

УДК 159.937

ВОЗМОЖНОСТИ И ОГРАНИЧЕНИЯ ЭКСТРАФОВЕАЛЬНОГО ВОСПРИЯТИЯ: АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР¹

А.А. Дренёва^{a, b}, А.Н. Кричевец^a

^a *Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, 125009, Россия, Москва, Моховая, д. 9 стр. 11*

^b *Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ, 119571, Россия, Москва, Проспект Вернадского, д. 82 стр. 1*

В литературе показана существенная роль экстрафовеального восприятия, несмотря на сниженные, по сравнению с фовеальным, характеристики. В настоящем обзоре выявлены широкие возможности экстрафовеального восприятия при распознавании простых (линии, буквы) и сложных (объекты реального мира, человеческие лица, сцены) стимулов. Исследования тренировки экстрафовеального зрения обнаруживают, что обучение может влиять как на ранние этапы перцептивной обработки, так и на уровень идентификации категорий.

Ключевые слова: зрительное восприятие; экстрафовеальное восприятие; распознавание сцен; распознавание лиц; категориальный поиск; внимание; краудинг-эффект; концепция кортикальной магнификации; тренировка экстрафовеального восприятия.

Зрительное восприятие может быть условно разделено на фовеальное (центральное, обеспечиваемое центральной ямкой сетчатки – фовеа) и экстрафовеальное (обеспечиваемое всеми остальными областями сетчатки, за исключением фовеальной). Фокусом настоящей работы являются возможности и ограничения именно экстрафовеального восприятия, поскольку, несмотря на то что оно охватывает более 99% зрительного поля, роль экстрафовеального зрения начала изучаться относительно недавно. На данный момент существует довольно большое число исследований экстрафовеального восприятия, его основных анатомических и функциональных характеристик, в то время как механизмы, лежащие в основе его работы, остаются не до конца ясными.

В области изучения экстрафовеального восприятия существуют две общие и, по существу, противоречащие друг другу точки зрения [1]. Согласно первой, периферическое зрение обладает довольно низкой эффективностью и в целом играет небольшую роль в восприятии, а наиболее важные процессы зрительного анализа происходят исключительно в фове-

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта 20-113-50277.

альной области. Вторая позиция постулирует, что периферическое зрение – это такое же фовеальное, только с более низким разрешением и часто некорректно описываемое «как слегка размытое». Характеристики экстрафовеального зрения действительно снижены по сравнению с фовеальным, однако эта разница связана главным образом не с потерей разрешения в традиционном смысле (например, количество фоторецепторов на градус угла зрения) – хотя и этот фактор важен, а с особой уязвимостью периферийного зрения к различного рода помехам. Недавний прогресс в понимании этой уязвимости и ее возможных механизмов может обеспечить понимание широкого спектра перцептивных явлений и восприятия в целом. Это означает, что определение преимуществ и ограничений экстрафовеального зрения имеет решающее значение для ответа на один из наиболее фундаментальных вопросов в области зрительного восприятия: является ли зрительная система стабильной, статической в решении разных типов перцептивных задач, или же она динамична и постоянно изменяется с тем, чтобы адаптироваться к конкретной задаче.

В настоящем обзоре рассмотрены наиболее важные работы в области экстрафовеального восприятия, проясняющие его основные характеристики и механизмы, а также роль в зрительном восприятии как простых объектов, так и сложных, включая объекты реального мира, человеческие лица и целые сцены. Отдельный раздел посвящен исследованиям тренировки экстрафовеального восприятия: насколько эта система гибка в отношении обучения.

Анатомические особенности фовеального и экстрафовеального восприятия

Согласно результатам исследований, цветное зрение высокого уровня остроты обеспечивается центральной областью сетчатки – желтым пятном [2]. Желтое пятно имеет диаметр около 5,5 мм и располагается над местом входа зрительного нерва напротив зрачка. В строении желтого пятна выделяют такие области, как фовеола, фовеа, парафовеа и перифовеа. Фовеола, расположенная в центре фовеа, имеет диаметр порядка 0,35 мм и включает в себя исключительно колбочковые клетки [3], плотно сгруппированные в виде шестиугольной решетки. При изучении фовеального восприятия обычно исследуется зрение в пределах 1 углового градуса, обеспечиваемое именно фовеолой [4]. Фовеа представляет собой углубление на внутренней поверхности сетчатки шириной примерно 1,5 мм. Отсутствие кровеносных сосудов в этой области, а также высокий уровень плотности колбочек способствуют высокой остроте распознавания и анализа объектов, попадающих в эту зону. Фовеальная область охватывает до 5 угловых градусов зрительного поля, активируя при этом более 50% зрительной коры [5]. Вокруг фовеа расположена парафовеа диаметром 2,5 мм, фиксирующая еще 1–2 угловых градуса вокруг фовеа и окружаемая, в свою очередь, перифовеа диаметром 5,5 мм, которая удалена от центра фовеа

на 4–10 угловых градуса. Остальное зрительное поле, находящееся более чем на 10° , считается периферией [6], однако функциональные различия в распознавании формы и других характеристик объектов наблюдаются уже при нескольких градусах эксцентриситета (удаленности от центра сетчатки) [7]. В рамках данной работы центральное зрение определяется как обеспечиваемое совместно фовеа и перифовеа (т.е. имеющее радиус обзора до 8°), фовеальное зрение имеет эксцентриситет до 2° , а экстрафовеальное (т.е. находящееся за пределами фовеа) – более 2° .

Несмотря на то, что фовеальное зрение обладает гораздо более высоким уровнем остроты, от других областей сетчатки поступает достаточно большой объем перцептивной информации, позволяющей различать объекты и их отдельные характеристики без перевода стимула в зону фовеа. Например, было показано, что распознавание объектов редко обеспечивается одной лишь фовеа [8]. Более того, по данным клинических исследований, пациенты с пигментным ретинитом или глаукомой, при которых нарушается экстрафовеальное зрение, испытывают значительные трудности с передвижением, в то время как пациенты с макулодистрофией, при которой, напротив, страдает фовеальное восприятие, выполняют двигательный тест на уровне здоровых людей [9]. Такие различия указывают на существенную роль экстрафовеального зрения в зрительном восприятии и необходимость его более тщательного изучения.

Историческая перспектива

Согласно данным детального обзора по теме экстрафовеального восприятия [4], первые количественные измерения этого процесса были проведены в первой половине XIX в. Нюеск (1840) [10], который исследовал восприятие объектов, находящихся достаточно близко к фовеа, а также Aubert и Foerster (1857) [11], которые предъявляли различные стимулы в течение краткого промежутка времени на расстоянии до 60° от точки фиксации. Их измерения остроты восприятия букв показали, что вплоть до слепого пятна минимально различимый размер стимулов пропорционален значению эксцентриситета. Авторы также сделали вывод о качественном отличии фовеального зрения от экстрафовеального. Во второй половине XIX в. существенно улучшились методы измерения остроты зрения, в том числе периферического. Wertheim (1894) писал о необходимости использования простых легко различимых стимулов, наличии межиндивидуальных различий и зависимости остроты зрения от размера стимулов [12]. В тот же период проводились исследования физиологического субстрата, лежащего в основе экстрафовеального зрения: Wertheim связал его с плотностью рецепторных клеток сетчатки [Ibid.]; Polyak (1932) на основе своих анатомических исследований предположил, что должна существовать математическая функция, описывающая ретинокортикальное картирование [13]; а Talbot и Marshall (1941), изучив центральную часть зрительного поля, получили коэффициент проекции, который можно выразить одним числом [14].

Спустя несколько десятилетий выводы этих исследований нашли отражение в концепции кортикальной магнификации, которая будет рассмотрена ниже.

В рамках изучения экстрафовеального восприятия пространственное внимание, экспериментально исследуемое с XIX в., долгое время являлось предметом лишь небольшого числа исследований. Так, Müller (1825) предположил, что фиксация и внимание могут быть разделены, а Helmholtz (1871) показал это экспериментально и заключил, что для эффективности восприятия пространственное внимание важнее фиксации [4]. Роль пространственного внимания отмечали также гештальт-психологи [7]; однако затем большинство исследователей в области зрительного восприятия переключились на изучение более низкоуровневых процессов, таких как параметры остроты зрения или светочувствительность. Интерес к пространственному вниманию значительно вырос к концу XX в., когда Nikayama и MacKeben указали на временные различия между медленным, сознательно контролируемым «устойчивым» вниманием (sustained attention) и быстрым рефлекторным «преходящим» вниманием (transient attention) [15]. MacKeben также показал, что устойчивое внимание анизотропно с преобладанием горизонтального меридиана [16]. Поскольку большинство исследований остроты экстрафовеального зрения проводилось с использованием парадигм, в которых наблюдателю было заранее известно местоположение следующей цели, анизотропия внимания могла влиять на результаты. Модулирующее влияние пространственного внимания на эффективность перцептивных процессов, в том числе низкоуровневых, было подтверждено и в последующих работах [17].

В отечественной психологии постулировалось интересное разделение зрительной системы не по анатомическому, а по функциональному критерию, что соотносится с концепцией скрытого внимания и различными типами взаимодействия между направленностью взгляда и предметом восприятия. Такая особенность получила название функционального поля зрения [18], которое способно менять свою локализацию и величину в зависимости от характера задачи. Например, если необходимо рассмотреть мелкий элемент сцены, оно сужается до нескольких угловых минут, а когда требуется обнаружить объект в любом месте сцены, оно расширяется до размеров всего зрительного поля. В пользу функционального, а не анатомического, анализа работы сетчатки говорят также исследования Н.Ю. Вергилеса [19], который разработал метод, позволяющий испытуемым в течение длительного периода времени воспринимать изображения, стабилизированные относительно сетчатки. Его исследование было продолжением работ А.Л. Ярбуса [20], обнаружившего, что при такой стабилизации движения глаз выполняют служебную функцию, препятствуя дезадаптации стимулируемых участков сетчатки и исчезновению стимулов спустя 1–3 секунды. В экспериментах Вергилеса [19] участники продемонстрировали способность решать довольно широкий спектр задач (ознакомление с объектом, поиск цели, пересчет элементов, мысленное прохождение лабиринта) и субъективно имели полное впечатление перемещения взгляда. Задачи

нельзя было решить лишь тогда, когда инструкцией вводился запрет на движения глаз. На основе этих результатов Н.Ю. Вергилесом и В.П. Зинченко была предложена гипотеза о «функциональной фовеа», смещение которой относительно сетчатки изменяло состояние ее рецептивных полей. Таким образом, функциональные механизмы способны вносить существенный вклад в зрительное восприятие, в ряде случаев нивелируя влияние анатомической структуры, что указывает на гибкость и адаптивность зрительной системы.

