

УДК 612.8; 612.821; 159.93; 004.85; 004.93; 007.51; 159.93

Шелепин К.Ю.^а, Шелепин Ю.Е.^{а,б,в}

^аСанкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

^бИнститут физиологии им. И.П. Павлова РАН, Санкт-Петербург, Россия

^вНациональный университет информационных технологий механики и оптики
(Университет ИТМО), Санкт-Петербург, Россия

Нейрофизиология «инсайта»

Neurophysiology of the «insight»

Аннотация

Проведена аналогия между порогом восприятия неполных изображений и условиями возникновения инсайта. Рассмотрены нейрофизиологические принципы построения целостных образов при наблюдении фрагментированных изображений. Показана роль движений глаз. Высказано предположение, что нельзя объяснить условия возникновения инсайта только горизонтальными связями между однотипными рецептивными полями зрительной коры. Для объяснения возникновения инсайта использована многоуровневая модель обработки зрительной информации, обеспечивающая взаимосвязь входного сигнала и его описания в памяти.

Ключевые слова: инсайт, эвристика, фрагментированные изображения, порог распознавания, рецептивные поля, движения глаз, принятие решений

Abstract

The article concentrated on the possible neurophysiological mechanisms of an insight effect. We explore the idea that insight appearance is poetic metaphor of ordinary psychophysics threshold level description. To measure the simplest and traditional form of insight we propose to use incomplete figure test. We consider the neurophysiological principles of holistic manner under the recognition of the fragmented images of the objects, and eye movement importance. For explanation the data we use traditional multilevel visual information processing model, provided comprising the input signal after preprocessing and description from the memory store.

Keywords: insight, heuristics, fragmented images, the threshold of recognition, receptive fields, eye movements, decision making

Введение

Инсайт обозначает внезапное интуитивное понимание поставленной проблемы и нахождение её решения. Обычно инсайт отождествляют со сложным практически мгновенным переходом неосознаваемых процессов в осознаваемые психологические процессы. Этот, окутанный мистическим туманом, переход практически считают не поддающимся измерениям. Состояние инсайта (озарения) достигается внезапно, оно многогранно и проявляется при погружении человека в решение самых разных задач.

В данной статье наше внимание обращено на решение пространственных задач восстановления в сознании целостной картины из ее фрагментов. Нам зачастую приходится распознавать неполные изображения, например, скрытые другими предметами. Эти задачи нас окружают в быту, на лоне природы, в боевой обстановке, в криминологии, даже в играх при складывании пазлов. Именно имитация подобных ситуаций и нейрофизиологические механизмы, решающие данные проблемы, рассмотрены в рамках данной статьи. Возникновение инсайта в результате когнитивных процессов, обеспечивающих понимание ассоциативно и логически связанных, но разрозненных во времени явлений, вероятно, использует аналогичные механизмы, но в данной статье нами не рассматривается.

Анализ существующих проблем в экспериментальном изучении инсайта дан в прошлогоднем обширном обзоре, в этом же обзоре можно ознакомиться и с современными определениями инсайта [25].

Мы предполагаем, что существует область, в которой инсайт поддается изучению и даже имитации в устройствах обработки изображений. Он сопоставим с пороговым значением распознавания неполного фрагментированного изображения объекта. Для исследования инсайта мы предлагаем измерение порогов распознавания неполных, фрагментированных фигур. Метод измерения порогов распознавания

фрагментированных контурных фигур заключается в следующем: испытуемому показывают постепенно, по частям контурное изображение объектов, часто встречающихся в повседневной жизни. Постепенное нарастание числа фрагментов, инструкция распознать объект, знание алфавита стимулов, все это создает условия «погружения» в задачу вызова инсайта. Вначале малое число фрагментов совершенно не позволяет восстановить образ, но есть порог, при котором возникает внезапное озарение – инсайт, и из разрозненных частей изображения мгновенно мысленно строится целостный образ. Проверка этого конкретного предположения и явилось целью данной работы. В более общем виде цель наших исследований – поиск и изучение условий, при которых возникновение инсайта возможно исследовать экспериментально, а также анализ нейрофизиологических механизмов, которые могут обеспечить возникновение состояния инсайта у человека.

