



Обзоры | Review

Психологические механизмы слежения за движущимися объектами

М.М. Цепелевич ✉

Научно-технологический университет «Сириус», пгт Сириус,
Краснодарский край, Российская Федерация
✉ riks00022@gmail.com

Резюме

Контекст и актуальность. Задача слежения за несколькими движущимися объектами широко используется для оценки профессиональных способностей. В связи с этим важно понимать, какие процессы лежат в основе ее выполнения и определяют межиндивидуальные различия результатов. В работе выполнены обобщение и систематизация существующих представлений о психологических механизмах слежения за движущимися объектами. **Представления о механизмах.** Несмотря на отсутствие однозначного понимания того, как именно происходит связывание объектов с их репрезентациями и обновление информации об изменении местоположения во время слежения, можно говорить о том, что данный процесс обеспечивается вниманием при возможном участии пространственной рабочей памяти. Во время слежения возможна группировка целей в единый объект, и этот процесс имеет особенности, характерные для каждого из полушарий, в значительной степени независимо обрабатывающих информацию из разных полуполей зрения. Вопрос о том, одновременно или последовательно обновляется информация об объектах, остается дискуссионным, но допускается участие обоих механизмов во взаимодействии друг с другом. Также установлено динамическое перераспределение ресурсов внимания области, где объекты имеют наибольшую вероятность быть потерянными. **Выводы.** Выделены параметры задачи, накладывающие ограничения на точность слежения за движущимися объектами. Обсуждаются перспективы прикладных исследований межиндивидуальных различий слежения за движущимися объектами.

Ключевые слова: зрение, внимание, айтрекинг, слежение за движущимися объектами

Финансирование. Финансирование проекта осуществлялось Министерством науки и высшего образования Российской Федерации (Соглашение № 075-10-2021-093; Проект ISR-RND-2252).

Для цитирования: Цепелевич, М.М. (2025). Психологические механизмы слежения за движущимися объектами. *Экспериментальная психология*, 18(1), 44–53. <https://doi.org/10.17759/exppsy.2025180103>



Psychological mechanisms of multiple object tracking

M.M. Tcepelevich ✉

Sirius University of Science and Technology, Sirius, Krasnodar Region, Russian Federation

✉ riks00022@gmail.com

Abstract

Context and relevance. The multiple object tracking task is widely used to evaluate professional abilities. In this regard, it is important to understand the underlying processes, as well as the factors contributing to interindividual differences in outcomes. This paper presents a review and synthesis of current research on the psychological mechanisms of multiple object tracking. **Current research on the mechanisms.** Despite the lack of definitive clarity on how objects are linked to their mental representations, as well as how information about location changes is updated during tracking, significant insights have been obtained in this area. Attention, potentially supported by spatial working memory, plays a crucial role in ensuring multiple object tracking. Additionally, the ability to group objects has been identified, with distinct processes observed in the two hemispheres, which autonomously process information from hemifields. The debate over whether information about objects is updated serially or in parallel persists, with evidence suggesting the involvement of both mechanisms in interaction with each other. Furthermore, a dynamic allocation of attention resources towards areas where objects are most likely to be lost has been observed. **Conclusions.** The study also identifies the parameters that limit the tracking capacity and discusses the future directions of applied research on interindividual differences in multiple object tracking.

Keywords: vision, attention, eye-tracking, multiple object tracking

Funding. Supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, (Agreement 075-10-2021-093, Project ISR-RND-2252).

For citation: Tcepelevich, M.M. (2025). Psychological mechanisms of multiple object tracking. *Experimental Psychology (Russia)*, 18(1), 44–53. (In Russ.). <https://doi.org/10.17759/exppsy.2025180103>

Введение

Вопросы о том, как именно происходит визуальное слежение за несколькими объектами и от чего зависит эффективность этого процесса, являются дискуссионными уже более трех десятилетий, начиная с работ З.В. Пилижина (Pylyshyn, 2001; Pylyshyn, Storm, 1988). Ученый предложил теорию зрительного восприятия, для обоснования которой была разработана задача слежения за движущимися объектами (англ. multiple object tracking, MOT), в дальнейшем ставшая основой целого направления научных исследований. В процессе выполнения данной задачи участнику необходимо одновременно следить за несколькими целевыми объектами — мишенями, хаотично движущимися среди идентичных по внешним параметрам нецелевых объектов — дистракторов (рис. 1).

