

Категориальный поиск трехмерных фигур испытуемыми с разным уровнем математической экспертизы

А.А. Дренёва

МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

Поступила 3 февраля 2020/ Принята к публикации: 15 февраля 2020

Categorical search for three-dimensional shapes in participants with different level of mathematical expertise

Anna A. Dreneva

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Received February 3, 2019 / Accepted for publication: February 15, 2020

Актуальность. В статье изучается задача категориального поиска на материале трехмерных геометрических фигур – пирамид. Результаты предыдущих исследований на материале объектов реального мира и двумерных и трехмерных фигур показали, что претентивный экстрафовеальный анализ обеспечивает достаточно эффективную идентификацию целевого объекта, что выражается в верном направлении первой саккады и небольшом количестве посещенных зон с дистракторами, по сравнению со случайным поиском.

Цель. В данном исследовании мы изучали эффективность экстрафовеального анализа при категориальном поиске сложных трехмерных фигур испытуемыми двух групп: математиков и психологов. Выбор такого типа стимулов обусловлен возможностью более точно варьировать сложность стимулов и определять влияние концептуальной сложности объектов на эффективность экстрафовеального анализа, то есть анализа, осуществляемого вне зоны фовеа.

Описание хода исследования. В исследовании приняло участие 15 математиков и 17 психологов в возрасте от 18 до 25 лет. Каждый участник выполнил 144 задания, разбитые на 9 серий, в которых необходимо было найти целевую пирамиду среди пирамид-дистракторов. Во 2-й и 9-й сериях инструкцией вводился запрет на движения глаз с целью изучения процессов скрытого внимания в процессе категориального поиска.

Результаты. Результаты эксперимента выявили отсутствие различий в использовании данных экстрафовеального анализа и примерно равную точность ответов членов обеих групп. Важным результатом стало обнаружение межличностных различий, которые проявились как в разной степени применения экстрафовеального анализа в процессе поиска, так и в изменении стратегии решения задачи. Специальные пробы с запретом на движения глаз выявили значимую роль скрытого внимания в категориальном поиске, а также принципиальную возможность и эффективность экстрафовеального анализа, который при свободной инструкции применялся не всеми испытуемыми и не во всех пробах.

Выводы. При решении задачи категориального поиска были одновременно задействованы процессы как фовеальной, так и экстрафовеальной обработки стимулов, а также претентивного анализа и скрытого внимания. Динамика взаимодействия этих процессов определялась низкоуровневыми перцептивными процессами, индивидуальными особенностями субъектов, спецификой задачи и инструкции.

Ключевые слова: категориальный поиск, экстрафовеальный анализ, скрытое внимание, претентивная обработка, трехмерные фигуры, перцептивные процессы, механизмы зрительного поиска, внимание, межличностные различия.

Background. The paper considers the issue of categorical search for three-dimensional geometric shapes. The results of the previous studies on the real-world objects showed that pre-attentive extrafoveal analysis provides an effective identification of the target, reflecting in the right direction of the first saccade compared with the random search.

Objective. In this study, we investigated the efficacy of extrafoveal analysis during categorical search for pyramids in two groups of participants: mathematicians and psychologists.

Design. 15 mathematicians and 17 psychologists aged 18–25 participated in the study. Each participant performed 144 trials searching for the target pyramid among the distractor pyramids. In the series 2 and 9, any eye movements were prohibited to study covert attention.

Results. The findings of the experiment failed to reveal any differences in the use of extrafoveal analysis and accuracy in both groups. We observed dramatic individual differences, revealed in various degrees of extrafoveal analysis in the search process and in changing the strategy of the task solving. Special series which prohibited eye movements, demonstrated a significant role of covert attention in the categorical search, as well as the possibility and effectiveness of extrafoveal analysis even though while free instruction it could not be used by all participants and all cases.

Conclusion. During categorical search both foveal and extrafoveal processing of stimuli, as well as pre-attentive analysis and covert attention, were simultaneously involved. The dynamics of their interaction was determined by low-level perceptual processes, individual characteristics of the subjects, the task specificity and the instruction.

Key words: categorical search; extrafoveal analysis; covert attention; pre-attentive processing; three-dimensional shapes; perceptual processes; visual search mechanisms; attention, interindividual differences

Введение

Десятилетия исследований в области зрительного поиска обеспечили богатый материал, объясняющий механизмы того, как мы ищем и находим объекты в окружающем мире (Wolfe, 1998; Eckstein, 2011). Одной из характерных тенденций в области зрительного поиска является постепенный переход от более простых стимулов: отдельных точек, символов, простейших форм к более сложным, семантически нагруженным стимулам, реалистичным фотоизображениям объектов (Zelinsky et al., 1997), рисункам (Henderson, Weeks, Hollingworth, 1999) и, наконец, полностью реалистичным сценам (Eckstein, Drescher, Shimozaki, 2006; Zelinsky, Schmidt, 2009).

Одной из характерных тенденций в области зрительного поиска является постепенный переход от более простых стимулов: отдельных точек, символов, простейших форм к более сложным, семантически нагруженным стимулам, реалистичным фотоизображениям объектов, рисункам и, наконец, полностью реалистичным сценам

Такой переход естественным образом связан с изменением типа поисковой задачи. Если в ранних исследованиях цель задавалась предельно конкретно и чаще всего представлялась в виде конкретного объекта, то впоследствии целевой стимул стал задаваться в виде текста с его названием – вербальной инструкции. Такая задача получила название категориального поиска, при котором целевой объект задается понятием, категорией. Данный тип задачи специфичен тем, что цель имеет не конкретные физические черты, она может принимать вид любого из представителей заданной категории и может появиться в любом виде и под любым углом. Такая задача, безусловно, является гораздо более сложной и при этом экологичной – в реальной жизни

мы редко ищем конкретную урну, чтобы выбросить обертку, или конкретную кофейню, чтобы быстро перекусить в незнакомом месте (Zelinsky et al., 2013).