Процедура эксперимента и выборка

Для исследования порогов восприятия фрагментированных фигур мы применяли различные методы [7, 8, 10, 18]. Чаще всего Голлин-тест. Голлин-тест заключается в предъявлении контурных изображений различной степени фрагментации и в измерении порогового значения фрагментации, при котором происходит распознавание формы тестовой фигуры. На рисунке 1 показаны этапы построения фрагментированных тестовых изображений в Голлин-тесте, по методу, созданному в лаборатории физиологии зрения Института физиологии им. И.П. Павлова РАН Сергеем Вадимовичем Прониным [10, 14, 17, 18, 19, 21, 29].

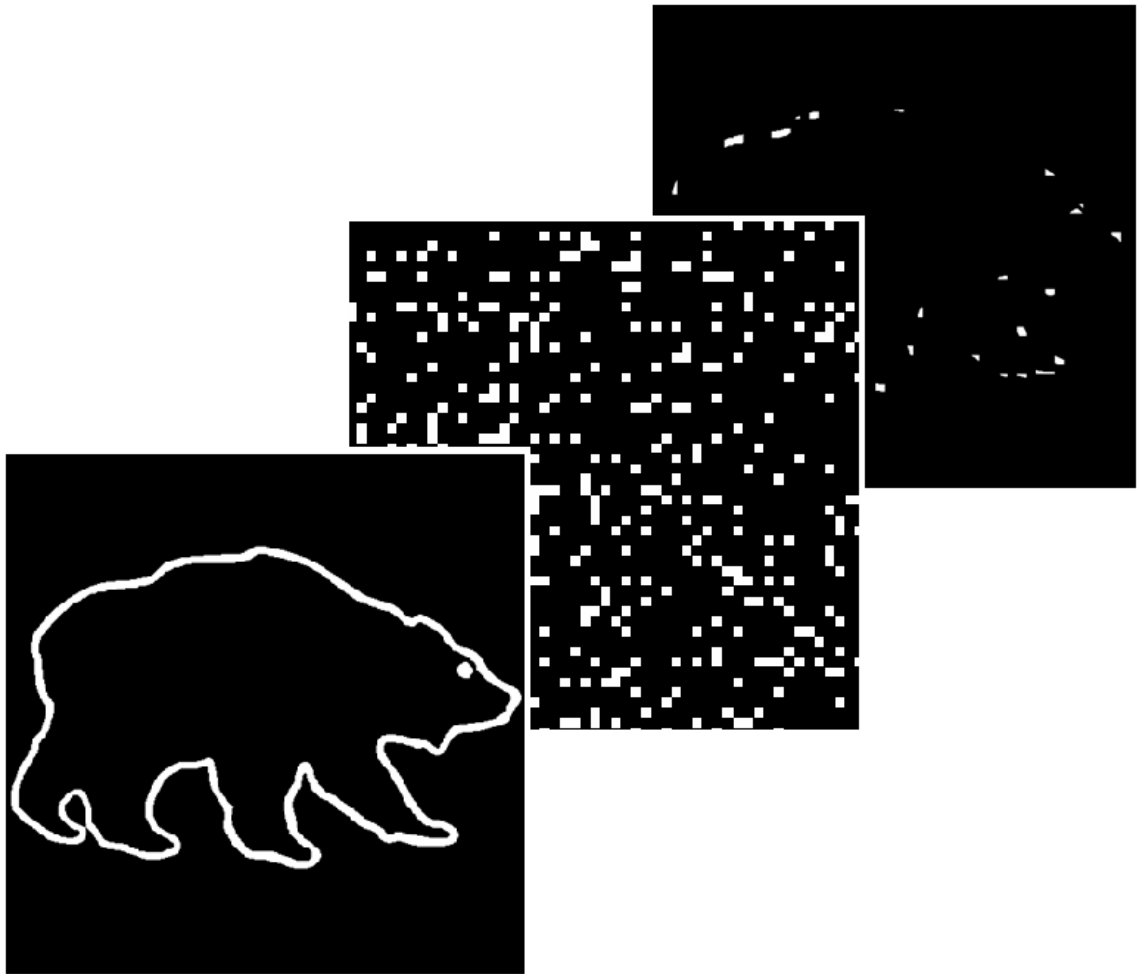


Рисунок 1 – Принцип формирования неполных контурных фигур (исходная фигура, маска, фрагментированная фигура). Изменение статистических характеристик маски меняет количество видимых фрагментов контура на дисплее

В традиционном Голлин-тесте происходит «нарастание» числа фрагментов контура по мере предъявления стимула. В его основе лежит общеизвестный метод пределов [1]. При измерении порогов методом пределов фрагменты изображения предъявляют в сериях с инкрементным шагом; с каждым последующим шагом увеличивается полнота представления контура. Исходно Голлин-тест был широко использован в клинических исследованиях нарушений памяти [9, 10], но именно этот тест представляется нам методически удобным приемом для исследований алгоритмов и механизмов распознавания зрительных образов. Благодаря точности, простоте, удобству и надежности компьютеризированной версии Голлин-тест вошел в Бирмингемскую «батарею когнитивных тестов».