Задача слежения за движущимися объектами получила широкое распространение на практике, поскольку позволяет оценить способность, значимую для некоторых профессий, например спортсменов (Jin et al., 2023), авиадиспетчеров (Jarvis, Hoggan, Temby, 2022). В большинстве работ для участников с более высоким уровнем экспертности показана более высокая точность слежения (Jarvis, Hoggan, Temby, 2022; Jin et al., 2023; Vu et al., 2022; Wierzbicki, Rupaszewski, Styrkowiec, 2024), однако когнитивные механизмы, лежащие



в основе межиндивидуальных различий, остаются малоизученными и в целом редко становятся предметом интереса исследователей (Holcombe, 2023). Одной из причин этого является отсутствие в научном сообществе однозначного представления о механизмах, обеспечивающих одновременное отслеживание движущихся объектов (Нун, Ли, Оксана, 2019; Meyerhoff, Papenmeier, Huff, 2017). Одновременно можно говорить о существовании разрыва между теоретико-методологическими подходами, используемыми в фундаментальных работах, и исследованиях слежения за движущимися объектами квалифицированных спортсменов, диспетчеров и др.

Целью настоящего обзора является обобщение и систематизация существующих представления о механизмах слежения за движущимися объектами. Выделение механизмов может стать основой для будущих исследований межиндивидуальных различий, таким образом способствуя сокращению разрыва между теоретическими и прикладными работами. Кроме того, более глубокое понимание процесса позволит выработать новые подходы к тестированию и тренировке точности слежения за движущимися объектами.

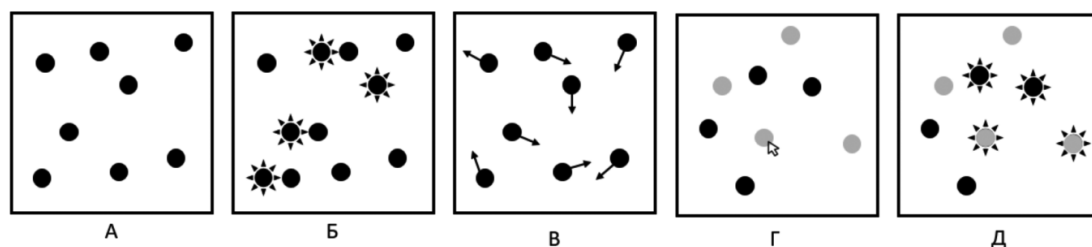


Рис. 1. Задача слежения за движущимися объектами: (А) демонстрация объектов; (Б) выделение мишеней; (В) хаотичное движение объектов, при котором мишени и дистракторы становятся внешне идентичными; (Г) выбор мишеней; (Д) обратная связь о корректности выбора

Fig. 1. The multiple object tracking task

Развитие представлений о психологических механизмах слежения за движущимися объектами

Разработка задачи слежения за движущимися объектами и FINST модель З.В. Пилишина

Интерес к изучению механизмов одновременного отслеживания нескольких объектов берет начало с работ З.В. Пилишина и Р. Шторма. Авторы разработали собственную модель восприятия, которая противопоставлялась господствовавшему в 80-е гг. прошлого века представлением о едином источнике внимания и необходимости последовательного сканирования для восприятия положения нескольких объектов (Eriksen, St James, 1986; Posner, Nissen, Ogden, 1978; Ullman, 1984). Модель получила название FINST (от англ. FINGers of INSTantiation, пальцы руки как аналог репрезентации объектов в сознании) и описывала ранний этап восприятия — «предвнимание», во время которого выделяются некоторые объекты и их местоположения связываются с представительствами в сознании без кодирования признаков и свойств (Pylyshyn, 1989; Pylyshyn, Storm, 1988). Для обоснования модели была разработана задача слежения за движущимися объектами. Скорость и траектории движения объектов в этой задаче были заданы таким образом, что, исходя из теории о последовательном сканировании, отследить объекты было бы невозможно, поскольку



скорость внимания недостаточна для преодоления пути сканирования. Результаты эксперимента показали высокую точность выполнения задачи, подтвердив положения FINST-модели (Pylyshyn, 1989; Pylyshyn, Storm, 1988).