В целом историческая перспектива показывает значительное увеличение количества исследований экстрафовеального восприятия, играющего важную роль в большинстве когнитивных процессов – как достаточно примитивных, так и высокоуровневых. Экстрафовеальное восприятие по сравнению с фовеальным имеет свою специфику и подвержено влиянию целого ряда факторов, которые будут рассмотрены далее.

Концепция кортикальной магнификации

Безусловно, распознавание стимулов и их характеристик значительным образом снижается по мере продвижения от центра сетчатки к периферии. В качестве объяснения обычно указывают снижение количества колбочек по направлению от центра к периферии, в связи с чем острота зрения и, соответственно, возможности распознавания падают. Такой эффект вызван действием так называемого фактора кортикальной магнификации [21], в основе которого лежит идея о том, что при допущении сходства нейронных сетей, обеспечивающих передачу информации от всех областей сетчатки, можно учитывать только вычислительную мощность соответствующей корковой зоны и количество входящих в ее состав нейронов. Данная концепция постулирует, что различия в функциональности центральных и периферических зон сетчатки вызваны разным количеством нейронов зрительной коры, ответственных за обработку поступающей информации: центральные зоны сетчатки обеспечиваются гораздо большим числом нейронов по сравнению с периферическими областями [22]. М-фактор линейной кортикальной магнификации был предложен Daniel и Whitteridge и определялся ими как диаметр первичной зрительной коры, на который проецируется один угловой градус зрительного поля [23]. М-фактор наблюдается для любой ретинотопически организованной структуры и может быть использован в качестве линейного фактора или фактора площади, где последний является квадратом первого.

Несмотря на то, что этот фактор описывает сугубо нейроанатомические особенности, он может успешно использоваться в психофизиологических экспериментах, включающих низкоуровневые перцептивные задачи [21, 23], например для определения размера объектов на периферии, необходимого для их успешного различения. Однако, как заключают авторы обзора по экстрафовеальному восприятию [4], вопрос о выборе анатомического фактора для конкретной задачи остается открытым, и многие исследова-

тели предпочитают использовать масштабирование в качестве преимущественно психофизической, а не нейроанатомической концепции. Например, отмечается [4], что Watson [24] ввел термин «местный пространственный масштаб, эффективный в данном месте зрительного поля», чтобы подчеркнуть, что знания конкретного субстрата, лежащего в основе эффективности решения определенной визуальной задачи, не требуется.

Такая позиция специалистов с опорой на эмпирические психофизиологические данные, а не на математический аппарат, описывающий нейроанатомические закономерности, вызвана в том числе тем, что концепция кортикальной магнификации – это история не только успехов, но и неудач [4]. То, что во многих задачах на зрительное восприятие порог различения линейно изменяется в зависимости от эксцентриситета, было известно еще с середины XIX в. [11]. Гипотеза кортикальной магнификации, озвученная спустя век, вновь породила большое количество исследований. Кульминацией этого стало заявление Rovamo и соавт., что «изображение можно сделать одинаково видимым при любом эксцентриситете, масштабируя его размер с помощью фактора магнификации» [25]. Однако преобладавший энтузиазм замалчивал большое количество опровергающих эмпирических данных, о чем в своей критической работе писал Westheimer [26]. Трудно выделить общий паттерн, согласно которому можно масштабировать любые стимулы в задачах на зрительное восприятие. Более того, на протяжении многих лет задачи, которые считались яркими примерами такой масштабируемости, были отклонены из-за несоответствия эмпирическим данным. Возможно, общей характеристикой масштабируемых задач могло бы быть то, что они в основном задействовали низкоуровневую обработку (до поля V1). Из-за невозможности масштабирования результатов распознавания символов с низким контрастом Strasburger и соавт. пришли к выводу, что задачи более высокого уровня требуют дополнительного масштабирования по непространственным переменным [27].

Для многих визуальных задач М-масштабирование устраняет хоть и не все, но все же большую часть вариаций производительности. Virsu и соавт. в своем анализе семи пространственных пороговых переменных показали, что такое масштабирование учитывает от 85 до 97% дисперсии, а в случаях, когда остается необъяснимая дисперсия, дополнительное масштабирование по какой-либо другой непространственной переменной может уравнять производительность [28]. Например, Rovamo и Raninen в рамках собственной концепции ввели масштабирование освещения сетчатки, которое они назвали «F-масштабированием» [29]. В настоящее время признаны необходимость масштабирования непространственных переменных и решающая роль контраста. К примеру, в работе Mäkelä и соавт. [30] утверждается, что для идентификации изображений лиц на периферии одного пространственного масштабирования недостаточно, однако дополнительное масштабирование контрастности уравнивает успешность выполнения задачи.

Краудинг-эффект

На эффективность экстрафовеального распознавания объектов влияет также эффект чрезмерной концентрации стимулов – краудинг-эффект (crowding effect). Он заключается в том, что затруднения, связанные с различением целевого стимула, обусловлены наличием окружающих его других стимулов, при том что размер цели позволяет ее распознать, если окружающих стимулов нет [31]. Такой эффект объясняется необходимостью соблюдения некоего критического расстояния между целевым стимулом и дистракторами [32]. Аналогами краудинг-эффекта являются такие термины, как скученность (crowding), взаимодействие контуров (contour interaction), эффекты взаимодействия (interaction effects), латеральное торможение (lateral inhibition), латеральная маскировка (lateral masking), маскировка (masking) и подавление окружения (surround suppression). Перечисленные термины означают несколько разные феномены, и некоторые из них, в отличие от других, отражают лежащий в основе механизм. Термин «скученность» – «краудинг» – в настоящее время наиболее популярен [33], поэтому в данной работе будет использоваться именно он.

Влияние скученности стимулов на эффективность восприятия является одной из наиболее характерных черт экстрафовеального зрения [4, 34]. Первое экспериментальное исследование распознавания букв и слов периферическим зрением было проведено Korte [7], который, наряду с порогами эксцентриситета, представил феноменологическое описание процесса восприятия, основанное на довольно большом объеме данных по восьми испытуемым. В качестве стимулов он использовал строчные и прописные буквы римского и готического шрифтов. В дополнение к буквенным стимулам Korte использовал как реальные, так и бессмысленные слова, чтобы проверить влияние семантики. Статья начинается с замечания о том, что при обычном чтении большинство букв видно только экстрафовеально, и это делает периферическое зрение фундаментальным для чтения (и зрения в целом). Результаты исследования Korte были резюмированы в семи феноменах: а) абсорбция и ложное добавление, когда «элемент буквы или целая буква добавляется к другой букве»; б) ложная локализация характеристик как элементов буквы, так и целых букв; в) сбивающие с толку промежуточные перцептивные состояния восприятия; г) добавление несуществующих букв к слову слева или справа (редко); д) сокращение перцептивного образа в определенной области зрительного поля; е) присоединение элементов к воспринимаемому целому; ж) неверная когнитивная установка, например влияние предшествующего знания шрифта и регистра букв и того, являются ли слова осмысленными. Четыре из них (а, б, д, е) связаны с эффектом краудинга или лежат в его основе в виде нарушения различения стимулов или распознавания паттернов в окружении других элементов или паттернов. Некоторые из них отражены в формальных теориях распознавания образов (а, б, в, ж); остальные еще не интегрированы в теоретические модели.

Феномен скученности также известен в офтальмологии и впервые был описан датским офтальмологом Ehlers [35]. В контексте нормального чтения и использования таблиц остроты зрения Ehlers отметил, что при периферическом зрении существуют перцептивные трудности распознавания букв среди других букв. Он также отметил, что количество распознаваемых букв при варьируемом расстоянии между стимулами не зависит от их углового размера. В последующем исследовании [36] с использованием иконической парадигмы Сперлинга было обнаружено, что указатель в виде круга вокруг целевого стимула ухудшал его распознавание, в то время как указатель в виде указательной линии – нет. Спустя несколько лет Vohta предложил ныне известное эмпирическое правило, согласно которому критическое значение свободного пространства между окружающими стимулами и целью, ниже которого наступает эффект краудинга, составляет примерно половину расстояния цели от центра [32]. Позже в обзоре критических интервалов из исследований краудинга Pelli и соавт. заключили, что соответствующие значения варьируют от 0,1 до 2,7 со средним значением 0,5 и межквартильным размахом от 0,3 до 0,7, что достаточно близко соотносится с исходной закономерностью [33]. Еще одной знаковой работой того времени является исследование Shaw о взаимодействии букв в словах и решающей роли пробелов между рядами букв [37]. В более позднем исследовании Toet и Levi продемонстрировали особый случай, когда стимулы-дистракторы расположены так близко, что эффект скученности обнаруживается даже в фовеа, а расстояние между целью и дистракторами для достижения данного эффекта составило $0,07^\circ$ или даже $0,04^\circ$ [38]. Изучение краудинг-эффекта имеет не только теоретическое, но и практическое применение, например при изучении таких расстройств, как амблиопия и дислексия [4]. Более того, отсутствие краудинг-эффекта у здоровых взрослых, по-видимому, является результатом специального развития зрительной системы: например, Atkinson и соавт. обнаружили, что, несмотря на развитое зрение нормальной остроты у 6-летних детей, они тем не менее демонстрируют восприятие с выраженным эффектом скученности в фовеальной области [39].

Пространственное внимание

Механизмы краудинг-эффекта остаются предметом научных дебатов. В качестве объясняющих гипотез предлагаются такие процессы, как ошибочная интерпретация комбинаций характеристик цели и дистракторов, недостаточная контрастность стимулов, неверное отнесение отдельных характеристик стимулов, подавляющий эффект окружающих объектов, пространственное внимание [4]. Последний из перечисленных механизмов – пространственное внимание – является предметом многочисленных исследований в контексте изучения краудинг-эффекта. В исследовании Wolford и Chambers было впервые разделено влияние пространственного внимания и взаимодействия характеристик объектов (feature interaction) [40]. Эта идея

была затем развита в работе Strasburger и др. [41], предположивших, что в основе недостаточной точности распознавания букв при их окружении дистракторами лежит ограниченное разрешение пространственного внимания.

Пространственное внимание является одним из наиболее интересных механизмов, поскольку оно не только задействовано в феномене краудинга, но также играет значительную роль в процессах экстрафовеального зрения. Одной из методологических проблем при исследовании экстрафовеального восприятия является трудность эмпирического разграничения преаттентивных процессов, обычно понимаемых как параллельная обработка всего поля «снизу вверх», и скрытого внимания, понимаемого как перемещение точки более глубокого анализа по зрительному полю без движений глаз, которые участвуют в подготовке саккад и, таким образом, направляют явное внимание, наблюдаемое в виде движений глаз. Зачастую преаттентивные процессы рассматриваются как особый тип перцептивной обработки, направляющей селективное внимание на конкретный объект и способной обнаружить нечто яркое и легко идентифицируемое еще до перемещения явного внимания [42]. Более того, в некоторых моделях преаттентивные и собственно аттентивные механизмы рассматриваются как разные стороны одного и того же процесса, различающиеся только степенью охвата. Например, в работе Treisman и Gormican преаттентивные процессы определяется как «поиск, при котором внимание широко распределено по всему зрительному полю» [43]. После выбора объекта интереса селективное внимание может переключиться на него либо открыто, явно (в виде движений глаз), либо скрыто (без движений глаз) [44], и затем объекты в зрительном поле исследуются с помощью всех типов внимания в соответствии с задачей. Поскольку и преаттентивная обработка, и скрытое внимание работают неявно для внешнего наблюдателя, их четкая дифференциация представляет собой нетривиальную методологическую проблему, которая на данный момент не решена.