Компьютеризированные версии позволили применить широкий диапазон вербального и невербального материала для использования в качестве тестовых стимулов в психологических и клинических исследованиях [2, 31, 32].

Помимо традиционного Голлин-теста, в котором фрагменты появлялись в квадратных окнах с резкими краями, мы применили тест измерения порогов с использованием окон, сформированных с помощью вейвлетных преобразований. Вейвлетное преобразование позволяет поэлементно вводить изображения любой сложности от контурных до полутоновых [11, 18].

Так как установлена зависимость порогов распознавания Голлин-теста от физического, эмоционального состояния и от возраста испытуемых [6, 17], мы соответственно и проводили отбор испытуемых. Выборка испытуемых состояла из 27 молодых людей (студентов) в возрасте от 18 до 24 лет. Наши испытуемые были в спокойном эмоциональном состоянии и физически здоровые.

Результаты

На первом этапе измерение условий возникновения инсайта как порога возникновения целостного образа при наблюдении контурных неполных фигур с разным числом разрозненных фрагментов (обеспечивающих разный процент заполнения контура) мы проводили с помощью теперь традиционной методики Голлин-теста созданной С.В. Прониным в Институте физиологии им. И.И. Павлова РАН. Измерения полного набора стимулов выполнялись четыре дня подряд. За четыре дня испытуемый выучивал алфавит (набор) стимулов, несмотря на то, что в нашем наборе было отобрано 72 стимула.

Рассмотрим средние значения проведенных измерений при наблюдении алфавита стимулов, разработанных В.Н. Чихманом в Институте физиологии им. И.П. Павлова РАН (таблица 1).

Таблица 1 – средние значения и среднеквадратические отклонения измерений при наблюдении испытуемыми алфавита стимулов

День измерений	Среднее значение и среднеквадратическое отклонение (% длины предъявленного контура)
первый	25 ± 10
второй	12 ± 5
третий	9 ± 5
четвертый	8 ± 4

Из полученных данных видно, что у здоровых наблюдателей в первый день пороги самые высокие, затем они снижаются. Почти аналогичные данные получаются тогда, когда повторные замеры делаются не через сутки, а больше. Например, через несколько дней или недель. Или, наоборот, если проводить замеры несколько раз в течение одного дня. Оптимальные условия проведения измерений – раз в сутки, четверо суток подряд. Пороговые значения для распознавания фрагментированных контуров изображений объектов снижаются. В рамках терминологии данной статьи – снижается пороговое значение представленной величины контура для возникновения инсайта. Важно отметить, что первое предъявление для внезапного восприятия объекта – возникновения инсайта – возникает в тех условиях, когда последовательное наращивание контура случайно появляющимися отдельными фрагментами достигает приблизительно 20% контура. Этот эффект можно получить и в других экспериментальных процедурах, например, при предъявлении фрагментированных изображений при вейвлетной фрагментации полутоновых изображений.

Для измерения порогов распознавания были проведены исследования направления взора при последовательном нарастании контура. Напомним, что каждый последующий дополнительный фрагмент появлялся на экране

случайно. Испытуемый не знал, где будет последующее приращение контура. Контроль движений глаз мы проводили, так как не знали, куда испытуемый направляет взор при решении задачи распознавания фрагментированных изображений. Эти измерения были проведены совместно с С.В. Прониным, А.К. Хараузовым, О.А. Вахрамеевой. Мы повторили эти ранее неопубликованные исследования и получили аналогичные результаты (рисунок 2)¹.