Однако в последующих работах в положениях Пилишина были выявлены противоречия. Г.А. Альварес и С.Л. Франконери показали снижение точности отслеживания при увеличении скорости движения, что ставит под сомнение сделанный ранее вывод о наличии ограниченного числа визуальных индексов (Alvarez, Franconeri, 2007). Сама необходимость нескольких индексов опровергается при построении вычислительной модели слежения (Ayare, Srivastava, 2024). Ключевым недостатком FINST-модели считается отрицание роли внимания. В работе 2001 года (Pylyshyn, 2001) З.В. Пилишин указал, что внимание может участвовать в слежении (например при выборе объектов для индексирования), но оно не является необходимым для осуществления процесса.

Опровергая данное мнение, М. Томбу и А. Зайферт (2008) показали, что разная сложность задачи требует различных ресурсов внимания, оцениваемых по скорости реакции на звуковой стимул, предъявляемый в процессе слежения (Tombu, Seiffert, 2008). На сегодняшний день теория Пилишина не рассматривается в качестве реального объяснения механизмов; на первый план выходят теории, основанные на внимании как процессе, обеспечивающем слежение (Cavanagh, Alvarez, 2005; Franconeri, Jonathan, Scimeca, 2010; Merkel, Hopf, Schoenfeld, 2022), что подтверждается рядом нейрофизиологических данных (Adamian, Andersen, 2022; Merkel, Hopf, Schoenfeld, 2022; Meyerhoff, Papenmeier, Huff, 2017). Однако идеи о том, что несколько объектов могут обрабатываться параллельно, до сих пор не теряют своей актуальности (см. раздел «Дискуссия об одновременном или последовательном обновлении информации»).

Перцептивная группировка

Следующее объяснение механизмов слежения выдвинул Стив Янтис (Yantis, 1992), предположивший, что восприятие нескольких мишеней происходит за счет их перцептивной группировки в единый объект (например треугольник для трех объектов). Данная концепция основана на экспериментах, показавших, что точность слежения выше, если мишени формируют воображаемый многоугольник (Yantis, 1992). Последующие работы подтвердили возможность группировки: в исследовании вызванной активности мозга было показано, что в процессе слежения компонент P1 имеет большую амплитуду, когда сигнал возникает на контуре фигуры, образованной мишенями, по сравнению с появлением внутри или вне контура; для более позднего компонента N1 таких различий не выявлено (Merkel, Hopf, Schoenfeld, 2017). Источник различий был локализован в латеральной затылочной коре, участвующей в обработке форм. Авторы заключили, что на ранних этапах слежения происходит выделение визуального контура, после чего внимание распространяется на фигуру целиком (Merkel, Hopf, Schoenfeld, 2017). Группировка также способствует увеличению числа мысленно отслеживаемых объектов, когда сами объекты не видны (Balaban, Ullman, 2024). Используя метод регистрации движений глаз, И. Лукавский, Х. Мейерхофф (Lukavsk, Meyerhoff, 2024) показали, что траектория зора участников в значительной степени коррелирует с траекторией центроида — центра многоугольника, вершины которого образованы мишенями. Эти результаты, однако, противоречат более раннему обзору указывающему, что фактическое время удержания взгляда на отдельных объектах зачастую



одинаково или даже выше, чем время фиксации на центроиде (Нун, Ли, Оксана, 2019). К. Меркель, Й.-М. Хопф, М. А. Шенфельд (2022) показали, что некоторые участники не склонны группировать объекты, а отслеживают их отдельно, причем для такой стратегии характерна десинхронизация затылочного гамма-ритма ЭЭГ в течение всего слежения, тогда как при группировке подобный паттерн наблюдается только в начале задачи (Merkel, Hopf, Schoenfeld, 2022). Можно заключить, что группировка — возможный, но не единственный универсальный механизм слежения.