В большинстве ранее рассмотренных нами исследований экстрафовеального зрения использовались достаточно простые буквоподобные стимулы. Перейдем далее к анализу работ, в которых использовались другие, более сложные типы стимулов: распознавание, сегрегация и интеграция текстур и контуров, запоминание и категоризация реальных сцен, идентификация лиц и эмоций.

Распознавание текстур

Сегментация и передача визуальной информации в области, ответственные за анализ текстуры, а также выделение контуров объектов составляют важные этапы предварительной обработки при распознавании образов. Предполагается, что текстурная сегментация происходит автоматически и выполняется параллельно по всему зрительному полю [45]. Кроме того, имеются данные, согласующиеся со сходными исследованиями по поиску признаков, о том, что оптимальный уровень различения тек-

стуры достигается не в фовеальном зрении, а на ближней периферии [4]. Например, в работе Kehrер [46] наблюдателям в течение короткого времени с последующим маскированием предъявлялись текстуры, состоящие из однородно ориентированных линий, встроенных в ортогонально ориентированные элементы фона. Выяснилось, что производительность и с точки зрения точности, и с точки зрения времени реакции оказалась оптимальной на ближней периферии. Снижение пространственной частоты путем сокращения расстояния между элементами текстуры привело к смещению максимальной производительности далее к периферии. Scialfa и Joffe воспроизвели и расширили результаты Kehrер, по отдельности проварьировав размер элементов и расстояние между ними, устранив тем самым влияние пространственной частоты и градиента текстуры [47]. Так же, как и Kehrер, они обнаружили обратную зависимость между пространственной частотой и эксцентриситетом, оптимальным для производительности, с максимальной чувствительностью при эксцентриситете $4,7^\circ$ для низкочастотных изображений и $2,6^\circ$ для высокочастотных. В качестве возможного объяснения снижения эффективности текстурной сегментации в фовеальном зрении Scialfa и Joffe указали преобладание мелкоклеточных структур с медленными латентностью ответа и скоростью проводимости, а также предпочтение более высоких пространственных частот и увеличение количества крупноклеточных структур вне фовеа. При выраженном эксцентриситете уменьшающееся пространственное разрешение становится ограничивающим фактором, что в конечном итоге приводит к быстрому падению производительности в сегментации.

Оптимальный эксцентриситет для текстурной сегрегации управляется также вниманием, что указывает на определенную восприимчивость данного процесса к обработке «сверху вниз» [4]. Yeshurun и Carrasco показали, что подсказка о потенциальном местоположении цели приводит к увеличению производительности при любом эксцентриситете, за исключением фовеа, где наблюдается обратный результат [48]. Авторы объясняют такие различия улучшением пространственного разрешения в результате работы внимания. Однако затем было показано, что такая интерпретация применима только к задачам на преходящее внимание (transient attention), в то время как для устойчивого внимания (sustained attention) подсказка повышает производительность при любом эксцентриситете, включая фовеа [49], что позволяет предположить, что длительно удерживаемое внимание представляет собой более гибкий механизм.

Восприятие сцен реального мира

Сцены из реального мира занимают весь объем зрительного поля, и даже в лабораторных условиях, когда сцены, демонстрируемые на экране монитора, занимают лишь часть зрительного поля, можно выделить фовеальную и экстрафовеальную области изображения. На сегодняшний день существует достаточно много эмпирических данных, доказывающих, что

испытываемые способны улавливать и извлекать семантическую информацию из реальных сцен даже при очень коротком времени предъявления, в ряде работ не превышающем 50 мс (см., напр.: [50]). Однако влияние эксцентриситета на распознавание сути сцены стало предметом систематических исследований относительно недавно. В работе Velisavljevic и Elder [51] на материале естественных сцен исследовалась кратковременная зрительная память и измерялась эффективность распознавания фрагментов изображения как функции эксцентриситета для обычных и зашумленных изображений природных сцен. Изображения размером $31 \times 31^\circ$ предъявлялись в течение 70 мс, после чего демонстрировались два небольших изображения размером $3,9^\circ$ – целевой блок, являвшийся фрагментом представленного изображения, и блок-дистрактор. Задачей испытуемых было идентифицировать целевой блок. Несмотря на то, что целевые блоки содержали только фрагменты изображения, а не объекты целиком, фрагменты обычных изображений распознавались лучше зашумленных, если они находились рядом с точкой фиксации; в то время как с увеличением эксцентриситета это преимущество линейно снижалось и полностью исчезало при удаленности от центра порядка 15° . Пороги распознавания для зашумленных изображений были выше случайного угадывания при отсутствии каких-либо различий в зависимости от эксцентриситета. Контрольные эксперименты показали, что преимущество незашумленного изображения нельзя объяснить большей заметностью (saliency) содержания изображения рядом с центром фиксации и что снижение этого преимущества с увеличением эксцентриситета вызвано сбоем на этапе обнаружения и кодирования, а не извлечения. Инвертирование изображений снизило, но не устранило до конца преимущество незашумленных сцен, а также не повлияло на различия в зависимости от фактора эксцентриситета.

Такие результаты свидетельствуют о том, что преимущество незашумленных изображений реальных сцен нельзя объяснить влиянием семантических ключей [4]. Различия между обычными и зашумленными изображениями являются также аргументом против влияния факторов низкого уровня, таких как острота зрения, которые должны были одинаково влиять на успешность выполнения проб в обоих условиях. Напротив, эти результаты могут означать, что кратковременная зрительная память в значительной степени зависит от конфигурационных ключей среднего уровня, связанных с формой, сегментацией фигуры / фона и пространственным расположением объектов, и такие ключи оказываются эффективными только в пределах центральных 30° зрительного поля [51].

Исследователи Larson и Loschky провели сравнительный анализ вклада центрального и периферического зрения в распознавание сути сцены, определяемое как способность классифицировать сцену с помощью одного слова или фразы [52]. Изображения сцен предъявлялись в течение 106 мс в трех экспериментальных условиях: «Окно», при котором показывалась только центральная часть изображения, а периферическая блокировалась; «Скотом», при котором, напротив, показывалась только периферия изоб-

ражения, а центр закрывался; и контрольное условие, при котором изображение демонстрировалось целиком. В контрольном условии размер изображений составлял $27 \times 27^\circ$, в условии «Окно» радиус видимого сектора изображения варьировал от 1 до $13,6^\circ$, а в условии «Скотомы» также от 1 до $13,6^\circ$ изменялся радиус закрытого сектора изображения. Задачей испытуемых было определить, соответствует ли предъявляемое после пробы название («улица», «лес», «пляж» и т.д.) целевому изображению. Результаты показали, что для определения сути реальных сцен периферическое зрение оказалось более эффективным, чем центральное. В условии «скотомы» успешность решения задачи не отличалась от таковой в контрольном условии при радиусе менее 11° , в то время как для условия «окна» для достижения аналогичной эффективности был необходим радиус не менее 11° . Критический радиус, при котором сходились кривые производительности двух экспериментальных условий, составил $7,4^\circ$. Основываясь на концепции кортикальной магнификации, Larson и Loschky получили предсказываемые значения критического радиуса в диапазоне от $2,4$ до $3,2^\circ$, что существенно меньше значения, полученного эмпирически; и это указывает на то, что периферическое зрение играет более важную роль в распознавании сути сцен, чем предсказывается концепцией кортикальной магнификации.

В ряде исследований изучалась специфика распознавания элементов естественных сцен, находящихся на удалении 10° и более от центра. В работе Thorp и соавт. [53] задачей участников было определить присутствие или отсутствие изображений животных, предъявляемых в течение 28 мс. Фотографии могли появляться в случайных местах вдоль горизонтальной оси монитора почти на всем протяжении зрительного поля. Для центрального зрения точность выполнения составила 93% и затем линейно снижалась по мере увеличения эксцентриситета. Однако даже при самом крайнем значении эксцентриситета (70°) испытуемые набрали 60,6% правильных ответов, что значительно выше случайного угадывания (50%), при том что местоположение стимулов было случайным, соответственно, возможность использовать запланированное перемещение внимания была исключена. Интересно, что, по отчетам испытуемых, успешное распознавание зачастую субъективно воспринималось как угадывание и не позволяло идентифицировать животных, только определять их наличие или отсутствие.

Категориальный поиск

С распознаванием сложных зрительных стимулов тесно связана тема категориального поиска, когда целевой объект задается не изображением, а названием категории, соответственно, наблюдатель не знает заранее конкретных характеристик объекта. Данный вид поиска, несмотря на его очевидную экологичность, исследуется гораздо реже. Одно из первых исследований категориального поиска было проведено Jonides и Gleitman, которые продемонстрировали влияние семантической информации на эффективность поиска [54]. Далее Dahan и Tanenhaus показали, что ошибки испыты-

емых, как правило, связаны с категорией стимула, а не с его внешними характеристиками: при поиске изображения змеи участники могли фиксировать изображение веревки, но не наоборот [55]. Такая асимметрия указывает на преобладающую роль семантики, категории, а не визуального сходства цели и дистракторов. Известным исследователем в области категориального поиска является Zelinsky (см., напр.: [56]), который показал, что при поиске объектов реального мира участники значимо чаще случайного совершают первую саккаду к целевому стимулу, что свидетельствует о предварительной экстрафовеальной обработке всего зрительного поля с опорой на семантическую информацию о цели, причем эффективность категориального поиска пропорциональна количеству информации о целевом объекте [Там же].

Исследования с использованием изображений реальных сцен в парадигме двойной задачи показали отсутствие ухудшения идентификации цели на периферии при выполнении сложной задачи в точке фиксации. Такой результат позволяет предположить, что репрезентации объектов могут обрабатываться параллельно, обеспечивая эффективную категоризацию и идентификацию даже вне фокуса фиксации и внимания [57, 58]. В рамках концепции категориального поиска исследовалась также эффективность распознавания таких сложных стимулов, как геометрические фигуры. В серии исследований [59, 60] было показано, что относительно простые стимулы, такие как круг или квадрат, могут быть без труда распознаны экстрафовеально, в то время как более сложные стимулы, например пирамиды, в большинстве случаев требуют фовеального анализа. Кроме того, отмечается значительное влияние факторов дистрактора и пространственной ориентации на эффективность экстрафовеального распознавания геометрических фигур.