Разумеется, ввиду повышенной сложности категориального поиска с вербальной инструкцией, по сравнению с поиском конкретного образа цели, эффективность выполнения задачи категориального поиска ниже (Wolfe et al., 2004; Vickery, King, Jiang, 2005). Однако сниженная эффективность поиска не означает, что он неуправляем. По данным исследования Zelinsky и коллег, категориально заданные цели фиксировались с первой же саккады чаще, чем можно было бы ожидать при случайном поиске (Yang, Zelinsky, 2009), а степень «управляемости» поиска возрастала с увеличением количе-

ства вербальной информации о целевом стимуле (Schmidt, Zelinsky, 2009).

В серии наших исследований мы используем объекты, репрезентирующие математические понятия. В предыдущих экспериментах (Кричевец и др., 2017; Дренёва и др., 2019) мы изучали процесс выполнения задачи на категориальный поиск на материале простых геометрических фигур (квадрат, круг, треугольник, крест), двумерных геометрических фигур (четырёхугольники разных видов) и трехмерных фигур (пирамиды и призмы). Результаты проведенных исследований подтвердили естественные гипотезы: концептуальная сложность фигур, наряду с факторами схожести дистрактора и ориентацией в пространстве, оказывают влияние на скорость

и эффективность поиска. Такая зависимость может иметь место, только если испытуемый анализирует стимулы еще до перевода объектов интереса в зону фовеа. Такой анализ естественно назвать экстрафовеальным (термин экстрафовеа в современной литературе употребляется для объединения парафовеальной и периферической зон зрительного поля). К экстрафовеальному анализу мы отнесем процессы претентивной параллельной обработки зрительного поля и скрытого внимания, которые будут рассмотрены далее.

Естественной тенденцией в области зрительного поиска является изменение фиксируемых параметров. Если в начале изучения механизмов поиска визуальных объектов наиболее популярными параметрами фиксации выступали время моторной реакции и точность ответа (Wolfe et al., 2004), то с середины 90-х годов прошлого века стали использоваться параметры движений глаз (Findlay, 1997; Williams et al., 1997; Zelinsky, Sheinberg, 1997), в частности, в ситуациях категориального поиска, такой показатель, как направление первой саккады (Chen, Zelinsky, 2006; Schmidt, Zelinsky, 2011; Zelinsky et al., 2013). В наших исследованиях (Кричевец и др., 2017; Дренёва и др., 2019) мы использовали сходный, но более информативный параметр – количество посещенных секторов до достижения сектора с целевым стимулом. Данный показатель позволяет выявить не только наличие ранней параллельной обработки всех стимулов, предвещающей программирование первой саккады, но также уровень эффективности экстрафовеального анализа при программировании последующих саккад. Если учитывать, насколько выражено отличие этого показателя от соответствующего случайному просмотру всех представленных объектов.

Безусловно, процесс зрительного поиска тесно связан с механизмами внимания, обеспечивающими более высокую эффективность идентификации объектов и их конкретных характеристик (Treisman, Gelade, 1980; Zhang et al., 2008). Многие модели внимания постулируют, что процессы, функционирующие «сверху вниз» (top-down), с самого начала оказывают значительное влияние на процесс



Дренёва Анна Александровна –

психолог кафедры методологии психологии
факультета психологии Московского государственного
университета имени М.В. Ломоносова
E-mail: annadrenyova@mail.ru
<https://istina.msu.ru/profile/DrenevaAA/>

программирования саккад (Rosenholtz, Huang, Ehinger, 2012). В контексте ограниченных ресурсов внимания прелатентивный анализ объектов, то есть осуществляемый еще до привлечения внимания, может проводиться по всему полю одновременно, после чего внимание переносится на один конкретный объект для более тщательного изучения. Выделяется также особый вид внимания – скрытое внимание (Posner, 1980; Deubel, 2008), перемещающееся по зрительному полю без сопутствующих движений глаз. В данном исследовании специальные серии, в которых инструкцией вводился запрет на движения глаз, позволили сфокусироваться исключительно на экстрафовеальном анализе стимулов с помощью скрытого внимания.

В нашем исследовании для изучения возможностей экстрафовеального анализа в качестве стимульного материала использовались достаточно сложные трехмерные фигуры – пирамиды, экстрафовеальное распознавание которых представляет для испытуемых трудную задачу (Дренёва и др., 2019), в отличие от относительно простых задач, описанных в другой работе (Кричевец и др., 2017). Мы рассчитывали, что в этой сложной ситуации наилучшим образом выявится главный предмет нашего интереса – межиндивидуальные различия, которые могут проявляться в различных перцептивных и когнитивных стратегиях решения задачи. Такие различия могут быть вызваны личностными особенностями, разным уровнем мотивации (Gandini, Lemaire, Dufau, 2008; Frömer et al., 2015), а также различным уровнем экспертизы в области, релевантной предъявляемым стимулам. В нашем исследовании мы контролировали только последний фактор.

Исследования движений глаз «экспертов» (математиков, физиков, программистов) показали, что они способны более быстро и точно находить релевантные объекты (Gegenfurtner, Lehtinen, Säljö, 2011; Чумаченко, Шварц, 2016) и быстрее выделять ключевые стимулы из шума (Goodwin, 1994). Кроме того, существуют данные о том, что математическое образование обеспечивает более эффективное выделение структур в паттернах (Radford, 2010) и использование неочевидных эвристик при решении задач на

ориентировку в координатной плоскости (Krichevets, Shvarts, Chumachenko, 2014). Опираясь на эти работы, мы предполагали, что наличие математического образования скажется на результате решения задачи категориального поиска сложных геометрических фигур.