Независимость слежения в полуполях зрения

Важный вклад в развитие представлений о механизмах слежения внесли П. Кавана и Г. Альварес, показавшие, что участники значительно лучше отслеживают четыре объекта, если они равномерно распределены в полуполях зрения (Alvarez, Cavanagh, 2005). Проанализировав похожие работы, Холcombe рассчитал, что независимость обработки информации в полушариях крайне высока и составляет от 88 до 92% в разных исследованиях (Holcombe, 2023). При помощи функциональной магнитно-резонансной томографии была продемонстрирована активация зрительной коры в областях ретинотопической репрезентации двух целевых стимулов, пространственно отделенных друг от друга дистракторами, не вызвавшими похожей активации (McMains, Somers, 2004). На существование как минимум двух источников внимания указывает и то, что при поражении теменной области нарушается слежение за движущимися объектами только в контрлатеральном полуполе зрения (Battelli et al., 2001). Дальнейшие исследования установили более высокую амплитуду стационарных зрительных вызванных потенциалов для целевых объектов (по сравнению с дистракторами), особенно когда они расположены в разных полуполях зрения. Однако подобные различия не выявлены для компонента РЗ, связанного с категоризацией стимула (Stürmer, Alvarez, Cavanagh, 2014). Это указывает на то, что на некоторых этапах слежения возможно участие высокоуровневых процессов, неспецифичных для полушария (Holcombe, 2023). В недавней работе было показано, что слежение в разных полуполях зрения не только происходит независимо, но и основывается на различных механизмах: для левого полуполя более характерна группировка, тогда как для правого — отслеживание отдельных объектов (Merkel, Hopf, Schoenfeld, 2024). Таким образом, независимость полушарий в процессе слежения требует дальнейших исследований с точки зрения ее проявления на разных этапах, а также специфики обработки информации от каждого из полуполей.

Дискуссия об одновременном или последовательном обновлении информации

Большинство перечисленных выше исследований исходят из идеи о том, что информация о движущихся объектах обновляется одновременно, так как скорости последовательного сканирования недостаточно для «прохождения» всех объектов (Pylyshyn, Storm, 1988). Однако не все авторы разделяют данное положение, указывая на возможность последовательного обновления информации за счет возвращения внимания не к объекту, а к последней сохраненной позиции объекта (Holcombe, 2023; Holcombe, Chen, 2013). Таким образом, память выступает в качестве буфера информации о местоположении (Holcombe, Chen, 2013). Было показано, что запомненное местоположение мишени отстает по времени от фактического, и это задержка может быть вызвана последовательным обновлением информации (Howard, Masom, Holcombe, 2011). Эксперимент, где объекты двигались по кру-



гу, продемонстрировал, что количество отслеживаемых объектов лимитировано не только скоростью их движения, но и частотой, с которой дистрактор сменяет мишень, хотя параллельное отслеживание не предполагает подобного ограничения (Holcombe, Chen, 2013).

Х. Мейерхофф предпринял попытку примирить подходы параллельного и последовательного сканирования (Meyerhoff, Papenmeier, Huff, 2017), указав на возможность существования независимых источников внимания в полушариях при последовательном обновлении информации в отдельном полуполе зрения. Компромисс устанавливается и в теории усиления и выбора (англ. Theory of enhancement and selection), указывающей на существование двух механизмов. Первый — последовательная селекция одного объекта для отслеживания его перемещения. Второй — усиление обработки информации о положении выбранных объектов за счет параллельного обновления, постоянно сопоставляющего «усиленную» область с ближайшим объектом (при участии памяти) (Lovett, Bridewell, Bello, 2019; Lovett, Bridewell, Bello, 2021). Принципиальной позицией теории является участие в слежении за движущимися объектами рабочей памяти, но это противоречит данным о независимой обработке информации в полушариях (Cavanagh, Alvarez, 2005), поскольку рабочая память не обладает подобным свойством. Таким образом, теория усиления и выбора не предоставляет полного понимания механизмов слежения за движущимися объектами. Кроме того, подтвердить или опровергнуть некоторые ее положения весьма трудно, поскольку разделить функции усиления и выбора на практике не представляется возможным (Lovett, Bridewell, Bello, 2019).