Рассмотренные исследования в области категориального поиска подтверждают, что сложные объекты могут быть достаточно эффективно идентифицированы экстрафовеальным зрением по названию категории целевого объекта.

Распознавание лиц и эмоций

Человеческие лица представляют собой эволюционно важный и особенно сложный тип визуальных стимулов, однако работ, посвященных экстрафовеальному распознаванию лиц, на данный момент относительно немного. В одном из первых исследований продемонстрировано, что даже для небольших эксцентриситетов (2°) масштабирования размера в соответствии с кортикальной магнификацией оказывается недостаточно, чтобы уравнивать характеристики распознавания в фовеальной и экстрафовеальной областях для зашумленных изображений лиц [4]. В работе Mäkelä et al. [30] была измерена контрастная чувствительность для идентификации лица в зависимости от размера изображения (от $0,2$ до $27,5^\circ$) и эксцентриситета (от 0 до 10°). Стимулы включали в себя четыре черно-белых изображения, которые содержали только черты лица и размер которых был скорректиро-

ван с учетом равного межзрачкового расстояния. Результаты подтвердили на материале буквоподобных стимулов выводы Strasburger и соавт. [27] о том, что одного только масштабирования по размеру недостаточно для уравнивания производительности фовеального и экстрафовеального восприятия – необходимо было также менять контрастность изображений.

Дальнейшее понимание механизмов, лежащих в основе снижения эффективности распознавания лиц, представлено Martelli, Majaj и Pelli [61], которые исследовали влияние краудинга на распознавание лиц и слов. Для этого они измерили пороги контрастности букв и частей лица (в частности, области рта) в условиях наличия или отсутствия окружающих цель символов или других черт лица. Стимулы предъявлялись в течение 200 мс в правом поле зрения с эксцентриситетом до 12°. В каждой пробе испытуемый должен был определить целевой стимул (одну из пяти букв или одно из трех изображений рта соответственно). При экстрафовеальном восприятии наличие дистракторов вокруг цели ухудшало выполнение для обоих типов стимулов. В следующем эксперименте снижение производительности было скомпенсировано путем увеличения расстояния между целевым стимулом и окружением, и это критическое расстояние изменялось пропорционально эксцентриситету вне зависимости от размера стимула. Такой результат указывает на влияние краудинг-эффекта и на этот тип объектов. Константа пропорциональности, полученная Martelli и соавт., составила 0,34, что несколько меньше, чем значение 0,5 в законе Bouma [32], однако находится в пределах диапазона значений соответствующих задач [33]. Результаты эксперимента Martelli и коллег позволяют расширить действие закона Bouma, изначально установленного для распознавания символов и для описания интерференции между отдельными объектами, на феномен интерференции элементов, принадлежащих одному и тому же объекту. Учитывая фундаментальную роль частей и характеристик в структурных моделях распознавания объектов, эти результаты свидетельствуют о том, что именно скученность является основным ограничением для распознавания периферийных объектов.

Помимо идентификационных параметров, лица передают также информацию об эмоциях. Несмотря на то, что обработка эмоциональных выражений задействует отдельные функциональные и нейронные пути [62], она также использует аналогичные механизмы для анализа конфигурации лицевых компонентов [63]. В отличие от лиц, эмоции легко могут быть отнесены к конкретным категориям, сходным у большинства людей, что позволяет предположить, что эмоции можно распознать даже периферийным зрением [64].

В эксперименте Goren и Wilson испытуемые определяли эмоциональные выражения (радость, страх, гнев и грусть) в условиях фовеального и экстрафовеального зрения (эксцентриситет составил 8°) [65]. Несмотря на масштабированное увеличение размеров стимулов на периферии, успешность выполнения проб в экстрафовеальном условии была ниже по сравнению с фовеальным, а значимых различий между ними не было обнаружено

только для изображений лиц, выражавших радость. В последующем эксперименте Calvo и соавт. [66] участники должны были сопоставить предъявленное эмоциональное выражение со словом, которое либо отражало эмоцию на целевом стимуле, либо нет. Целевые изображения лиц предъявлялись в течение 150 мс с эксцентриситетом $2,5^\circ$ случайным образом слева или справа от точки фиксации в целях нивелирования влияния скрытого внимания. Выяснилось, что счастливые лица вызывали значительно более быстрые и правильные ответы по сравнению с другими эмоциями, а также были меньше подвержены влиянию инверсии стимулов.

Интересное исследование было проведено Calvo и соавт., которые предъявляли пары фотографий и просили испытуемых определить содержание сцены (младенцы, нападение на человека и т.д.) и ее эмоциональную валентность (приятность–неприятность) [67]. Стимулы показывались в течение 150 мс на расстоянии не менее $6,5^\circ$ от центра. Результаты выявили, что уровень распознавания эмоциональных сцен был выше случайного, а выполнение задачи было более быстрым и точным в левом поле, что указывает на различия в экстрафовеальном восприятии эмоциональных и нейтральных сцен, доминирование правого полушария мозга в эмоциональной обработке, которая зависела также от пола испытуемого и валентности сцены, а также то, что грубая оценка эффективности не требует участия фовеального зрения.

Таким образом, исследования на материале сложных стимулов показывают, что экстрафовеальное восприятие может быть достаточно эффективным при распознавании конкретных объектов и их частей, а также при идентификации семантических и эмоциональных параметров. В целом результаты экспериментов демонстрируют зависимость успешности выполнения задачи от эксцентриситета, значения которого не всегда соответствуют прогнозам кортикального масштабирования размера и основных показателей остроты зрения. Одна из причин может заключаться в том, что в основе распознавания объектов лежат конфигурационные ключи среднего уровня, а не только низкоуровневые характеристики. Такие конфигурационные сигналы могут быть обусловлены процессами перцептивной организации, которые объединяют локальные характеристики в контуры и разделяют контуры на части. Кроме того, было подтверждено влияние краудинг-эффекта, который наблюдается не только для простых стимулов, но и для достаточно сложных, а также не только для разных объектов, но и для разных частей одного и того же объекта.

Возможности тренировки экстрафовеального восприятия

Интересным и практикоориентированным направлением исследований является возможность тренировки экстрафовеального восприятия. Большинство исследований, посвященных этому вопросу, измеряли влияние тренировки на элементарные зрительные функции, такие как определение пространственной ориентации, чувствительность к контрасту и ряд показа-

телей остроты зрения. Производительность экстрафовеального зрения для некоторых из этих функций, например для определения пространственной ориентации, деления пополам и остроты зрения по Вернье, можно улучшить с помощью тренировки до трех раз (см. напр.: [68]). В то же время возможность повышения качества выполнения задач на пространственное разрешение, таких как острота зрения по Ландольту или разрешающая способность по строкам, путем тренировки представляется сомнительной [69]. В целом в таких обучающих экспериментах участники проходят несколько тысяч проб в течение нескольких дней, а возможности перцептивного обучения имеют значительную индивидуальную вариативность и наблюдаются не у всех субъектов [68].

По всей видимости, повышение производительности экстрафовеального восприятия является следствием одновременной работы нескольких механизмов, действующих на разных уровнях зрительной системы [70]. Подтверждением этого предположения являются результаты нескольких исследований. В одном из них [71] использовалась парадигма двойного обучения, включавшая две несвязанные задачи (различение контраста и различение ориентации), выполняемые в разных местах сетчатки. По результатам был обнаружен выраженный перенос производительности для задачи, решаемой в одном месте сетчатки, на место выполнения другой задачи. Аналогичный эффект был показан в работе Zhang и соавт. [72], которые сообщили о переносе навыка различения ориентации в новое место сетчатки. Авторы интерпретируют такой эффект как результат взаимодействия фовеальной и периферической обработки, которое может включать обучение на более центральных участках коры. Альтернативным объяснением может выступить статистическая природа процесса обучения, не предполагающая прямой связи с мозговыми участками. На данный момент вопрос наличия точной нейроанатомической структуры, лежащей в основе перцептивного обучения, остается нерешенным [73].

Основные ограничения экстрафовеального зрения и, соответственно, возможностей его тренировки связаны с эффектом скученности [4]. В ряде исследований рассматривалась возможность повышения эффективности решения перцептивных задач с краудинг-эффектом. Chung, Legge и Cheung измеряли эффективность распознавания трехбуквенных символов вдоль линий с 10-градусным эксцентриситетом в верхнем или нижнем полях зрения [74]. Выяснилось, что скорость распознавания улучшилась в результате ежедневных тренировок в течение четырех дней, что отразилось также в значительном увеличении скорости чтения, измеренной в отдельном эксперименте при тех же эксцентриситетах с использованием парадигмы быстрого последовательного предъявления зрительных стимулов (rapid serial visual presentation). Наблюдался также перенос показателей как распознавания букв, так и скорости чтения от «обученной» половины зрительного поля к нетренированной; и этот эффект сохранялся по крайней мере в течение трех месяцев после обучения. В последующем эксперименте Chung проверил гипотезу о влиянии тренировки на распознавание сред-

них букв в трехбуквенных сочетаниях при варьировании расстояния между буквами [75]. В этом эксперименте обучение длилось уже шесть дней и использовалось только одно местоположение стимулов с эксцентриситетом 10° в нижнем поле зрения. Послетренировочный тест показал увеличение производительности на 88%, однако, в отличие от Chung и соавт. [74], существенного влияния на скорость чтения обнаружено не было. Повышение скорости чтения в экстрафовеа путем тренировки стало фокусом исследования Yu и соавт., обнаруживших улучшение показателей как в тренированном нижнем поле зрения (на 41%), так и в нетренированном верхнем (на 27%) [76].

Sun и соавт. в рамках парадигмы маскировки шума (noise-masking paradigm) провели эксперимент, в котором участники в течение шести дней обучались определять буквы, окруженные дистракторами, расположенные с эксцентриситетом 10° в нижнем правом квадранте [77]. Перед и после серии тренировок проводилось контрольное тестирование, причем второе включало предъявление стимулов на тех же участках сетчатки, что и в тренировочном условии, однако в контрольном буквы предъявлялись на фоне белого шума в условиях наличия и отсутствия окружающих стимулов. Результаты выявили улучшение распознавания букв в обоих указанных условиях. В дополнительном контрольном тестировании исследователи обнаружили, что снижение краудинг-эффекта сохранялось как минимум в течение шести месяцев.