Основной целью данного исследования выступило изучение эффективности решения задачи категориального зрительного поиска на материале сложных трехмерных фигур, в частности, изучение возможностей экстрафовеального анализа стимулов в обычных пробах, разрешающих движения глаз, и специальных, в которых вводился запрет на движения глаз. Кроме того, в исследовании ставилась цель изучения роли математической экспертизы в контексте эффек-

Основной целью данного исследования выступило изучение эффективности решения задачи категориального зрительного поиска на материале сложных трехмерных фигур, в частности, изучение возможностей экстрафовеального анализа стимулов в обычных пробах, разрешающих движения глаз, и специальных, в которых вводился запрет на движения глаз

тивности поиска сложных геометрических фигур.

Проведение исследования

Выборка. Выборка включала две подгруппы: «эксперты» (математики, физики, программисты, имевшие или получавшие соответствующее образование) и «новички» (психологи). В первой группе было 15 человек (из них 7 женщин), во второй – 17 человек (из них 16 женщин). Возраст варьировал от 18 до 25 лет. Все участники имели нормальное или скорректированное до нормального зрение.

Аппаратно-программные характеристики. Движения глаз записывались с помощью установки SMIREД с частотой регистрации положения взгляда 120 Гц. Запись проводилась с использованием программы iViewX, стимульный материал предъявлялся в программе ExperimentCenter 3.3. Экран монитора имел размеры 19 дюймов по диагонали. Испытуемые находились на расстоянии 60 см от экрана, голова не фиксировалась. В начале эксперимента проводилась двенадцатиточечная калибровка с валидизацией, по результатам которой испы-

туемые допускались к участию в эксперименте. Критерием допуска выступало достижение калибровочной точности не более 0,5 градуса.

Процедура. Испытуемым предъявлялась следующая инструкция: «Вашей задачей является нахождение стереометрических фигур (четырёх- и пятиугольных пирамид), указанных в инструкции. Прочитав инструкцию, переведите взгляд на фиксационный крест. После этого появится слайд с четырьмя фигурами, из которых Вы должны будете выбрать нужную. Как только Вы ее найдете, нажмите на пробел и назовите букву сектора, в котором она находилась. Постарайтесь выполнять задания как можно быстрее и правильнее». Перед каждым предъявлением слайда со стимулами на экране

появлялась текстовая инструкция в виде названия целевой фигуры. Перед второй и последней сериями, в которых вводился запрет на движения глаз из центра экрана, предъявлялась инструкция: «Внимание! Постарайтесь выполнять задания, не переводя взгляд из центра экрана».

Стимулы представляли собой слайды с трех-, четырех-, пяти- и шестиугольной пирамидами, равноудаленными от центра на расстояние 4–6 угловых градусов (рисунок 1). Задачей испытуемого было, в зависимости от инструкции, находить 4-х или 5-ти угольную пирамиду как можно скорее и точнее. Варьировались сле-

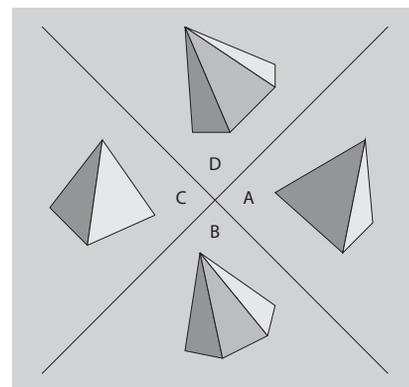


Рис. 1. Образец стимульного слайда

Fig. 1. Sample stimulus slide

Табл. 1. Количество правильных ответов в группах математиков и психологов

Математики («эксперты»)		Психологи («новички»)	
Инициалы испытуемого	Количество правильных ответов (%)	Инициалы испытуемого	Количество правильных ответов (%)
V	58,9	T	50
A1	65,3	A4	50,7
M1	68,5	A5	54,9
A2	68,7	M3	55,2
A3	69,2	I	56,6
Y	69,9	M4	62,5
N	70,6	D2	69,7
E1	72,1	V	74,8
E2	72,9	E3	76,1
D1	74,1	M5	77,8
S	90,2	K2	78
K1	91	A6	81,1
M2	93,1	A7	82,6
		K3	82,6
		A8	84
		D3	85
Среднее арифметическое	74,2	Среднее арифметическое	70,1
Медиана	70,6	Медиана	75,45

Tab. 1. Number of correct answers in groups of mathematicians and psychologists

Mathematicians ("experts")		Psychologists ("freshers")	
Subject's initials	Number of correct answers (%)	Subject's initials	Number of correct answers (%)
V	58,9	T	50
A1	65,3	A4	50,7
M1	68,5	A5	54,9
A2	68,7	M3	55,2
A3	69,2	I	56,6
Y	69,9	M4	62,5
N	70,6	D2	69,7
E1	72,1	V	74,8
E2	72,9	E3	76,1
D1	74,1	M5	77,8
S	90,2	K2	78
K1	91	A6	81,1
M2	93,1	A7	82,6
		K3	82,6
		A8	84
		D3	85
Average	74,2	Average	70,1
Median	70,6	Median	75,45

дующие факторы: тип цели (4-х или 5-ти угольная пирамида), разрешение/запрет на движения глаз, расположение в одном из четырех секторов. Последний фактор варьировался квазирандомизированным образом.

В эксперименте было 9 серий по 16 проб. При этом во 2-й и 9-й сериях инструкцией вводился запрет на движения

глаз, и угол зора к плоскости основания фигур был 35 градусов, а не 25, как в остальных сериях, для оценки качества переноса навыка распознавания пирамид на новые изображения фигур. Первая серия являлась тренировочной и не учитывалась при анализе результатов.

Всего было предъявлено 144 слайда: в первой части 80, во второй – 64, с неболь-

шим перерывом между частями (от пяти до пятнадцати минут). В каждой серии из 16 стимулов следовало 8 проб подряд с четырехугольной пирамидой и 8 – с пятиугольной. Тип цели чередовался.

Обработка данных. Обработка данных в этом эксперименте включала в себя анализ не только стандартных показателей – времени и правильности ответа. Как мы писали во введении, вместо частоты направления первой саккады на цель (Chen, Zelinsky, 2006; Schmidt, Zelinsky, 2011; Zelinsky et al., 2013), мы используем в наших исследованиях длину последовательности посещения зон со стимулами до посещения целевой зоны. Этот показатель рассчитывался следующим образом.