Динамическое распределение внимания

Г.А. Альварес и С.Л. Франконери показали, что при достаточно низкой скорости движения возможно отслеживать до восьми мишеней, а при очень высокой — лишь одну. Эти наблюдения легли в основу FLEX-модели (от англ. Flexibly allocated index model), предполагающей, что ресурсы внимания не имеют жестких структурных ограничений, а могут перераспределяться в зависимости от текущих запросов (Alvarez, Franconeri, 2007). Многочисленные исследования показали, что участники распределяют внимание в сторону регионов или объектов с наиболее высоким риском быть потерянными вследствие большого количества объектов (Hadjipanayi et al., 2022), их перекрытий (Lukavsky, Oksama, Dechterenko, 2023), столкновений (Vater, Kredel, Hossner, 2017) или группировок (Vater, Kredel, Hossner, 2017). Перечисленные параметры во многом определяют точность слежения (Lukavsky, Oksama, Dechterenko, 2022), так как саккады в область, требующую наибольшего внимания, вызывают подавление обработки информации (Hupli, Li, Oksama, 2019).

Теория пространственной интерференции

В 2009 г. С.Л. Франконери, С.В. Джонатан и Дж.М. Шимека провели эксперимент, в котором формировали пары «мишень—дистрактор», фиксировали расстояние внутри каждой пары и задавали круговое движение относительно центра расстояния. Результаты показали, что в таких условиях изменение скорости движения и длительности задачи не влияет на точность слежения. Объясняя полученные данные, авторы предложили механизм пространственной интерференции, согласно которому перераспределение внимания в пользу отслеживаемых объектов сопровождается интерференцией (торможением) информации в прилежащих областях (Franconeri, Jonathan, Scimeca, 2010).



Однако это мнение было опровергнуто в эксперименте, где, несмотря на постоянное расстояние между движущимися объектами, точность слежения снижалась с ростом скорости движения (Tombu, Seiffert, 2011). Объяснением может служить тот факт, что формирование области подавления требует некоторого времени, в течение которого дистракторы оказывают свое воздействие (Meyerhoff, Papenmeier, Huff, 2017). Однако интерференция не может быть единственным механизмом слежения (Holcombe, 2023): так, по закону Боума степень сближения объектов, при которых возникает группировка (перекрываются интерферируемые зоны), составляет около половины эксцентриситета объекта (Nador, Reeves, 2023). При превышении данного расстояния степень сближения объектов перестает влиять на точность слежения (Holcombe, Chen, Howe, 2014).

Заключение

Исследования способности к одновременному отслеживанию движущихся объектов имеют более чем тридцатилетнюю историю. За это время было накоплено значительное количество экспериментальных данных, однако единая концепция, которая бы описывала функционирование компонентов психики в процессе слежения, на сегодняшний день отсутствует. Несмотря на это, можно выделить ряд ключевых представлений о психологических механизмах слежения за движущимися объектами. Так, слежение обеспечивается вниманием при возможном участии пространственной рабочей памяти и протекает в значительной степени независимо в двух полуполях зрения. В процессе слежения возможна группировка мишеней в единый объект, причем этот процесс имеет отличительные особенности в двух полушариях. Вопрос о том, одновременно или последовательно обновляется информация об объектах, остается дискуссионным, но ряд авторов указывают на вероятность участия обоих механизмов, которые во взаимодействии друг с другом позволяют наилучшим образом использовать ресурсы внимания. Также установлена возможность динамического перераспределения ресурсов внимания в сторону областей, где объекты имеют наибольшую вероятность быть потерянными. Следует отметить, что механизмы слежения часто основываются на взаимоотношениях между результатом выполнения задачи и ее параметрами, хотя в последние годы появляется все больше нейрофизиологических данных, которые вносят значительный вклад в развитие теоретических представлений. Использование новых методов представляется перспективным для решения дискуссионных вопросов об участии рабочей памяти, разделении последовательного и одновременного обновления информации, изучения межполушарной асимметрии во время слежения.