Рассмотренные исследования перцептивного обучения имели своим фокусом повышение эффективности распознавания объектов на ранней стадии зрительной обработки и проводились на материале простых (линии, решетки) или хорошо знакомых (буквы) стимулов. Однако особенный исследовательский интерес представляет возможность улучшения распознавания целых категорий, выступающих детерминантами перцептивной классификации. Jüttner и Rentschler продемонстрировали различия в эффективности обучения в задачах на различение (когда необходимо было отнести стимул – решетку Габора – к одному из двух классов) и категоризацию (при которой классов было три) [78]. При обучении категоризации испытуемые учили все три класса одновременно, а при обучении различению они проходили три последовательных эксперимента, в которых обучались различать попарно объекты первого–второго классов, второго–третьего и первого–третьего. Обучение обеим задачам проводилось в условиях фовеального и экстрафовеального зрения (на удалении 3° от центра фиксации), причем при экстрафовеальном предъявлении размер стимулов был увеличен в соответствии с коэффициентом магнификации. Эффективность решения задачи на различение быстро выросла в ходе тренировок как в фовеа, так и в экстрафовеа, в то время как в задаче на категоризацию производительность повысилась только для фовеального предъявления, а скорость обучения в экстрафовеальном условии была ниже в 6 раз. Последующий эксперимент показал наличие переноса с задачи дискриминации на задачу категоризации, однако только для фовеального условия. Авторы

изучили характер ошибок испытуемых и предположили, что в случае экстрафовеального предъявления задачи на категоризацию перцептивной размерности экстрафовеа оказывается недостаточно для одновременного различения сразу нескольких классов по нескольким характеристикам, тогда как задача дискриминации, имеющая всего одно измерение, может решаться экстрафовеально вполне успешно. Трудности обучения категоризации экстрафовеально предъявляемых стимулов могут быть преодолены путем длительного обучения, причем предполагается, что на нейронном уровне категоризация осуществляется на поздних этапах зрительной обработки. Так, было показано, что при усвоении категорий паттернов наблюдаются более сложные эффекты латерализации и гораздо меньшее влияние места предъявления тренировочных стимулов [79].

Несмотря на значительное влияние эксцентриситета на многие перцептивные параметры, способность распознавать знакомые объекты удивительно высока практически по всему зрительному полю. В эксперименте Biederman и Соорег просили участников называть объекты реального мира размером 4° , предъявляемые на расстоянии $2,4^\circ$ слева и справа от точки фиксации [80]. Во второй части эксперимента использовался прайминг – кратковременно предъявляемый стимул с варьированием размера (тот же, что был в первой части, и меньший) и вида (тот же либо другой представитель той же категории). Выяснилось, что прайминг улучшил время и точность ответа независимо от вида и размера стимула, причем наибольший эффект наблюдался для того же изображения стимула независимо от размера.

На основе рассмотренных исследований можно заключить, что экстрафовеальное восприятие до определенной степени поддается влиянию обучения во многих видах задач, и это обучение может осуществляться как на ранних этапах перцептивной обработки, так и на более высоких уровнях усвоения категорий. Перцептивное обучение, как правило, специфично по отношению к месту сетчатки, позволяет повысить уровень элементарных зрительных функций, таких как различение ориентации, чувствительность к контрасту и некоторые параметры остроты зрения, а также способно снизить краудинг-эффект. Обучение категоризации, вероятно, задействует более высокие уровни обработки, демонстрирует меньшую специфичность к области сетчатки и в целом гораздо менее эффективно.

Выводы

Рассмотренные исследования показывают, что процессы экстрафовеального восприятия оказываются гораздо более интересными и автономными, чем считалось ранее: оно не просто является вспомогательной системой для фовеального зрения, но позволяет решать широкий спектр перцептивных задач, включая идентификацию достаточно сложных объектов и распознавание сути целых сцен. Наиболее важными факторами, ограничивающими возможности экстрафовеального зрения, оказываются снижение остроты зрения вследствие снижения числа колбочек и кра-

удинг-эффект, при котором окружающие объекты, расположенные слишком близко к цели, мешают ее распознаванию. Результаты экспериментов по тренировке экстрафовеального восприятия указывают на потенциальную возможность обучения, что свидетельствует о гибкости и адаптивности всей системы зрительного восприятия.

Литература

1. Rosenholtz R. Capabilities and Limitations of Peripheral Vision // *Annual Review of Vision Science*. 2016. Vol. 2 (1). P. 437–457. DOI: 10.1146/annurev-vision-082114-035733
2. Iwasaki M., Inomata H. Relation between Superficial Capillaries and Foveal Structures in the Human Retina // *Investigative Ophthalmology & Visual Science*. 1986. Vol. 27, is. 12. P. 1698–1705.
3. Kolb H., Fernandez E., Nelson R. *Webvision: The Organization of the Retina and Visual System*. John Moran Eye Center, University of Utah, 2011.
4. Strasburger H., Rentschler I., Jüttner M. Peripheral Vision and Pattern Recognition: A review // *Journal of Vision*. 2011. Vol. 11, is. 5. P. 13–13. DOI: 10.1167/11.5.13
5. Krantz J.H. The stimulus and anatomy of the visual system // Krantz J.H. *Experiencing Sensation and Perception*. Sage, 2012. URL: <https://psych.hanover.edu/javatest/media/Chapter03.html>
6. Poletti M., Rucci M., Carrasco M. Selective attention within the foveola // *Nature Neuroscience*. 2017. Vol. 20, is. 10. P. 1413. DOI: 10.1038/nn.4622
7. Korte W. Über die Gestaltauffassung im indirekten Sehen // *Zeitschrift für Psychologie*. 1923. Vol. 93. P. 17–82.
8. Loschky L.C. et al. The importance of information localization in scene gist recognition // *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*. 2007. Vol. 33, is. 6. P. 1431. DOI: 10.1037/0096-1523.33.6.1431
9. Popescu M.L. et al. Age-related eye disease and mobility limitations in older adults // *Investigative Ophthalmology & Visual Science*. 2011. Vol. 52, is. 10. P. 7168–7174. DOI: 10.1167/iovs.11-7564
10. Hueck A. Über die Grenzen des Sehvermögens // *Müllers Archiv für Anatomic, Physiologie und Wissenschaftliche Medizin*. 1840. Vol. 1840. P. 82–97.
11. Aubert H.R., Foerster C.F.R. Beiträge zur Kenntnisse der indirecten Sehens // *Graefes Archiv für Ophthalmologie*. 1857. Vol. 3. P. 1–37.
12. Wertheim T. Über die indirekte Sehscharfe // *Zeitschrift für Psychologie*. 1894. Vol. 7. P. 172–187.
13. Polyak S.L. *The Main Afferent Fiber Systems of the Cerebral Cortex in Primates: An Investigation of the Central Portions of the Somato-sensory, Auditory and Visual Paths of the Cerebral Cortex*. University of California Press, 1932.
14. Talbot S.A., Marshall W.H. Physiological Studies on Neural Mechanisms of Visual Localization and Discrimination // *American Journal of Ophthalmology*. 1941. Vol. 24, is. 11. P. 1255–1264. DOI: 10.1016/S0002-9394(41)91363-6
15. Nakayama K., Mackeben M. Sustained and Transient Components of Focal Visual Attention // *Vision Research*. 1989. Vol. 29, is. 11. P. 1631–1647. DOI: 10.1016/0042-6989(89)90144-2
16. Mackeben M. Sustained focal attention and peripheral letter recognition // *Spatial Vision*. 1999. Vol. 12, is. 1. P. 51–72. DOI: 10.1163/156856899x00030
17. Carrasco M., Williams P.E., Yeshurun Y. Covert attention increases spatial resolution with or without masks: Support for signal enhancement // *Journal of Vision*. 2002. Vol. 2, is. 6. P. 467–479. DOI: 10.1167/2.6.4
18. Гиппенрейтер Ю.Б. *Движения человеческого глаза*. М : Изд-во Моск. ун-та, 1978. 256 с.

19. Вергилес Н.Ю. Исследование деятельности и функциональное моделирование сенсорного звена зрительной системы : автореф. дис. ... канд. пед. наук (по психологии). М., 1967. 27 с.
20. Ярбус А.Л. Роль движений глаз в процессе зрения. М. : Наука, 1965. 161 с.
21. Rovamo J., Virsu V. An estimation and application of the human cortical magnification factor // *Experimental Brain Research*. 1979. Vol. 37, is. 3. P. 495–510. DOI: 10.1007/BF00236819
22. Harvey B.M., Dumoulin S.O. The relationship between cortical magnification factor and population receptive field size in human visual cortex: constancies in cortical architecture // *Journal of Neuroscience*. 2011. Vol. 31, is. 38. P. 13604–13612. DOI: 10.1523/JNEUROSCI.2572–11.2011
23. Daniel P.M., Whitteridge D. The representation of the visual field on the cerebral cortex in monkeys // *The Journal of Physiology*. 1961. Vol. 159, is. 2. P. 203–221. DOI: 10.1113/jphysiol.1961.sp006803
24. Watson A.B. Estimation of local spatial scale // *JOSA A*. 1987. Vol. 4, is. 8. P. 1579–1582. DOI: 10.1364/JOSAA.4.001579
25. Rovamo J., Virsu V., Näsänen R. Cortical magnification factor predicts the photopic contrast sensitivity of peripheral vision // *Nature*. 1978. Vol. 271, is. 5640. P. 54–56. DOI: 10.1038/271054a0
26. Westheimer G. The spatial grain of the perifoveal visual field // *Vision Research*. 1982. Vol. 22, is. 1. P. 157–162. DOI: 10.1016/0042–6989(82)90177–8
27. Strasburger H., Rentschler I., Harvey Jr L. O. Cortical magnification theory fails to predict visual recognition // *European Journal of Neuroscience*. 1994. Vol. 6, is. 10. P. 1583–1588. DOI: 10.1111/j.1460–9568.1994.tb00548.x
28. Virsu V., Näsänen R., Osmoviita K. Cortical magnification and peripheral vision // *JOSA A*. 1987. Vol. 4, is. 8. P. 1568–1578. DOI: 10.1364/josaa.4.001568
29. Rovamo J., Raninen A. Critical flicker frequency and M–scaling of stimulus size and retinal illuminance // *Vision Research*. 1984. Vol. 24, is. 10. P. 1127–1131. DOI: 10.1016/0042–6989(84)90166–4
30. Mäkelä P. et al. Identification of facial images in peripheral vision // *Vision Research*. 2001. Vol. 41, is. 5. P. 599–610. DOI: 10.1016/S0042–6989(00)00259–5
31. Lettvin J.Y. On seeing sidelong // *The Sciences*. 1976. Vol. 16, is. 4. P. 10–20. DOI: 10.1002/j.2326–1951.1976.tb01231.x
32. Bouma H. Interaction effects in parafoveal letter recognition // *Nature*. 1970. Vol. 226, is. 5241. P. 177–178. DOI: 10.1038/226177a0
33. Pelli D.G., Palomares M., Majaj N.J. Crowding is unlike ordinary masking: Distinguishing feature integration from detection // *Journal of Vision*. 2004. Vol. 4, is. 12. P. 1136–1169. DOI: 10.1167/4.12.12
34. Levi D.M. Crowding – An essential bottleneck for object recognition: A mini–review // *Vision Research*. 2008. Vol. 48, is. 5. P. 635–654. DOI: 10.1016/j.visres.2007.12.009
35. Ehlers H.V. The movements of the eyes during reading // *Acta Ophthalmologica*. 1936. Vol. 14, is. 1–2. P. 56–63. DOI: 10.1111/j.1755–3768.1936.tb07306.x
36. Averbach E., Coriell A.S. Short-term memory in vision // *The Bell System Technical Journal*. 1961. Vol. 40, is. 1. P. 309–328. DOI: 10.1002/j.1538–7305.1961.tb03987.x
37. Shaw P. Processing of tachistoscopic displays with controlled order of characters and spaces // *Perception & Psychophysics*. 1969. Vol. 6, is. 5. P. 257–266. DOI: 10.3758/BF03210094
38. Toet A., Levi D. M. The two-dimensional shape of spatial interaction zones in the parafovea // *Vision Research*. 1992. Vol. 32, is. 7. P. 1349–1357. DOI: 10.1016/0042–6989(92)90227–A
39. Atkinson J. et al. Visual crowding in young children // *Detection and Measurement of Visual Impairment in Pre-Verbal Children*. Dordrecht : Springer, 1986. P. 201–213.

