. 807–813. doi:10.1016/j.apergo.2011.01.003.
- Ehringer K.A., Hidalgo-Sotelo B., Torralba A., Oliva A. Modelling search for people in 900 scenes: A combined source model of eye guidance // Visual Cognition. 2009. Vol. 17. P. 945–978. doi:10.1080/13506280902834720.
- Engle R., Tuholsky S.W., Laughlin J.E., Conway A.R.A. Working memory, short-term memory, and general fluid intelligence: A latent-variable approach // Journal of Experimental Psychology: General. 1999. Vol. 128. P. 309–331. doi:10.1037/0096-3445.128.3.309.
- Franklin S., Baars B.J. How conscious experience and working memory interact // Trends in cognitive science. 2003. Vol. 7. P. 166–172.
- Giofre D., Mammarella M., Cornoldi C. The structure of working memory and how it relates to intelligence in children // Intelligence. 2013. Vol. 41. P. 396–406. doi:10.1016/j.intell.2013.06.006.
- Kane M., Hambrick D., Tuholski S., Wilhelm O., Payne T., Engle R. The generality of working memory capacity: A latent-variable approach to verbal and visuospatial memory span and reasoning // Journal of Experimental Psychology: General. 2004. Vol. 133. P. 189–217. doi:10.1037/0096-3445.133.2.189.
- Kovesdi C.R., Barton B.K. The role of non-verbal working memory in pedestrian visual search // Transportation Research Part F. 2013. Vol. 19. P. 31–39. doi:10.1016/j.trf.2013.03.005.
- Lehtonen E., Lappi O., Summala H. Anticipatory eye movements when approaching a curve on a rural road depend on working memory load // Transportation Research Part F. 2012. Vol. 15. P. 369–377. doi:10.1016/j.trf.2011.08.007.
- MacNamara A., Schmidt J., Zelinsky G.J., Hajcak G. Electrocortical and ocular indices of attention to fearful and neutral faces presented under high and low working memory load // Biological Psychology. 2012. Vol. 91. P. 349–356. doi:10.1016/j.biopsycho.2012.08.005.
- Morey C., Cowan N., Morey R., Rouders J. Flexible attention allocation to visual and auditory working memory tasks: manipulating reward induces a trade-off // Attention, Perception, and Psychophysics. 2011. Vol. 73. P. 458–472. doi:10.3758/s13414-010-0031-4.
- Oh S.-H., Kim M.-S. The role of spatial working memory in visual search efficiency // Psychonomic Bulletin & Review. 2004. Vol. 11. P. 275–281. doi:10.3758/BF03196570.
- Shah P., Miyake A. The separability of working memory resources for spatial thinking and language processing: An individual differences approach // Journal of Experimental Psychology: General. 1996. Vol. 125. P. 4–27. doi:10.1037/0096-3445.125.1.4.



- Staub A., Benatar A.* Individual differences in fixation duration distributions in reading // *Psychonomic Bulletin & Review*. 2013. Vol. 20. P. 1304–1311. doi:10.3758/s13423-013-0444-x.
- Treisman A., Gelade G.* A feature-integration theory of attention // *Cognitive Psychology*. 1980. Vol. 12. P. 97–136. doi:10.1016/0010-0285(80)90005-5.
- Turner M., Engle R.* Is working memory capacity task dependent? // *Journal of Memory & Language*. 1989. Vol. 28. P. 127–154. doi:10.1016/0749-596X(89)90040-5.
- Velichkovsky B. M., Joos M., Helmert J. R., Pannasch S.* Two visual systems and their eye movements: evidence from static and dynamic scene perception // *CogSci 2005: Proceedings of the XXVII Conference of the Cognitive Science Society*. 2005, July 21–23. Stresa, Italy. P. 2283–2288.
- Vergauwe E., Dewaele N., Langerock N., Barrouillet P.* Evidence for a central pool of general resources in working memory // *Journal of Cognitive Psychology*. 2012. Vol. 24. P. 359–366. doi:10.1080/20445911.2011.640625.
- Woodman G. F., Luck S. J.* Visual search is slowed when visuospatial working memory is occupied // *Psychonomic Bulletin & Review*. 2004. Vol. 11. P. 269–274. doi:10.3758/BF03196569.