С точки зрения практического использования следует учитывать, что эффективность слежения лимитирована скоростью, частотой сменяемости и количеством отслеживаемых объектов, сложностью и предсказуемостью траекторий их движения, распределением в полуполях зрения, числом столкновений, перекрытий и группировок объектов. Можно предположить, что межиндивидуальные различия определяются эффективностью преодоления указанных ограничений. В связи с этим перспективным представляется учет данных параметров при изучении связи точности слежения с профессиональной экспертизой, а также при проведении прикладных тестирований. Контроль параметров задачи позволит получить детальную информацию об индивидуальных особенностях слежения за движущимися объектами, а также определить аспекты, требующие тренировок.



Список источников / References

1. Adamian, N., Andersen, S.K. (2022). Attentional Enhancement of Tracked Stimuli in Early Visual Cortex Has Limited Capacity. *The Journal of Neuroscience*, 42(46), 8709–8715. <https://doi.org/10.1523/jneurosci.0605-22.2022>
2. Alvarez, G.A., Cavanagh, P. (2005). Independent resources for attentional tracking in the left and right visual hemifields. *Psychological Science*, 16(8), 637–643. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2005.01587.x>
3. Alvarez, G.A., Franconeri, S.L. (2007). How many objects can you track? Evidence for a resource-limited attentive tracking mechanism. *Journal of Vision*, 7(13), 14. <https://doi.org/10.1167/7.13.14>
4. Ayare, S., Srivastava, N. (2024). Multiple Object Tracking Without Pre-attentive Indexing. *Open Mind*, 8, 278–308. https://doi.org/10.1162/opmi_a_00128
5. Balaban, H., Ullman, T. (2024). The capacity limits of tracking in the imagination. *PsyArXiv*, 14 Apr. <https://doi.org/10.31234/osf.io/xzcmb>
6. Battelli, L., Cavanagh, P., Intriligator, J., Tramo, M.J., Hénaff, M.A., Michèl, F., Barton, J.J. (2001). Unilateral right parietal damage leads to bilateral deficit for high-level motion. *Neuron*, 32(6), 985–995. [https://doi.org/10.1016/S0896-6273\(01\)00536-0](https://doi.org/10.1016/S0896-6273(01)00536-0)
7. Cavanagh, P., Alvarez, G.A. (2005). Tracking multiple targets with multifocal attention. *Trends in Cognitive Sciences*, 9(7), 349–354. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2005.05.009>
8. Eriksen, C.W., St James, J.D. (1986). Visual attention within and around the field of focal attention: a zoom lens model. *Perception & Psychophysics*, 40(4), 225–240. <https://doi.org/10.3758/bf03211502>
9. Franconeri, S.L., Jonathan, S.V., Scimeca, J.M. (2010). Tracking Multiple Objects Is Limited Only by Object Spacing, Not by Speed, Time, or Capacity. *Psychological Science*, 21(7), 920–925. <https://doi.org/10.1177/0956797610373935>
10. Hadjipanayi, V., Shimi, A., Ludwig, C.J.H., Kent, C. (2022). Unequal allocation of overt and covert attention in Multiple Object Tracking. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 84(5), 1519–1537. <https://doi.org/10.3758/s13414-022-02501-7>
11. Holcombe, A. (2023). Attending to Moving Objects. Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009003414>
12. Holcombe, A.O., Chen, W.-Y. (2013). Splitting attention reduces temporal resolution from 7 Hz for tracking one object to <3 Hz when tracking three. *Journal of Vision*, 13(1), 12. <https://doi.org/10.1167/13.1.12>
13. Holcombe, A.O., Chen, W.-Y., Howe, P.D.L. (2014). Object tracking: Absence of long-range spatial interference supports resource theories. *Journal of Vision*, 14(6), 1. <https://doi.org/10.1167/14.6.1>
14. Howard, C.J., Masom, D., Holcombe, A.O. (2011). Position representations lag behind targets in multiple object tracking. *Vision Research*, 51(17), 1907–1919. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2011.07.001>
15. Hyönä, J., Li, J., Oksama, L. (2019). Eye Behavior During Multiple Object Tracking and Multiple Identity Tracking. *Vision*, 3(3). <https://doi.org/10.3390/vision3030037>
16. Jarvis, A.L., Hoggan, B.L., Temby, P. (2022). NeuroTracker Multiple Object Tracking Ability Predicts Novice Performance on a Simulated Air Traffic Control Task. *The International Journal of Aerospace Psychology*, 32(4), 165–182. <https://doi.org/10.1080/24721840.2022.2059483>
17. Jin, P., Ji, Z., Wang, T., Zhu, X. (2023). Association between sports expertise and visual attention in male and female soccer players. *PeerJ*, 11, e16286. <https://doi.org/10.7717/peerj.16286>
18. Lovett, A., Bridewell, W., Bello, P. (2019). Selection enables enhancement: An integrated model of object tracking. *Journal of Vision*, 19(14), 23. <https://doi.org/10.1167/19.14.23>
19. Lovett, A., Bridewell, W., Bello, P. (2021). Selection, engagement, & enhancement: a framework for modeling visual attention. *Proceedings of the Annual Meeting of the Cognitive Science Society*, 43(43), 1893–1899.
20. Lukavský, J., Meyerhoff, H.S. (2024). Gaze coherence reveals distinct tracking strategies in multiple object and multiple identity tracking. *Psychonomic Bulletin & Review*, 31(3), 1280–1289. <https://doi.org/10.3758/s13423-023-02417-9>
21. Lukavsky, J., Oksama, L., Dechterenko, F. (2022). Tracking objects out of the observer's view. *PsyArXiv*, 25 Jan. <https://doi.org/10.31234/osf.io/gw7nm>