С помощью программы Begaze 3.3 экран со стимулами делился на 5 зон интереса: 4 сектора со стимулами и центральная зона. Далее учитывалось количество посещенных зон в последовательности фиксации до достижения сектора с целевой фигурой – порядковый номер целевой зоны. Повторные посещения зон не учитывались. Поскольку количество посещенных зон при случайном поиске сектора с целевой фигурой равно $(1+2+3+4)/4=2,5$, именно с этим числом сравнивались средние индивидуальные показатели (в принципе, возможен случай, когда, посетив три зоны без целевого стимула, испытуемый методом исключения определяет правильный ответ, однако такие случаи не встретились в более чем четырех тысячах проб). В серии наших исследований экстрафовеального восприятия мы обозначаем этот показатель FirstT.

Статистическая обработка данных осуществлялась с помощью программы IBM SPSS Statistics version 21.

Результаты

В результате эксперимента были получены 4162 пробы по 29 испытуемым. Пробы еще троих участников недоступны для анализа по техническим причинам. Сравнительный межгрупповой анализ количества правильных ответов показал следующие результаты: «эксперты» в среднем дали 74,2% правильных ответов, «новички» – 70,1%. Что свиде-

тельствует о значительной сложности категориального поиска при таком стимульном материале. Важно, что значимых различий между группами обнаружено не было (таблица 1).

Отсутствие значимых различий между двумя группами может указывать на то, что данная задача требует использования навыка, несвязанного напрямую с образовательным профилем. По данным постэкспериментального интервью было выявлено, что участники из группы психологов, давшие наибольшее число правильных ответов (81% и выше), в действительности имели достаточно обширный опыт работы со схематизированными изображениями трехмерных фигур, например, посещали художественную школу, дополнительно занимались стереометрией, изготавливали макеты трехмерных фигур, изучали основы дизайна и так далее.

Поскольку различий между «экспертами» и «новичками» во всех видах обработки не обнаруживается, мы приводим далее только результаты по объединенной выборке. При рассмотрении тренировочных серий от третьей до восьмой одновыборочный Т-критерий сравнения по всем испытуемым среднего индивидуального значения FirstT со значением 2,5, соответствующим случайному поиску, дает $t(28) = 4,9$, $p = 0,00004$ (критерий знаковых рангов дает $p = 0,0001$). При расчете средних индивидуальных значений мы учитывали здесь только пробы, заканчивающиеся правильным ответом. Правомомерность такой фильтрации не бесспорна. Можно возразить, что правильные ответы даются на более простые задания. Однако, если включать все пробы, независимо от правильности, результат только усиливается ($t(28) = 5,3$). Таким образом, экстрафовеальный анализ стимулов, несомненно, имеет место в среднем по выборке.

Однако характеристика «в среднем» затушевывает тот очевидный факт, что некоторые испытуемые демонстрируют впечатляющие индивидуальные результаты. Одновыборочный Т-критерий сравнения индивидуальных значений показателя FirstT в соответствующих пробах дает у семи испытуемых $p < 0,001$ – значимость, выдерживающую поправку Бонферрони для 29 сравнений. Мы

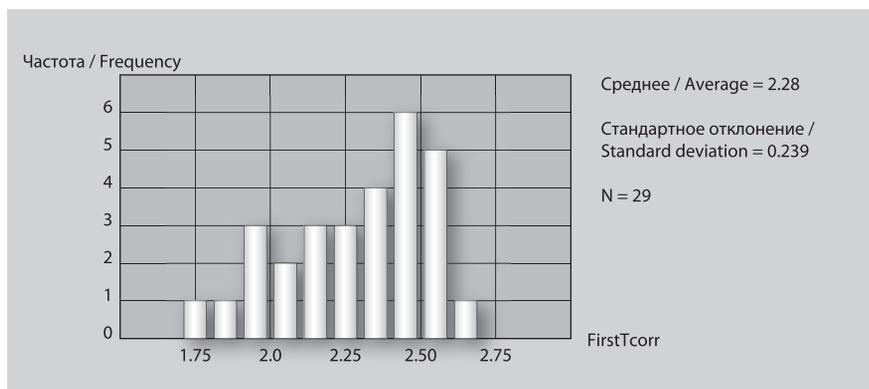


Рис. 2. Гистограмма распределения средних показателей FirstT по испытуемым

Fig. 2. Histogram of average FirstT indicators in subjects

отдаем себе отчет, что использование Т-критерия для дискретного и асимметричного распределения дает уязвимый результат, но вместе с корректным описанным выше подтверждением результата в среднем эти значимости можно считать достаточно убедительным свидетельством того, что некоторые испытуемые используют экстрафовеальный анализ при программировании саккад. Доказать, что некоторые другие испытуемые такой анализ не используют, разумеется, невозможно, но приведенная на рисунке 2 гистограмма распределения средних показателей по испытуемым говорит о том, что это, вероятно, так. Мода распределения находится вблизи точки 2,5, в то время как наиболее способные испытуемые определяют бросающуюся в глаза асимметрию распределения.