40. Wolford G., Chambers L. Lateral masking as a function of spacing // *Perception & Psychophysics*. 1983. Vol. 33, is. 2. P. 129–138. DOI: 10.3758/bf03202830
41. Strasburger H., Harvey L.O., Rentschler I. Contrast thresholds for identification of numeric characters in direct and eccentric view // *Perception & Psychophysics*. 1991. Vol. 49, is. 6. P. 495–508. DOI: 10.3758/bf03212183
42. Wolfe J.M., Utochkin I.S. What is a preattentive feature? // *Current Opinion in Psychology*. 2019. Vol. 29. P. 19–26. DOI: 10.1016/j.copsyc.2018.11.005
43. Treisman A., Gormican S. Feature analysis in early vision: evidence from search asymmetries // *Psychological Review*. 1988. Vol. 95, is. 1. P. 15–48. DOI: 10.1037/0033-295x.95.1.15
44. Posner M.I. Orienting of attention: Then and now // *Quarterly Journal of Experimental Psychology*. 2016. Vol. 69, is. 10. P. 1864–1875. DOI: 10.1080/17470218.2014.937446
45. Julesz B. Textons, the elements of texture perception, and their interactions // *Nature*. 1981. Vol. 29. P. 19–26. DOI: 10.1038/290091a0
46. Kehrner L. Perceptual segregation and retinal position // *Spatial Vision*. 1987. Vol. 2, is. 4. P. 247–261. DOI: 10.1163/156856887x00204
47. Scialfa C.T., Joffe K.M. Texture segmentation as a function of eccentricity, spatial frequency and target size // *Spatial Vision*. 1995. Vol. 9, is. 3. P. 325–342. DOI: 10.1163/156856895x00034
48. Yeshurun Y., Carrasco M. Attention improves or impairs visual performance by enhancing spatial resolution // *Nature*. 1998. Vol. 396, is. 6706. P. 72–75. DOI: 10.1038/23936
49. Yeshurun Y., Montagna B., Carrasco M. On the flexibility of sustained attention and its effects on a texture segmentation task // *Vision Research*. 2008. Vol. 48, is. 1. P. 80–95. DOI: 10.1016/j.visres.2007.10.015
50. Fei-Fei L. et al. What do we perceive in a glance of a real-world scene? // *Journal of Vision*. 2007. Vol. 7, is. 1. P. 1–29. DOI: 10.1167/7.1.10
51. Velisavljević L., Elder J.H. Visual short-term memory for natural scenes: Effects of eccentricity // *Journal of Vision*. 2008. Vol. 8, is. 4. P. 1–17. DOI: 10.1167/8.4.28
52. Larson A.M., Loschky L.C. The contributions of central versus peripheral vision to scene gist recognition // *Journal of Vision*. 2009. Vol. 9, is. 10. P. 1–16. DOI: 10.1167/9.10.6
53. Thorpe S.J. et al. Detection of animals in natural images using far peripheral vision // *European Journal of Neuroscience*. 2001. Vol. 14, is. 5. P. 869–876. DOI: 10.1046/j.0953-816x.2001.01717.x
54. Jonides J., Gleitman H. A conceptual category effect in visual search: O as letter or as digit // *Perception & Psychophysics*. 1972. Vol. 12, is. 6. P. 457–460. DOI: 10.3758/BF03210934
55. Dahan D., Tanenhaus M.K. Looking at the rope when looking for the snake: conceptually mediated eye movements during spoken-word recognition // *Psychonomic Bulletin & Review*. 2005. Vol. 12, is. 3. P. 453–459. DOI: 10.3758/bf03193787
56. Schmidt J., Zelinsky G.J. Short article: Search guidance is proportional to the categorical specificity of a target cue // *Quarterly Journal of Experimental Psychology*. 2009. Vol. 62, is. 10. P. 1904–1914. DOI: 10.1080/17470210902853530
57. Greene M.R., Fei-Fei L. Visual categorization is automatic and obligatory: evidence from Stroop-like paradigm // *Journal of Vision*. 2014. Vol. 14, is. 1. DOI: 10.1167/14.1.14. URL: <https://jov.arvojournals.org/article.aspx?articleid=2193927>
58. Cimminella F., Della Sala S., Coco M.I. Extra-foveal Processing of Object Semantics Guides Early Overt Attention During Visual Search // *Attention, Perception, & Psychophysics*. 2020. Vol. 82, is. 2. P. 655–670. DOI: 10.3758/s13414-019-01906-1
59. Кричевец А.Н. и др. Возможности экстрафовеального восприятия геометрических фигур // *Вопросы психологии*. 2017. № 6. С. 117–128.
60. Дренёва А.А., Кричевец А.Н., Чумаченко Д.В., Шварц А.Ю. Экстрафовеальный анализ категориально заданных трехмерных фигур // *Сибирский психологический журнал*. 2019. № 72. С. 68–92. DOI: 10.17223/17267080/72/4

61. Martelli M., Majaj N.J., Pelli D.G. Are faces processed like words? A diagnostic test for recognition by parts // *Journal of Vision*. 2005. Vol. 5, is. 1. P. 58–70. DOI: 10.1167/5.1.6
62. Ungerleider L.G., Haxby J.V. ‘What’ and ‘where’ in the human brain // *Current Opinion in Neurobiology*. 1994. Vol. 4, is. 2. P. 157–165. DOI: 10.1016/0959-4388(94)90066-3
63. Calder A.J. et al. Configural information in facial expression perception // *Journal of Experimental Psychology: Human perception and performance*. 2000. Vol. 26, is. 2. P. 527–551. DOI: 10.1037/0096-1523.26.2.527
64. Барабанщиков В.А., Жегалло А.В. Распознавание экспрессий лица в ближней периферии зрительного поля // *Экспериментальная психология*. 2013. № 2. С. 59–85.
65. Goren D., Wilson H.R. Quantifying facial expression recognition across viewing conditions // *Vision Research*. 2006. Vol. 46, is. 8-9. P. 1253–1262. DOI: 10.1016/j.visres.2005.10.028
66. Calvo M.G., Nummenmaa L., Avero P. Recognition advantage of happy faces in extrafoveal vision: Featural and affective processing // *Visual Cognition*. 2010. Vol. 18, is. 9. P. 1274–1297. DOI: 10.1080/13506285.2010.481867
67. Calvo M.G., Rodríguez-Chinea S., Fernández-Martín A. Lateralized discrimination of emotional scenes in peripheral vision // *Experimental Brain Research*. 2015. Vol. 233, is. 3. P. 997–1006. DOI: 10.1007/s00221-014-4174-8
68. Beard B.L., Levi D.M., Reich L.N. Perceptual learning in parafoveal vision // *Vision Research*. 1995. Vol. 35, is. 12. P. 1679–1690. DOI: 10.1016/0042-6989(94)00267-p
69. Westheimer G. Is peripheral visual acuity susceptible to perceptual learning in the adult? // *Vision Research*. 2001. Vol. 41, is. 1. P. 47–52. DOI: 10.1016/S0042-6989(00)00245-5
70. Lu Z.L., Doshier B.A. Perceptual learning retunes the perceptual template in foveal orientation identification // *Journal of Vision*. 2004. Vol. 4, is. 1. P. 44–56. DOI: 10.1167/4.1.5
71. Xiao L.Q. et al. Complete transfer of perceptual learning across retinal locations enabled by double training // *Current Biology*. 2008. Vol. 18, is. 24. P. 1922–1926. DOI: 10.1016/j.cub.2008.10.030
72. Zhang T. et al. Decoupling location specificity from perceptual learning of orientation discrimination // *Vision Research*. 2010. Vol. 50, is. 4. P. 368–374. DOI: 10.1016/j.visres.2009.08.024
73. Sagi D. Perceptual learning in vision research // *Vision Research*. 2011. Vol. 51, is. 13. P. 1552–1566. DOI: 10.1016/j.visres.2010.10.019
74. Chung S.T.L., Legge G.E., Cheung S. Letter-recognition and reading speed in peripheral vision benefit from perceptual learning // *Vision research*. 2004. Vol. 44, is. 7. P. 695–709. DOI: 10.1016/j.visres.2003.09.028
75. Chung S.T.L. Learning to identify crowded letters: does it improve reading speed? // *Vision Research*. 2007. Vol. 47, is. 25. P. 3150–3159. DOI: 10.1016/j.visres.2007.08.017
76. Yu D. et al. Training peripheral vision to read: Boosting the speed of letter processing // *Vision Research*. 2018. Vol. 152. P. 51–60. DOI: 10.1016/j.visres.2017.06.005
77. Sun G.J., Chung S.T.L., Tjan B.S. Ideal observer analysis of crowding and the reduction of crowding through learning // *Journal of Vision*. 2010. Vol. 10, is. 5. P. 16. DOI: 10.1167/10.5.16
78. Jüttner M., Rentschler I. Scale-invariant superiority of foveal vision in perceptual categorization // *European Journal of Neuroscience*. 2000. Vol. 12, is. 1. P. 353–359. DOI: 10.1046/j.1460-9568.2000.00907.x
79. Jüttner M., Rentschler I. Category learning induces position invariance of pattern recognition across the visual field // *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*. 2008. Vol. 275, is. 1633. P. 403–410. DOI: 10.1098/rspb.2007.1492
80. Biederman I., Cooper E. E. Size invariance in visual object priming // *Journal of Experimental Psychology – Human Perception and Performance*. 1992. Vol. 18, is. 1. P. 121–133. DOI: 10.1037/0096–1523.18.1.121

Поступила в редакцию 01.11.2020 г.; повторно 18.07.2021 г.;
принята 23.08.2021 г.