## EFFECT OF VERBAL WORKING MEMORY LOAD DURING THE OCULOMOTOR ACTIVITY IN VISUAL SEARCH

**VELICHKOVSKY B. B.\***, *Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia,*  
*e-mail: velitchk@mail.ru*

**IZMALKOVA A. I.\*\***, *Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia,*  
*e-mail: mayoran@mail.ru*

The structure of working memory has components responsible for the storage of verbal and visual-spatial information; despite the fairly detailed study of the functions and mechanisms of their work, the question of their mutual influence is still open. Studies on the verbal working memory load influence on visual search performance (a task requiring the use of visual-spatial working memory resources) it was found that the load on the verbal working memory leads to increased efficiency of target detection. The results of the analysis of oculomotor activity during visual search also point out that the implementation of such tasks under verbal working memory load is accompanied by an increase in cognitive tension and of the degree of search automaticity. The results may indicate the interaction of verbal and visual-spatial working memory components that share non-specific cognitive resources.

**Keywords:** verbal working memory, visual-spatial working memory, visual search, automatism, cognitive resources.

### *Funding*

The study was supported by RFBR grant № 14-06-00371a.

### **For citation:**

*Velichkovsky B. B., Izmailkova A. I.* Effect of verbal working memory load during the oculomotor activity in visual search. *Ekspieriment'naya Psikhologiya = Experimental Psychology (Russia)*, 2015, vol. 8, no. 2, pp. 21–35. (In Russ., abstr. in Engl.). doi:10.17759/exppsy.2015080203.

\**Velichkovsky B. B.* Ph.D. (Psychology), Associate Professor, Chair of Methodology of Psychology, Department of Psychology, Lomonosov Moscow State University. E-mail: velitchk@mail.ru

\*\**Izmailkova A. I.* Research Associate, Laboratory of Work Psychology, Lomonosov Moscow State University. E-mail: mayoran@mail.ru



## References

- Ackerman P. L., Beier M. E., Boyle M. O. Working memory and intelligence: the same or different constructs? *Psychological Bulletin*, 2005, vol. 131, pp. 30–60. doi:10.1037/0033-2909.131.1.30
- Ahlstrom U., Friedman-Berg F.J. Using eye movement activity as a correlate of cognitive workload. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 2006, vol. 36, pp. 623–636. doi:10.1016/j.ergon.2006.04.002.
- Anderson E.J., Mannan S.K., Rees G., Sumner P., Kennard C. A role for spatial and nonspatial working memory processes in visual search. *Experimental Psychology*, 2008, vol. 55, pp. 301–312. doi:10.1027/1618-3169.55.5.301
- Baddely A. D. *Working memory*. Oxford, Oxford University Press, 1986.
- Barabanschikov V.A., Zhegallo A.V. *Aitrekning: Metody registratsii dvizhenii glaz v psikhologicheskikh issledovaniyakh i praktike [Eyetracking: Eye movements registration methods in psychological research and practice]*. Moscow, Kogito-tsentr [Cogito-Center Publ.], 2014 (In Russ.).
- Bundesen C. A theory of visual attention. *Psychological Review*, 1990, vol. 97, pp. 523–547. doi:10.1037/0033-295X.97.4.523.
- Chapparo A., Tokuda S., Morris N. Effects of visual-spatial and verbal working memory on visual attention and driving performance. *Journal of Vision*, 2007, vol. 7, article 683. doi:10.1167/7.9.683.
- DiStasi L.L., Anatoli A., Cañas J.J. Main Sequence: An index for detecting mental workload variation in complex tasks. *Applied Ergonomics*, 2011, vol. 42, pp. 807–813. doi:10.1016/j.apergo.2011.01.003.
- Ehringer K. A., Hidalgo-Sotelo B., Torralba A., Oliva A. Modelling search for people in 900 scenes: A combined source model of eye guidance. *Visual Cognition*, 2009, vol. 17, pp. 945–978. doi:10.1080/13506280902834720.
- Engle R., Tuholsky S. W., Laughlin J. E., Conway A. R. A. Working memory, short-term memory, and general fluid intelligence: A latent-variable approach. *Journal of Experimental Psychology: General*, 1999, vol. 128, pp. 309–331. doi:10.1037/0096-3445.128.3.309.
- Franklin S., Baars B.J. How conscious experience and working memory interact. *Trends in cognitive science*, 2003, vol. 7, pp. 166–172.
- Giofre D., Mammarella M., Cornoldi C. The structure of working memory and how it relates to intelligence in children. *Intelligence*, 2013, vol. 41, pp. 396–406. doi:10.1016/j.intell.2013.06.006.
- Kahneman D. *Attention and Effort*. New York, Prentice Hall, 1973 (Russ. ed.: Kaneman D. *Vnimanie i usilie*. Moscow, Smysl Publ., 2006).
- Kane M., Hambrick D., Tuholski S., Wilhelm O., Payne T., Engle R. The generality of working memory capacity: A latent-variable approach to verbal and visuospatial memory span and reasoning. *Journal of Experimental Psychology: General*, 2004, vol. 133, pp. 189–217. doi:10.1037/0096-3445.133.2.189.
- Klingberg T. *The Overflowing Brain: Information Overload and the Limits of Working Memory*. Oxford, Oxford University Press, 2008 (Russ. ed.: Klingberg T. *Peregruzhennyy mozg. Informatsionnyi potok i predely rabochei pamyati*. Moscow, Lomonosov Publ., 2010).
- Kovesdi C. R., Barton B. K. The role of non-verbal working memory in pedestrian visual search. *Transportation Research Part F*, 2013, vol. 19, pp. 31–39. doi:10.1016/j.trf.2013.03.005.
- Lehtonen E., Lappi O., Summala H. Anticipatory eye movements when approaching a curve on a rural road depend on working memory load. *Transportation Research Part F*, 2012, vol. 15, pp. 369–377. doi:10.1016/j.trf.2011.08.007.
- Leonova A. B. *Psikhodiagnostika funktsional'nykh sostoyanii cheloveka [Psychodiagnosics of human functional states]*. Moscow, Publ. MGU, 1984 (In Russ.).
- MacNamara A., Schmidt J., Zelinsky G.J., Hajcak G. Electrocortical and ocular indices of attention to fearful and neutral faces presented under high and low working memory load. *Biological Psychology*, 2012, vol. 91, pp. 349–356. doi:10.1016/j.biopsycho.2012.08.005.
- Miller G., Galanter E., Pribram. K. *Plans and the structure of behavior*. New York, Holt, Rhinehart, and Winston, 1960 (Russ. ed.: Miller G., Galanter E., Pribram. K. *Plany i struktury povedeniya*. Moscow, Progress Publ., 1965).