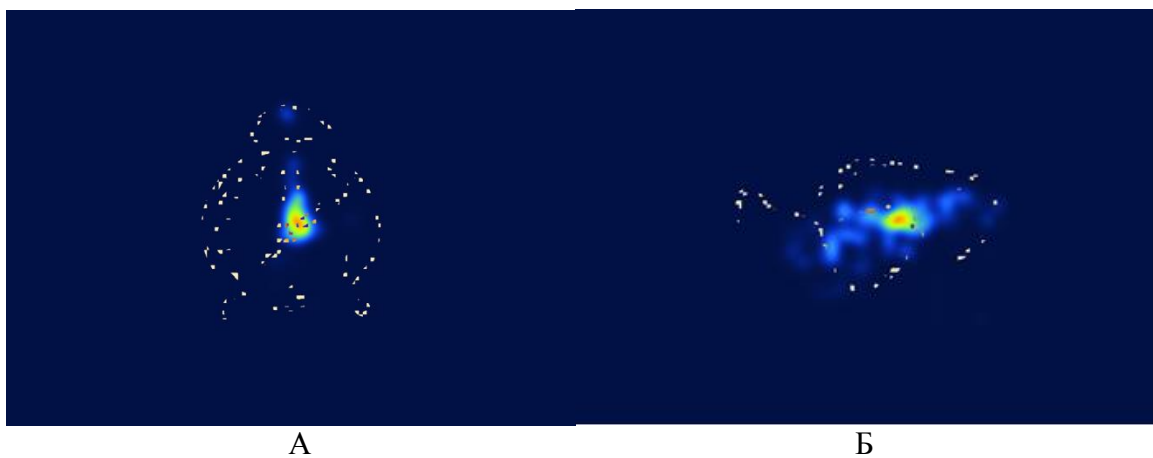


Рисунок 2 – Усредненное значение фиксации взора при Голлин-тесте от момента начала предъявления первого одного фрагмента до того количества фрагментов контура, при котором происходит «озарение» (инсайт) – будильник (А) и очки (Б) осознаются. Иными словами, достигается порог распознавания целостной фигуры, мысленно составленной из набора отдельных фрагментов. Показано усредненное значение положений фиксации взора от начала показа до инсайта и момента принятия решения

Оказалось, что взор остается в предполагаемом центре фигуры: он не мечется вслед за случайно появляющимися фрагментами контура. Цель подобного поведения не только экономия времени и сил, но и расчет центра тяжести фигуры. Центр фигуры можно приблизительно оценить сразу после появления первых нескольких случайно расположенных фрагментов.

По нашим предварительным данным в момент возникновения инсайта происходит изменение частоты колебаний взора, эти данные коррелируют с

¹ Публично результаты мы демонстрировали неоднократно, например, 10 ноября 2010 года на конференции по экспериментальной психологии в Москве, организованной В.А. Барабанщиковым.

изменением частоты альфа и гамма ритмов ЭЭГ. Изменение ритмов ЭЭГ совпадает с литературными данными [25].

Обсуждение

В психологии прошло уже почти 90 лет с тех пор, как были открыты принципы гештальта, правила построения «хорошей» фигуры из фрагментов (симметрия, близость фрагментов, легкое продолжение с одного фрагмента на другой, возможность мысленного завершения контура и т.д.), и было введено понятие «ассоциативное поле». Эти интуитивные правила мысленного объединения отдельных фрагментов в целостный образ не объясняют механизмы организации восприятия целостной фигуры. Решение данной задачи является ключевой в распознавании образов человеком и машиной. Поэтому разработанные в гештальт-психологии правила было бы интересно связать с результатами нейрофизиологических исследований. В данной работе мы решали один частный, но ключевой вопрос – какие условия способствуют возникновению инсайта как порогового явления, и какие нейрофизиологические механизмы облегчают достижение порога.

Есть две нейрофизиологические модели ассоциативного поля, обеспечивающего работу правил «хорошей фигуры». Согласно первой модели, объединение происходит путем использования дальних боковых «горизонтальных» межнейронных взаимосвязей. Согласно второй модели, объединение происходит на следующем уровне. Рецептивные поля нейронов следующего уровня больше рецептивных полей нейронов предыдущего уровня. Задача больших рецептивных полей и заключается в построении целостного описания.

Справедливости ради надо отметить, что обе модели включены в современное, расширенное понятие «рецептивного поля». Классический термин дополнен тем, что рецептивное поле данного конкретного нейрона зрительной системы представляет собой зависимое от времени, сложное

сочетание прямых (от входных каскадов – рецепторов), обратных (от высших отделов) и горизонтальных (от соседей с одинаковыми или оппонентными свойствами) связей.