Интересно также проанализировать динамику показателя FirstT в процессе тренировки. Отрицательная корреляция между номером пробы и значением FirstT для данного испытуемого является индикатором все более эффективного использования экстрафовеального анализа и способности находить целевую фигуру при просмотривании все меньшего числа секторов. Такая корреляция была обнаружена всего у 3 испытуемых (у всех трех значимости меньше 0,02, но не выдерживают поправку Бонферрони). Значимое ухудшение параметра, то есть положительная корреляция номера пробы с FirstT, наблюдалась у двух участников ($p = 0,004$ и $p = 0,0015$ – последняя выдерживает поправку Бонферрони для 29 сравнений). Хотя в среднем коэффициент корреляции близок к нулю, все же то,

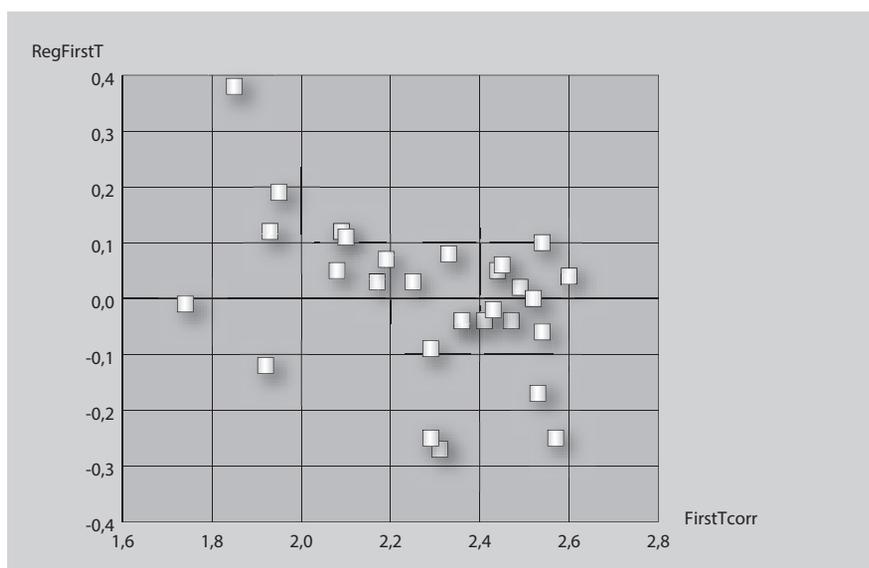


Рис. 3. Взаимосвязь динамики показателя FirstT и среднего FirstT по испытуемым

Fig. 3. Relationship between the dynamics of the indicator FirstT and the average FirstT in subjects

Другой важной находкой данного исследования является обнаружение модификации поведения конкретных испытуемых в процессе решения задачи категориального поиска, причем, у каждого участника это изменение носило индивидуальный характер

что мы имеем дело с усреднением разнонаправленных тенденций, подтверждается следующим расчетом. Рассмотрим, как зависит динамика FirstT от демонстрируемого данным испытуемым среднего показателя FirstT. График рассеяния приведен на рисунке 3.

Коэффициент корреляции Спирмена равен $-0,36$ ($p = 0,055$). При этом пирсоновский коэффициент дает лучший результат. Мы видим, что разнонаправленная динамика согласуется со средним уровнем показателя. Например, испытуемый, показавший второй результат среднего по FirstT, демонстрирует максимальное ухудшение этого показателя в процессе тренировки (для него следовало бы сказать «антитренировки»). Более того, обе значимости его результатов выдерживают поправку Бонферрони на множественные сравнения.

Перейдем теперь к рассмотрению результатов контрольных серий 2 и 9, в которых инструкцией вводился запрет на движения глаз из центра экрана. Пробы из этих серий, в которых были выявлены движения глаз вне центральной зоны, исключались из анализа. По итогам контрольных серий было обнаружено, что различия средних между группами математиков и психологов минимальны ($0,56$ и $0,57$ во второй серии и $0,68$ и $0,69$ в девятой соответственно). При объединении групп среднее индивидуальных частот правильных ответов значительно выше в 9-й серии, по сравнению со 2-й – $0,68$ и $0,56$ соответственно и различия значимы – $t(28) = 2,71$, $p = 0,011$ ($p = 0,027$ в непараметрическом варианте). При сравнении частот с частотой угадывания $0,25$ отличия выглядят достоверными (во второй и девятой сериях $t(28)$ равно $7,5$ и $16,4$ соответственно). Поскольку треугольная пирамида похожа на четырехугольную, а пятиугольная – на шестиугольную, то есть выбор из похожих пар представляется более легкой задачей, чем выбор из четырех фигур, мы также сравнили значения частот с частотой $0,5$, соответствующей случайному угадыванию целевой фигуры при

предшествующем правильном определении пары схожих с целевой фигур. Таким образом, с помощью одновыборочного T-критерия мы измерили здесь чистое экстрафовеальное распознавание целевой фигуры «с запасом».

По второй серии среднее значение частот, как уже говорилось, составило $0,56$, $t(28) = 1,49$, $p = 0,15$, по девятой серии – $0,68$, $t(29) = 6,99$, $p < 0,000001$ (непараметрический аналог дает $p = 0,0002$). Этот поразительный результат говорит о том, что при запрете движений глаз задача распознавания цели решается испытуемыми в среднем достаточно успешно. При этом частота меньше $0,5$ в 9-й серии наблюдается лишь у двух испытуемых, а два лучших участника выполнили все шестнадцать проб без движений глаз и допустили суммарно всего одну ошибку. При этом корреляции между процентами правильных ответов во второй и девятой сериях, с одной стороны, и средним индивидуальным значением FirstT, с другой, малы и равны – $0,085$ и $0,11$ соответственно. Таким образом, можно говорить о том, что, во-первых, научение экстрафовеальному анализу фигур произошло, во-вторых, при соответствующей инструкции экстрафовеальный анализ достаточно эффективен и, в-третьих, в процессе планирования саккад экстрафовеальный анализ, возможность которого продемонстрировала 9-я серия, не используется в полной мере.

Обсуждение

Результаты данного исследования позволяют сделать вывод о том, что категориальный поиск трехмерных пирамид оказался достаточно сложным для всех испытуемых, что отразилось в количестве посещенных зон близком к случайному, а также в невысокой эффективности экстрафовеального анализа в пробах со свободной инструкцией. При этом анализ проб, в которых нельзя было переводить взгляд за пределы центральной зоны, выявил, что достаточно точный экстрафовеальный анализ, тем не менее,

вполне возможен для большинства испытуемых, хотя и не используется ими, когда запрета на движения глаз нет.