22. Lukavský, J., Oksama, L., Děchtěrenko, F. (2023). Multiple object tracking with extended occlusions. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 76(9), 2094–2106. <https://doi.org/10.1177/17470218221142463>
23. McMains, S.A., Somers, D.C. (2004). Multiple spotlights of attentional selection in human visual cortex. *Neuron*, 42(4), 677–686. [https://doi.org/10.1016/s0896-6273\(04\)00263-6](https://doi.org/10.1016/s0896-6273(04)00263-6)
24. Merkel, C., Hopf, J.-M., Schoenfeld, M.A. (2024). Location- and Object-Based Representational Mechanisms Account for Bilateral Field Advantage in Multiple-Object Tracking. *eNeuro*, 11(3), ENEURO.0519-23.2024. <https://doi.org/10.1523/ENEURO.0519-23.2024>
25. Merkel, C., Hopf, J.-M., Schoenfeld, M.A. (2017). Spatio-temporal dynamics of attentional selection stages during multiple object tracking. *NeuroImage*, 146, 484–491. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2016.10.046>
26. Merkel, C., Hopf, J.-M., Schoenfeld, M.A. (2022). Electrophysiological hallmarks of location-based and object-based visual multiple objects tracking. *European Journal of Neuroscience*, 55(5), 1200–1214. <https://doi.org/10.1111/ejn.15605>
27. Meyerhoff, H.S., Papenmeier, F., Huff, M. (2017). Studying visual attention using the multiple object tracking paradigm: A tutorial review. *Atten Percept Psychophys*, 79(5), 1255–1274. <https://doi.org/10.3758/s13414-017-1338-1>
28. Nador, J., Reeves, A. (2023). Crowding expands and is less sensitive to target-flanker differences during a shift of visual attention. *Vision Research*, 212, 108305. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2023.108305>
29. Posner, M., Nissen, M., Ogden, W. (1978). Attended and unattended processing modes: The role of set for spatial location. In: H. Pick, I. Saltzman (Ed.), *Modes of Perceiving and Processing Information* (pp. 137–157). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
30. Pylyshyn, Z.W. (1989). The role of location indexes in spatial perception: a sketch of the FINST spatial-index model. *Cognition*, 32(1), 65–97. [https://doi.org/10.1016/0010-0277\(89\)90014-0](https://doi.org/10.1016/0010-0277(89)90014-0)
31. Pylyshyn, Z.W. (2001). Visual indexes, preconceptual objects, and situated vision. *Cognition*, 80(1), 127–158. [https://doi.org/10.1016/S0010-0277\(00\)00156-6](https://doi.org/10.1016/S0010-0277(00)00156-6)
32. Pylyshyn, Z.W., Storm, R.W. (1988). Tracking multiple independent targets: evidence for a parallel tracking mechanism. *Spatial Vision*, 3(3), 179–197. <https://doi.org/10.1163/156856888x00122>
33. Störmer, V.S., Alvarez, G.A., Cavanagh, P. (2014). Within-Hemifield Competition in Early Visual Areas Limits the Ability to Track Multiple Objects with Attention. *The Journal of Neuroscience*, 34(35), 11526. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0980-14.2014>
34. Tombu, M., Seiffert, A.E. (2008). Attentional costs in multiple-object tracking. *Cognition*, 108(1), 1–25. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2007.12.014>
35. Tombu, M., Seiffert, A.E. (2011). Tracking planets and moons: mechanisms of object tracking revealed with a new paradigm. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 73(3), 738–750. <https://doi.org/10.3758/s13414-010-0060-z>
36. Ullman, S. (1984). Visual routines. *Cognition*, 18(1-3), 97–159. [https://doi.org/10.1016/0010-0277\(84\)90023-4](https://doi.org/10.1016/0010-0277(84)90023-4)
37. Vater, C., Kredel, R., Hossner, E.-J. (2017). Detecting target changes in multiple object tracking with peripheral vision: More pronounced eccentricity effects for changes in form than in motion. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 43(5), 903–913. <https://doi.org/10.1037/xhp0000376>
38. Vu, A., Sorel, A., Limballe, A., Bideau, B., Kulpa, R. (2022). Multiple Players Tracking in Virtual Reality: Influence of Soccer Specific Trajectories and Relationship With Gaze Activity. *Frontiers in Psychology*, 13. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.901438>
39. Wierzbicki, M., Rupaszewski, K., Styrkowiec, P. (2024). Comparing highly trained handball players' and non-athletes' performance in a multi-object tracking task. *The Journal of General Psychology*, 151(2), 173–185. <https://doi.org/10.1080/00221309.2023.2241950>
40. Yantis, S. (1992). Multielement visual tracking: Attention and perceptual organization. *Cognitive Psychology*, 24(3), 295–340. [https://doi.org/10.1016/0010-0285\(92\)90010-Y](https://doi.org/10.1016/0010-0285(92)90010-Y)