Дренёва Анна Александровна – психолог кафедры методологии психологии факультета психологии Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова; научный сотрудник Научно-исследовательского центра мониторинга и статистики образования РАНХиГС при Президенте РФ.

E-mail: anna.dreneva@msupsy.ru

Кричевец Анатолий Николаевич – доктор философских наук, кандидат физико-математических наук, профессор кафедры методологии психологии факультета психологии Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова.

E-mail: ankrich@mail.ru

For citation: Dreneva, A.A., Krichevets, A.N. Possibilities and Limitations of Extrafoveal Perception: an Analytical Review. *Sibirskiy Psikhologicheskii Zhurnal – Siberian journal of psychology*. 2021; 81: 79–106. doi: 10.17223/17267081/81/4. In Russian. English Summary

Possibilities and Limitations of Extrafoveal Perception: an Analytical Review¹

A.A. Dreneva^{a, b}, A.N. Krichevets^a

^a *Lomonosov Moscow State University, 9 build. 11, Mokhovaya Str., Moscow, 125009, Russian Federation*

^b *The Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, 84 build. 1, Prospect Vernadskogo, Moscow, 119571, Russian Federation*

Abstract

The article presents an analytical review of studies in the field of extrafoveal perception. The region of extrafoveal vision combines the parafovea and periphery of the retina, so extrafoveal perception is the perception of objects which projections are outside of the fovea. For a long time, it has been believed that extrafoveal vision, in contrast to foveal, has a lower acuity and resolution and is used mainly for preliminary analysis of the visual field and selection of relevant objects for their more thorough analysis in fovea. However, the literature shows that extrafoveal perception is much more interesting and autonomous process as it has been previously considered.

The paper analyzes a number of works showing that it is possible to identify both specific features of simple stimuli and rather complex objects, such as faces or whole scenes, up to the possibility of their semantic analysis, even in extrafoveal vision. The review considers the history of studies on extrafoveal perception, from the earliest works (Hueck, 1840; Aubert, Foerster, 1857) to the most recent ones of the last 5 years. These works have analyzed the main factors influencing the effectiveness of extrafoveal vision, for example, cortical magnification factor, which reflects differences in the number of neurons in the visual cortex responsible for processing stimuli depending on the region of the retina: the closer the object is to the fovea, the more neurons are involved in its processing, and vice versa. Other factors determining the efficacy of extrafoveal perception include the following: crowding effect when the target object on the periphery surrounded by distractors is identified worse than a separately located stimulus; specific characteristics of a target and distractors (for example, contexts evoking pop-out effect). Crowding effect is also related to the question of correlating two forms of processing extrafoveal information: preattentive processing (parallel “bottom up” processing) and covert attention (moving the point of deeper analysis along the visual field without eye movements) which can be controlled up to some degree. The other factors

¹ The reported study was funded by RFBR, project number 20-113-50277.

influencing the effectiveness of extrafoveal perception concern the context of a task (categorical search in laboratory conditions, analysis of the real world scenes, reactions to extrafoveal stimuli during definite activity) and individual differences.

Additionally, we have analyzed the works on the possibilities of training extrafoveal perception, which can affect both higher-level processes, for example, identification of the context of complex scenes, perception of emotions and categorical visual search, and lower-level visual functions, such as identification of spatial orientation, contrast perception and reduction of crowding effect.

Keywords: visual perception; extrafoveal perception; scene recognition; face recognition; categorical search; attention; crowding effect; conception of cortical magnification; training of extrafoveal perception.

References

1. Rosenholtz, R. (2016) Capabilities and Limitations of Peripheral Vision. *Annual Review of Vision Science*. 2(1). pp. 437–457. DOI: 10.1146/annurev-vision-082114-035733
2. Iwasaki, M. & Inomata, H. (1986) Relation between Superficial Capillaries and Foveal Structures in the Human Retina. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*. 27(12). pp. 1698–1705.
3. Kolb, H., Fernandez, E. & Nelson, R. (2011) *Webvision: The Organization of the Retina and Visual System*. John Moran Eye Center, University of Utah.
4. Strasburger, H., Rentschler, I. & Jüttner, M. (2011) Peripheral Vision and Pattern Recognition: A review. *Journal of Vision*. 11(5). pp. 13–13. DOI: 10.1167/11.5.13
5. Krantz, J.H. (2012) *Experiencing Sensation and Perception*. Sage. [Online] Available from: <https://psych.hanover.edu/javatest/media/Chapter03.html>
6. Poletti, M., Rucci, M. & Carrasco, M. (2017) Selective attention within the foveola. *Nature Neuroscience*. 20(10). pp. 1413. DOI: 10.1038/nn.4622
7. Korte, W. (1923) Über die Gestaltauffassung im indirekten Sehen. *Zeitschrift für Psychologie*. 93. pp. 17–82.
8. Loschky, L.C. et al. (2007) The importance of information localization in scene gist recognition. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*. 33(6). p. 1431. DOI: 10.1037/0096-1523.33.6.1431
9. Popescu, M.L. et al. (2011) Age-related eye disease and mobility limitations in older adults. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*. 52(10). pp. 7168–7174. DOI: 10.1167/iovs.11-7564
10. Hueck, A. (1840) Über die Grenzen des Sehvermögens. In: *Müllers Archiv für Anatomic, Physiologie und Wissenschaftliche Medizin*. Vol. 1840. pp. 82–97.
11. Aubert, H.R. & Foerster, C.F.R. (1857) Beiträge zur Kenntnisse der indirecten Sehens. *Graefes Archiv für Ophthalmologie*. 3. pp. 1–37.
12. Wertheim, T. (1894) Über die indirekte Sehscharfe. *Zeitschrift für Psychologie*. 7. pp. 172–187.
13. Polyak, S.L. (1932) *The Main Afferent Fiber Systems of the Cerebral Cortex in Primates: An Investigation of the Central Portions of the Somato-sensory, Auditory and Visual Paths of the Cerebral Cortex*. University of California Press.
14. Talbot, S.A. & Marshall, W.H. (1941) Physiological Studies on Neural Mechanisms of Visual Localization and Discrimination. *American Journal of Ophthalmology*. 24(11). pp. 1255–1264. DOI: 10.1016/S0002-9394(41)91363-6
15. Nakayama, K. & Mackeben, M. (1989) Sustained and Transient Components of Focal Visual Attention. *Vision Research*. 29(11). pp. 1631–1647. DOI: 10.1016/0042-6989(89)90144-2
16. Mackeben, M. (1999) Sustained focal attention and peripheral letter recognition. *Spatial Vision*. 12(1). pp. 51–72. DOI: 10.1163/156856899x00030

17. Carrasco, M., Williams, P.E. & Yeshurun, Y. (2002) Covert attention increases spatial resolution with or without masks: Support for signal enhancement. *Journal of Vision*. 2(6). pp. 467–479. DOI: 10.1167/2.6.4
18. Gippenreyter, Yu.B. (1978) *Dvizheniya chelovecheskogo glaza* [Human eye movements]. Moscow: Moscow State University.
19. Vergiles, N.Yu. (1967) *Issledovanie deyatel'nosti i funktsional'noe modelirovanie sen-sornogo zvena zritel'noy sistemy* [Research of activity and functional modeling of the sensory link of the visual system]. Abstract of Pedagogy Cand. Diss. Moscow.
20. Yarbus, A.L. (1965) *Rol' dvizheniy glaz v protsesse zreniya* [The role of eye movements in the process of vision]. Moscow: Nauka.
21. Rovamo, J. & Virsu, V. (1979) An estimation and application of the human cortical magnification factor. *Experimental Brain Research*. 37(3). pp. 495–510. DOI: 10.1007/BF00236819
22. Harvey, B.M. & Dumoulin, S.O. (2011) The relationship between cortical magnification factor and population receptive field size in human visual cortex: constancies in cortical architecture. *Journal of Neuroscience*. 31(38). pp. 13604–13612. DOI: 10.1523/JNEUROSCI.2572–11.2011
23. Daniel, P.M. & Whitteridge, D. (1961) The representation of the visual field on the cerebral cortex in monkeys. *The Journal of Physiology*. 159(2). pp. 203–221. DOI: 10.1113/jphysiol.1961.sp006803
24. Watson, A.B. (1987) Estimation of local spatial scale. *JOSA A*. 4(8). pp. 1579–1582. DOI: 10.1364/JOSAA.4.001579
25. Rovamo, J., Virsu, V. & Näsänen, R. (1978) Cortical magnification factor predicts the photopic contrast sensitivity of peripheral vision. *Nature*. 271(5640). pp. 54–56. DOI: 10.1038/271054a0
26. Westheimer, G. (1982) The spatial grain of the perifoveal visual field. *Vision Research*. 22(1). pp. 157–162. DOI: 10.1016/0042-6989(82)90177-8
27. Strasburger, H., Rentschler, I. & Harvey, Jr L.O. (1994) Cortical magnification theory fails to predict visual recognition. *European Journal of Neuroscience*. 6(10). pp. 1583–1588. DOI: 10.1111/j.1460-9568.1994.tb00548.x
28. Virsu, V., Näsänen, R. & Osmoviita, K. (1987) Cortical magnification and peripheral vision. *JOSA A*. 4(8). pp. 1568–1578. DOI: 10.1364/josaa.4.001568
29. Rovamo, J. & Raninen, A. (1984) Critical flicker frequency and M–scaling of stimulus size and retinal illuminance. *Vision Research*. 24(10). pp. 1127–1131. DOI: 10.1016/0042-6989(84)90166-4
30. Mäkelä, P. et al. (2001) Identification of facial images in peripheral vision. *Vision Research*. 41(5). pp. 599–610. DOI: 10.1016/S0042-6989(00)00259-5
31. Lettvin, J.Y. (1976) On seeing sidelong. *The Sciences*. 16(4). pp. 10–20. DOI: 10.1002/j.2326-1951.1976.tb01231.x
32. Bouma, H. (1970) Interaction effects in parafoveal letter recognition. *Nature*. 226(5241). pp. 177–178. DOI: 10.1038/226177a0
33. Pelli, D.G., Palomares, M. & Majaj, N.J. (2004) Crowding is unlike ordinary masking: Distinguishing feature integration from detection. *Journal of Vision*. 4(12). pp. 1136–1169. DOI: 10.1167/4.12.12
34. Levi, D.M. (2008) Crowding – An essential bottleneck for object recognition: A mini-review. *Vision Research*. 48(5). pp. 635–654. DOI: 10.1016/j.visres.2007.12.009
35. Ehlers, H.V. (1936) The movements of the eyes during reading. *Acta Ophthalmologica*. 14(1-2). pp. 56–63. DOI: 10.1111/j.1755-3768.1936.tb07306.x
36. Averbach, E. & Coriell, A.S. (1961) Short-term memory in vision. *The Bell System Technical Journal*. 40(1). pp. 309–328. DOI: 10.1002/j.1538-7305.1961.tb03987.x
37. Shaw, P. (1969) Processing of tachistoscopic displays with controlled order of characters and spaces. *Perception & Psychophysics*. 6(5). pp. 257–266. DOI: 10.3758/BF03210094
38. Toet, A. & Levi, D.M. (1992) The two-dimensional shape of spatial interaction zones in the parafovea. *Vision Research*. 32(7). pp. 1349–1357. DOI: 10.1016/0042-6989(92)90227-A