- Morey C., Cowan N., Morey R., Rouder J. Flexible attention allocation to visual and auditory working memory tasks: manipulating reward induces a trade-off. *Attention, Perception, and Psychophysics*, 2011, vol. 73, pp. 458–472. doi:10.3758/s13414-010-0031-4.
- Oh S.-H., Kim M.-S. The role of spatial working memory in visual search efficiency. *Psychonomic Bulletin & Review*, 2004, vol. 11, pp. 275–281. doi:10.3758/BF03196570.
- Shah P., Miyake A. The separability of working memory resources for spatial thinking and language processing: An individual differences approach. *Journal of Experimental Psychology: General*, 1996, vol. 125, pp. 4–27. doi:10.1037/0096-3445.125.1.4.
- Staub A., Benatar A. Individual differences in fixation duration distributions in reading. *Psychonomic Bulletin & Review*, 2013, vol. 20, p. 1304–1311. doi:10.3758/s13423-013-0444-x.
- Treisman A., Gelade G. A feature-integration theory of attention. *Cognitive Psychology*, 1980, vol. 12, pp. 97–136. doi:10.1016/0010-0285(80)90005-5.
- Turner M., Engle R. Is working memory capacity task dependent? *Journal of Memory & Language*, 1989, vol. 28, pp. 127–154. doi:10.1016/0749-596X(89)90040-5.
- Velichkovsky B. M., Joos M., Helmert J. R. & Pannasch S. Two visual systems and their eye movements: evidence from static and dynamic scene perception. *CogSci 2005: Proceedings of the XXVII Conference of the Cognitive Science Society. 2005, July 21–23 Stresa, Italy*. Austin, Cognitive Science Society, pp. 2283–2288.
- Vergauwe E., Dewaele N., Langerock N., Barrouillet P. Evidence for a central pool of general resources in working memory. *Journal of Cognitive Psychology*, 2012, vol. 24, pp. 359–366. doi:10.1080/20445911.2011.640625.
- Woodman G. F., Luck S. J. Visual search is slowed when visuospatial working memory is occupied. *Psychonomic Bulletin & Review*, 2004, vol. 11, pp. 269–274. doi:10.3758/BF03196569.