Информация об авторах

Мargarita Михайловна Цепелевич, младший научный сотрудник, Научно-технологический университет «Сириус» (АНОО ВО «Университет «Сириус»»), пгт Сириус, Краснодарский край, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0637-4532>, e-mail: riks00022@gmail.com

Information about the authors

Margarita M. Tcepelevich, Junior Researcher, Sirius University of Science and Technology, Sirius, Krasnodar Region, Russian Federation, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0637-4532>, e-mail: riks00022@gmail.com

Вклад авторов

Цепелевич М.М. — идея исследования; поиск и анализ литературы, интерпретация результатов; написание и оформление рукописи.

Все аспекты исследования были выполнены автором самостоятельно.

Contribution of the Authors

Margarita M. Tcepelevich — conception; literature search, analysis, and interpretation of findings; writing the manuscript.

All aspects of the research were conducted independently by the author.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of Interest

The author declares no conflict of interest.

Декларация об этике

Этическое разрешение не требовалось, так как обзор содержит только ранее опубликованные работы.

Ethics Statement

An ethics statement is not applicable because this study is based exclusively on published literature.

Поступила в редакцию 06.12.2023

Поступила после рецензирования 31.07.2024

Принята к публикации 02.08.2024

Опубликована 01.03.2025

Received 2023.06.12.

Revised 2024.31.07.

Accepted 2024.02.08.

Published 2025.01.03.