39. Atkinson, J. et al. (1986) Visual crowding in young children. In: Jay, B. (ed.) *Detection and Measurement of Visual Impairment in Pre-Verbal Children*. Dordrecht: Springer. pp. 201–213.
40. Wolford, G. & Chambers, L. (1983) Lateral masking as a function of spacing. *Perception & Psychophysics*. 33(2). pp. 129–138. DOI: 10.3758/bf03202830
41. Strasburger, H., Harvey, L.O. & Rentschler, I. (1991) Contrast thresholds for identification of numeric characters in direct and eccentric view. *Perception & Psychophysics*. 49(6). pp. 495–508. DOI: 10.3758/bf03212183
42. Wolfe, J.M. & Utochkin, I.S. (2019) What is a preattentive feature? *Current Opinion in Psychology*. 29. pp. 19–26. DOI: 10.1016/j.copsyc.2018.11.005
43. Treisman, A. & Gormican, S. (1988) Feature analysis in early vision: evidence from search asymmetries. *Psychological Review*. 95(1). pp. 15–48. DOI: 10.1037/0033-295x.95.1.15
44. Posner, M.I. (2016) Orienting of attention: Then and now. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*. 69(10). pp. 1864–1875. DOI: 10.1080/17470218.2014.937446
45. Julesz, B. (1981) Textons, the elements of texture perception, and their interactions. *Nature*. 290(5802). pp. 91–97. DOI: 10.1038/290091a0
46. Kehrner, L. (1987) Perceptual segregation and retinal position. *Spatial Vision*. 2(4). pp. 247–261. DOI: 10.1163/156856887x00204
47. Scialfa, C.T. & Joffe, K.M. (1995) Texture segmentation as a function of eccentricity, spatial frequency and target size. *Spatial Vision*. 9(3). pp. 325–342. DOI: 10.1163/156856895x00034
48. Yeshurun, Y. & Carrasco, M. (1998) Attention improves or impairs visual performance by enhancing spatial resolution. *Nature*. 396(6706). pp. 72–75. DOI: 10.1038/23936
49. Yeshurun, Y., Montagna, B. & Carrasco, M. (2008) On the flexibility of sustained attention and its effects on a texture segmentation task. *Vision Research*. 48(1). pp. 80–95. DOI: 10.1016/j.visres.2007.10.015
50. Fei-Fei, L. et al. (2007) What do we perceive in a glance of a real-world scene? *Journal of Vision*. 7(1). pp. 1–29. DOI: 10.1167/7.1.10
51. Velisavljević, L. & Elder, J.H. (2008) Visual short-term memory for natural scenes: Effects of eccentricity. *Journal of Vision*. 8(4). pp. 1–17. DOI: 10.1167/8.4.28
52. Larson, A.M. & Loschky, L.C. (2009) The contributions of central versus peripheral vision to scene gist recognition. *Journal of Vision*. 9(10). pp. 1–16. DOI: 10.1167/9.10.6
53. Thorpe, S.J. et al. (2001) Detection of animals in natural images using far peripheral vision. *European Journal of Neuroscience*. 14(5). pp. 869–876. DOI: 10.1046/j.0953-816x.2001.01717.x
54. Jonides, J. & Gleitman, H. (1972) A conceptual category effect in visual search: O as letter or as digit. *Perception & Psychophysics*. 12(6). pp. 457–460. DOI: 10.3758/BF03210934
55. Dahan, D. & Tanenhaus, M.K. (2005) Looking at the rope when looking for the snake: conceptually mediated eye movements during spoken-word recognition. *Psychonomic Bulletin & Review*. 12(3). pp. 453–459. DOI: 10.3758/bf03193787
56. Schmidt, J. & Zelinsky, G.J. (2009) Short article: Search guidance is proportional to the categorical specificity of a target cue. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*. 62(10). pp. 1904–1914. DOI: 10.1080/17470210902853530
57. Greene, M.R. & Fei-Fei, L. (2014) Visual categorization is automatic and obligatory: evidence from Stroop-like paradigm. *Journal of Vision*. 14(1). DOI: 10.1167/14.1.14. [Online] Available from: <https://jov.arvojournals.org/article.aspx?articleid=2193927>
58. Cimminella, F., Della, Sala, S. & Coco, M.I. (2020) Extra-foveal Processing of Object Semantics Guides Early Overt Attention During Visual Search. *Attention, Perception, & Psychophysics*. 82(2). pp. 655–670. DOI: 10.3758/s13414-019-01906-1
59. Krichevets, A.N. et al. (2017) Vozможности ekstrafoveal'nogo vospriyatiya geometricheskikh figur [Possibilities of extrafoveal perception of geometric figures]. *Voprosy psikhologii*. 6. pp. 117–128.

60. Dreneva, A.A., Krichevets, A.N., Chumachenko, D.V. & Shvarts, A.Yu. (2019) Extrafoveal Analysis of Categorically Defined Stereometric Shapes. *Sibirskiy psikhologicheskiy zhurnal – Siberian Journal of Psychology*. 72. pp. 68–92. (In Russian). DOI: 10.17223/17267080/72/4
61. Martelli, M., Majaj, N.J. & Pelli, D.G. (2005) Are faces processed like words? A diagnostic test for recognition by parts. *Journal of Vision*. 5(1). pp. 58–70. DOI: 10.1167/5.1.6
62. Ungerleider, L.G. & Haxby, J.V. (1994) ‘What’ and ‘where’ in the human brain. *Current Opinion in Neurobiology*. 4(2). pp. 157–165. DOI: 10.1016/0959-4388(94)90066-3
63. Calder, A.J. et al. (2000) Configural information in facial expression perception. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*. 26(2). pp. 527–551. DOI: 10.1037/0096-1523.26.2.527
64. Barabanshchikov, V.A. & Zhegallo, A.V. (2013) Recognition of facial expressions in the proximal periphery of the visual field. *Eksperimental'naya psikhologiya – Experimental Psychology*. 2. pp. 59–85.
65. Goren, D. & Wilson, H.R. (2006) Quantifying facial expression recognition across viewing conditions. *Vision Research*. 46(8-9). pp. 1253–1262. DOI: 10.1016/j.visres.2005.10.028
66. Calvo M.G., Nummenmaa L., Avero P. (2010) Recognition advantage of happy faces in extrafoveal vision: Featural and affective processing. *Visual Cognition*. 18(9). pp. 1274–1297. DOI: 10.1080/13506285.2010.481867
67. Calvo, M.G., Rodríguez-Chinea, S. & Fernández-Martín, A. (2015) Lateralized discrimination of emotional scenes in peripheral vision. *Experimental Brain Research*. 233(3). pp. 997–1006. DOI: 10.1007/s00221-014-4174-8
68. Beard, B.L., Levi, D.M. & Reich, L.N. (1995) Perceptual learning in parafoveal vision. *Vision Research*. 35(12). pp. 1679–1690. DOI: 10.1016/0042-6989(94)00267-p
69. Westheimer, G. (2001) Is peripheral visual acuity susceptible to perceptual learning in the adult? *Vision Research*. 41(1). pp. 47–52. DOI: 10.1016/S0042-6989(00)00245-5
70. Lu, Z.L. & Doshier, B.A. (2004) Perceptual learning retunes the perceptual template in foveal orientation identification. *Journal of Vision*. 4(1). pp. 44–56. DOI: 10.1167/4.1.5
71. Xiao, L.Q. et al. (2008) Complete transfer of perceptual learning across retinal locations enabled by double training. *Current Biology*. 18(24). pp. 1922–1926. DOI: 10.1016/j.cub.2008.10.030
72. Zhang, T. et al. (2010) Decoupling location specificity from perceptual learning of orientation discrimination. *Vision Research*. 50(4). pp. 368–374. DOI: 10.1016/j.visres.2009.08.024
73. Sagi, D. (2011) Perceptual learning in vision research. *Vision Research*. 51(13). pp. 1552–1566. DOI: 10.1016/j.visres.2010.10.019
74. Chung, S.T.L., Legge, G.E. & Cheung, S. (2004) Letter-recognition and reading speed in peripheral vision benefit from perceptual learning. *Vision research*. 44(7). pp. 695–709. DOI: 10.1016/j.visres.2003.09.028
75. Chung, S.T.L. (2007) Learning to identify crowded letters: does it improve reading speed? *Vision Research*. 47(25). pp. 3150–3159. DOI: 10.1016/j.visres.2007.08.017
76. Yu, D. et al. (2018) Training peripheral vision to read: Boosting the speed of letter processing. *Vision Research*. 152. pp. 51–60. DOI: 10.1016/j.visres.2017.06.005
77. Sun, G.J., Chung, S.T.L. & Tjan, B.S. (2010) Ideal observer analysis of crowding and the reduction of crowding through learning. *Journal of Vision*. 10(5). pp. 16. DOI: 10.1167/10.5.16
78. Jüttner, M. & Rentschler, I. (2000) Scale-invariant superiority of foveal vision in perceptual categorization. *European Journal of Neuroscience*. 12(1). pp. 353–359. DOI: 10.1046/j.1460-9568.2000.00907.x
79. Jüttner, M. & Rentschler, I. (2008) Category learning induces position invariance of pattern recognition across the visual field. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*. 275(1633). pp. 403–410. DOI: 10.1098/rspb.2007.1492

80. Biederman, I. & Cooper, E.E. (1992) Size invariance in visual object priming. *Journal of Experimental Psychology – Human Perception and Performance*. 18(1). pp. 121–133. DOI: 10.1037/0096-1523.18.1.121

Received 01.11.2020; Revised 18.07.2021;

Accepted 23.08.2021

Anna A. Dreneva – Psychologist, Faculty of Psychology, Lomonosov Moscow State University; Researcher, Research Center for Education Monitoring and Statistics, Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration.

E-mail: anna.dreneva@psysu.ru

Anatoly N. Krichavets – Professor at Methodology of Psychology Department, Faculty of Psychology, Lomonosov Moscow State University. Ph.D.

E-mail: ankrich@mail.ru