Другой важной находкой данного исследования является обнаружение модификации поведения конкретных испытуемых в процессе решения задачи категориального поиска, причем, у каждого участника это изменение носило индивидуальный характер. Отмечались не только специфические стратегии, с использованием или игнорированием данных экстрафовеального анализа при решении задачи, но также различные виды трансформации этих стратегий в процессе эксперимента.

Например, одни испытуемые демонстрировали успешное обучение категориальному поиску, что выражалось в сокращении числа посещенных зон и, следовательно, в улучшении показателя эффективности экстрафовеального анализа. Другие испытуемые, изначально более успешно различавшие стимулы и имевшие более высокий показатель эффективности экстрафовеального анализа, могли с течением эксперимента демонстрировать его ухудшение, за которым, возможно, стояла выработка единой стратегии для всех задач, ввиду возможной энергозатратности экстрафовеального анализа. Можно предполагать, что на эффективность поиска оказывали влияние такие факторы, как индивидуальные особенности участников, их перцептивные и когнитивные стратегии, а также ситуационная мотивация. Такие результаты согласуются с другими работами по данной теме (Gandini, Lemaire, Dufau, 2008; Fromer et al., 2015). Таким образом, можно говорить об межличностных различиях в стратегиях зрительного поиска у каждого из испытуемых, а также о специфическом их изменении в процессе эксперимента.

Кроме того, по результатам эксперимента было выявлено, что распознавание сложных геометрических фигур и уровень эффективности экстрафовеального анализа не имеют прямой связи с образовательным профилем участников. Определенное влияние при этом может иметь наличие соответствующего опыта работы с трехмерными объектами, знания и навыки в области изобразительного искусства и архитектуры.

Дополнительно было обнаружено определенное научение экстрафовеальному анализу у большинства испытуемых, которое выразилось в большем числе правильных ответов во второй контрольной серии, по сравнению с первой. В этом контексте интересно то, что в данном эксперименте средний FirstT (2,26) по всем испытуемым значимо отличался от случайных – 2,5, а также от результатов нашего предыдущего исследования (Дренёва и др., 2019), в котором средние значения FirstT в сериях третьей по восьмую варьировали по испытуемым от 2,21 до 2,78 (там же). Единственным отличием между этим экспериментом и предшествующим было наличие во второй серии запрета на движения глаз, что могло дать испытуемым соответствующую установку на более активное использование экстрафовеального анализа в процессе поиска.

Поскольку в данном эксперименте использовались довольно сложные трехмерные фигуры, мы можем с уверенностью говорить о вовлеченности категоризации в процесс решения поисковой задачи. Другими словами, мы изучали обработку не только низкоуровневых перцептивных признаков объектов, но также анализ характеристик гораздо более высокого уровня, обеспечиваемого мыслительными операциями категоризации и навыком работы с соответствующими сложными стимулами. Влияние механизмов top-down на процесс восприятия было показано и в других работах (Rosenholtz, Huang, Ehinger, 2012). Применительно к нашему исследованию, похожие результаты были получены Yang и Zelinsky, которые показали, что задача поиска категориально заданного объекта среди изображений произвольных быто-

Изучение роли скрытого внимания в специальных сериях, в которых инструкцией вводился запрет на движения глаз, дали материал для глубокой дальнейшей проработки феномена экстрафовеального анализа, поскольку, даже если он наблюдается не во всех ситуациях и не у всех испытуемых при свободной инструкции, он, тем не менее, все равно возможен

вых предметов может быть решена экстрафовеально (Yang, Zelinsky, 2009).

Заключение

Результаты данного исследования продемонстрировали, что при решении задачи категориального поиска трехмерных геометрических фигур одновременно задействованы процессы экстрафовеального и фовеального анализов стимулов. Данные процессы сложным образом взаимодействуют между собой, при этом динамика этого взаимодействия может определяться индивидуальными особенностями субъектов, спецификой задачи и инструкции и механизмами нижнего уровня, обеспечивающими быструю автоматическую обработку признаков. Значимым результатом стало обнаружение и исследование межличностных различий, которые проявились не только в определенной степени использования экстрафовеального анализа, но также в степени изменения стратегии решения задачи и уровне научения категориальному поиску в процессе прохождения эксперимента. Изучение роли скрытого внимания в специальных сериях, в которых инструкцией вводился запрет на движения глаз, дали материал для глубокой дальнейшей проработки феномена экстрафовеального анализа, поскольку, даже если он наблюдается не во всех ситуациях и не у всех испытуемых при свободной инструкции, он, тем не менее, все равно возможен.

Перспектива дальнейших исследований затрагивает условия, поощряющие его использование, например, уже примененные нами ограничения перемещений взгляда, ограничение времени решения или предъявления стимулов. Исследование глазодвигательного поведения испытуемых в таких условиях поможет более полно изучить процессы экстрафовеального анализа зрительного поля и особенности его взаимодействия с другими системами перцепции, внимания и мышления.

Информация о грантах и благодарностях

Автор выражает благодарность Анатолию Николаевичу Кричевцу, Анне Юрьевне Шварц и Дмитрию Валерьевичу Чумаченко за помощь в проведении исследования и ценные замечания в процессе написания статьи.

Работа выполнена в рамках НИР по гранту РФФИ «Экстрафовеальный анализ зрительных стимулов, заданных математическими понятиями: взаимодействие нисходящих и восходящих процессов». Номер договора: 18-013-00869

Acknowledgments

The work was carried out as part of a research project under the RFBR grant "Extrafoveal analysis of visual stimuli given by mathematical concepts: the interaction of descending and ascending processes." Contract N 18-013-00869

Литература:

- Дренёва А.А. и др. Экстрафовеальный анализ категориально заданных трехмерных фигур // Сибирский психологический журнал. – 2019. – № 72. – С. 68–92. 10.17223/17267080/72/4
- Кричевец А.Н. и др. Возможности экстрафовеального восприятия геометрических фигур // Вопросы психологии. – 2017. – №. 6. – С. 117–128.
- Чумаченко Д.В., Шварц А.Ю. Проблема трансформации перцептивных процессов в ходе обучения: анализ исследований, выполненных методом записи движений глаз, с позиций деятельностного подхода [Электронный ресурс] // Психологические исследования : электронный научный журнал. – 2016. – Т. 9. – №. 49. – С. 12–12 : [сайт]. URL: <http://psystudy.ru/num/2016v9n49/1329-chumachenko49>
- Chen X., & Zelinsky G.J. (2006). Real-world visual search is dominated by top-down guidance. *Vision research*, 46(24), 4118–4133. doi: 10.1016/j.visres.2006.08.008
- Deubel H. (2008). The time course of presaccadic attention shifts. *Psychological research*, 72(6), 630. doi: 10.1007/s00426-008-0165-3
- Eckstein M.P. (2011). Visual search: A retrospective. *Journal of vision*, 11(5), 14–14. doi: 10.1167/11.5.14

- Eckstein M.P., Drescher B.A., & Shimozaki S.S. (2006). Attentional cues in real scenes, saccadic targeting, and Bayesian priors. *Psychological science*, 17(11), 973–980. doi: 10.1111/j.1467-9280.2006.01815.x
- Findlay J.M. (1997). Saccade target selection during visual search. *Vision research*, 37(5), 617–631. doi: 10.1016/S0042-6989(96)00218-0
- Frömer R. et al. (2015). Are individual differences in reading speed related to extrafoveal visual acuity and crowding? *PloS one*, 10(3), / doi: 10.1371/journal.pone.0121986
- Gandini D., Lemaire P., & Dufau S. (2008). Older and younger adults' strategies in approximate quantification. *Acta psychologica*, 129(1), 175–189. doi: 10.1016/j.actpsy.2008.05.009
- Gegenfurtner A., Lehtinen E., & Säljö R. (2011). Expertise differences in the comprehension of visualizations: A meta-analysis of eye-tracking research in professional domains. *Educational Psychology Review*, 23(4), 523–552. doi: 10.1007/s10648-011-9174-7
- Goodwin C. (1994). Professional vision. *American anthropologist*, 96(3), 606–633. doi: 10.1525/aa.1994.96.3.02a00100
- Henderson J.M., Weeks Jr P.A., & Hollingworth A. (1999). The effects of semantic consistency on eye movements during complex scene viewing. *Journal of experimental psychology: Human perception and performance*, 25(1), 210. doi: 10.1037/0096-1523.25.1.210
- Krichevets A.N., Shvarts A.Y., & Chumachenko D.V. (2014). Perceptual action of novices and experts in operating visual representations of a mathematical concept. *[Psikhologiya. Zhurnal Vysshey shkoly ekonomiki]*, 11(3), 55–78.
- Posner M.I. (1980). Orienting of attention. *Quarterly journal of experimental psychology*, 32(1), 3–25. doi: 10.1080/00335558008248231
- Radford L. (2010). The eye as a theoretician: Seeing structures in generalizing activities. *For the learning of mathematics*, 30(2), 2–7. doi: 10.2307/20749442
- Rosenholtz R., Huang J., & Ehinger K.A. (2012). Rethinking the role of top-down attention in vision: Effects attributable to a lossy representation in peripheral vision. *Frontiers in psychology*, 3(13). doi: 10.3389/fpsyg.2012.00013
- Schmidt J., & Zelinsky G.J. (2009). Search guidance is proportional to the categorical specificity of a target cue. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 62(10), 1904–1914. doi: 10.1080/17470210902853530
- Schmidt J., Zelinsky G.J. (2011). Visual search guidance is best after a short delay. *Vision Research*, 51(6), 535–545. doi: 10.1016/j.visres.2011.01.013
- Treisman A. M., & Gelade G. (1980). A feature-integration theory of attention. *Cognitive psychology*, 12(1), 97–136. doi: 10.1016/0010-0285(80)90005-5
- Vickery T.J., King L.W., & Jiang Y. (2005). Setting up the target template in visual search. *Journal of Vision*, 5(1), 8–8. doi: 10.1167/5.1.8
- Williams D.E. et al. (1997). Patterns of eye movements during parallel and serial visual search tasks. *Canadian Journal of Experimental Psychology/Revue canadienne de psychologie expérimentale*, 51(2), 151. doi: 10.1037/1196-1961.51.2.151
- Wolfe J.M. et al. (2004). How fast can you change your mind? The speed of top-down guidance in visual search. *Vision research*, 44(12), 1411–1426. doi: 10.1016/j.visres.2003.11.024
- Wolfe J.M. (1998). What can 1 million trials tell us about visual search? *Psychological Science*, 9(1), 33–39. doi: 10.1111/1467-9280.00006
- Yang H., & Zelinsky G.J. (2009). Visual search is guided to categorically-defined targets. *Vision research*, 49(16), 2095–2103. doi: 10.1016/j.visres.2009.05.017
- Zelinsky G.J. et al. (1997). Eye movements reveal the spatiotemporal dynamics of visual search. *Psychological science*, 8(6), 448–453. doi: 10.1111/j.1467-9280.1997.tb00459.x
- Zelinsky G.J. et al. (2013). Modelling eye movements in a categorical search task. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 368(1628). doi:10.1098/rstb.2013.0058
- Zelinsky G.J., & Schmidt J. (2009). An effect of referential scene constraint on search implies scene segmentation. *Visual Cognition*, 17(6–7), 1004–1028. doi: 10.1080/13506280902764315
- Zelinsky G.J., & Sheinberg D.L. (1997). Eye movements during parallel–serial visual search. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 23(1), 244. doi: 10.1037/0096-1523.23.1.244
- Zhang L. et al. (2008). SUN: A Bayesian framework for saliency using natural statistics. *Journal of vision*, 8(7), 32–32. doi: 10.1167/8.7.32

References:

- Chen X., & Zelinsky G.J. (2006). Real-world visual search is dominated by top-down guidance. *Vision research*, 46(24), 4118–4133. doi: 10.1016/j.visres.2006.08.008
- Chumachenko D.V., & Schwartz A.Yu. (2016). The issue of transforming perceptual processes in training: analysis of studies performed by recording eye movements from the perspective of the activity approach *[Psikhologicheskoe issledovaniya: elektronnyy nauchnyy zhurnal]*, 9(49). 12–12. Retrieved from: <http://psystudy.ru/num/2016v9n49/1329-chumachenko49>
- Deubel H. (2008). The time course of presaccadic attention shifts. *Psychological research*, 72(6), 630. doi: 10.1007/s00426-008-0165-3
- Drenyova A.A. et al. (2019). Extrafoveal analysis of categorically defined three-dimensional figures. *[Sibirskiy psikhologicheskii zhurnal]*, 72, 68–92. doi: 10.17223/17267080/72/4
- Eckstein M.P. (2011). Visual search: A retrospective. *Journal of vision*, 11(5), 14–14. doi: 10.1167/11.5.14
- Eckstein M.P., Drescher B.A., & Shimozaki S.S. (2006). Attentional cues in real scenes, saccadic targeting, and Bayesian priors. *Psychological science*, 17(11), 973–980. doi: 10.1111/j.1467-9280.2006.01815.x
- Findlay J.M. (1997). Saccade target selection during visual search. *Vision research*, 37(5), 617–631. doi: 10.1016/S0042-6989(96)00218-0
- Frömer R. et al. (2015). Are individual differences in reading speed related to extrafoveal visual acuity and crowding? *PloS one*, 10(3), / doi: 10.1371/journal.pone.0121986
- Gandini D., Lemaire P., & Dufau S. (2008). Older and younger adults' strategies in approximate quantification. *Acta psychologica*, 129(1), 175–189. doi: 10.1016/j.actpsy.2008.05.009

10.1016/j.actpsy.2008.05.009

Gegenfurtner A., Lehtinen E., & Säljö R. (2011). Expertise differences in the comprehension of visualizations: A meta-analysis of eye-tracking research in professional domains. *Educational Psychology Review*, 23(4), 523–552. doi: 10.1007/s10648-011-9174-7

Goodwin C. (1994). Professional vision. *American anthropologist*, 96(3), 606–633. doi: 10.1525/aa.1994.96.3.02a00100

Henderson J.M., Weeks Jr P.A., & Hollingworth A. (1999). The effects of semantic consistency on eye movements during complex scene viewing. *Journal of experimental psychology: Human perception and performance*, 25(1), 210. doi: 10.1037/0096-1523.25.1.210

Krichevets A.N. et al. (2017). Opportunities of extrafoveal perception of geometric shapes. [*Voprosy psikhologii*], 6, 117–128.

Krichevets A.N., Shvarts A.Y., & Chumachenko D.V. (2014). Perceptual action of novices and experts in operating visual representations of a mathematical concept. [*Psikhologiya. Zhurnal Vyshey shkoly ekonomiki*], 11(3), 55–78.

Posner M.I. (1980). Orienting of attention. *Quarterly journal of experimental psychology*, 32(1), 3–25. doi: 10.1080/00335558008248231

Radford L. (2010). The eye as a theoretician: Seeing structures in generalizing activities. *For the learning of mathematics*, 30(2), 2–7. doi: 10.2307/20749442

Rosenholtz R., Huang J., & Ehinger K.A. (2012). Rethinking the role of top-down attention in vision: Effects attributable to a lossy representation in peripheral vision. *Frontiers in psychology*, 3(13). doi: 10.3389/fpsyg.2012.00013

Schmidt J., & Zelinsky G.J. (2009). Search guidance is proportional to the categorical specificity of a target cue. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 62(10), 1904–1914. doi: 10.1080/17470210902853530

Schmidt J., Zelinsky G.J. (2011). Visual search guidance is best after a short delay. *Vision Research*, 51(6), 535–545. doi: 10.1016/j.visres.2011.01.013

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

Vickery T.J., King L.W., & Jiang Y. (2005). Setting up the target template in visual search. *Journal of Vision*, 5(1), 8–8. doi: 10.1167/5.1.8

Williams D.E. et al. (1997). Patterns of eye movements during parallel and serial visual search tasks. *Canadian Journal of Experimental Psychology/Revue canadienne de psychologie expérimentale*, 51(2), 151. doi: 10.1037/1196-1961.51.2.151

Wolfe J.M. et al. (2004). How fast can you change your mind? The speed of top-down guidance in visual search. *Vision research*, 44(12), 1411–1426. doi: 10.1016/j.visres.2003.11.024

Wolfe J.M. (1998). What can 1 million trials tell us about visual search? *Psychological Science*, 9(1), 33–39. doi: 10.1111/1467-9280.00006

Yang H., & Zelinsky G.J. (2009). Visual search is guided to categorically-defined targets. *Vision research*, 49(16), 2095–2103. doi: 10.1016/j.visres.2009.05.017

Zelinsky G.J. et al. (1997). Eye movements reveal the spatiotemporal dynamics of visual search. *Psychological science*, 8(6), 448–453. doi: 10.1111/j.1467-9280.1997.tb00459.x

Zelinsky G.J. et al. (2013). Modelling eye movements in a categorical search task. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 368(1628). doi:10.1098/rstb.2013.0058

Zelinsky G.J., & Schmidt J. (2009). An effect of referential scene constraint on search implies scene segmentation. *Visual Cognition*, 17(6–7), 1004–1028. doi: 10.1080/13506280902764315

Zelinsky G.J., & Sheinberg D.L. (1997). Eye movements during parallel–serial visual search. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 23(1), 244. doi: 10.1037/0096-1523.23.1.244

Zhang L. et al. (2008). SUN: A Bayesian framework for saliency using natural statistics. *Journal of vision*, 8(7), 32–32. doi: 10.1167/8.7.32