Горизонтальные взаимодействия между нейронами с одинаковыми свойствами для объяснения гештальт-правила – организации «хорошего продолжения» – применил Дэвид Филд с соавторами [22, 26, 27]. Они промоделировали возможный механизм интеграции фрагментов в единую контурную линию. Они предположили, что эти горизонтальные связи нейронной сети и есть нейрофизиологический механизм инсайта. Однако, все же вероятнее использование обеих моделей: как механизма горизонтальных связей, так и интегратора следующего уровня. Восприятие фигуры – это не одно и то же, что и восприятие линии. Поэтому мы предложили известный Голлин-тест для измерения порогов распознавания неполных контурных фигур в единый образ. Голлин-тест может служить как наглядной демонстрацией инсайта, так и инструментом для его измерения.

Нейроны в зрительной коре организованы в модули зрительной коры, которые выделяют ориентацию, пространственную частоту, размер. На основании нейрофизиологических исследований уже давно построены кортикоморфные модели, которые позволяют отделить одну текстуру от другой [20]. Результаты нейрофизиологических исследований показали, что дальние соединения обеспечивают, в первую очередь, взаимодействие колонок, которые имеют схожее предпочтение ориентаций. Меченые аксоны простираются на большее расстояние вдоль оси рецептивного поля, чем поперек. Это согласовано с психофизическими результатами, которые демонстрируют намного лучшую группировку, когда элементы выровнены вдоль оси, чем тогда, когда они перпендикулярны этой оси. В то же время, оценка ориентации отрезка линии повышается за счет бокового оппонентного торможения, максимум которого именно перпендикулярен оси рецептивного поля [12].

Психофизические и нейрофизиологические исследования механизмов, обеспечивающих выполнение правил группировки, проведены Дэвидом Филдом и его соавторами. На первом этапе работы были определены типичные виды контуров, которые присутствуют в изображениях окружающей среды. Оказалось, что, у зрительной системы есть эффективные элементы, обеспечивающие выделение контуров, типичных для натуральных сцен. Благодаря им промоделирован механизм заполнения утраченных фрагментов контура. Проведена взаимосвязь настройки нейронов первичной зрительной коры, группировки клеток с общими свойствами, облегчающими и тормозными оппонентными связями между кортикальными модулями. Изначально считалось, что, когда свойства фона неизменны, глобальная структура контура определяется его выпуклостью. В частности, предполагалось, что замкнутые контуры необходимы для получения синергетического процесса, что повышает эффект выделения из фона замкнутого контура по сравнению с незамкнутым. Эффекты латерального пространственного взаимодействия были получены в экспериментах по измерению пороговых контрастов, в которых чувствительность к тест-стимулам определялась наличием боковых раздражителей. Трудность в применении этого подхода для понимания выделения контуров заключается в том, что контур любого объекта сложный. Горизонтальные связи не только взаимно усиливающие, они еще и оппонентные [12]. Но главное – то, что остается открытой возможность того, что большие рецептивные поля могут решить задачу интеграции тестовых элементов предыдущего уровня в непрерывный контур. Клетки высокого уровня зрительной системы в претриарной коре обеспечивают суммирование сигнала в пределах одного рецептивного поля от клетки или популяции клеток с аналогичными свойствами предыдущего уровня. Горизонтальные связи лишь помогают выделению сигнала на предыдущем уровне, чтобы на более высоком уровне удалось реконструировать контур. Рецептивные поля, организованные в

нейронные сети дают оценку статистических свойств изображения. И.И. Цуккерман в 60-е годы показал взаимосвязь статистических свойств изображений окружающего мира с психофизическими закономерностями восприятия и работой нейронов разных уровней зрительной системы [9]. При распознавании неполных изображений мозг рассчитывает статистику распределения пропущенных фрагментов. Мы назвали этот процесс расчетом неосознаваемой маски [10, 19]. Решающим этапом распознавания формы в том числе неполных изображений является обработка информации в претриарной и нижневисочной коре [12, 20].

Один из этих «высших» уровней зрительной системы представлен в известном обзоре исследований механизмов инсайта [25]. Авторы свели нейронные механизмы инсайта к деятельности маленького участка височной коры. В работе Хараузова и соавторов, направленной на изучение механизма поиска объектов и «слепоты» по невниманию, с нашей точки зрения, показана более реалистичная нейронная сеть, которая обеспечивает восприятие осознанного и неосознанного объединения фрагментов в единое целое [8]. Эти данные можно интерпретировать как непосредственное доказательство деятельности нейронной сети в момент инсайта.

«Высшие» уровни зрительной системы, и даже принятие решений – не конец обработки информации в мозге. Существует система каналов быстрой передачи сигнала «снизу вверх» – от первичных к высшим уровням – вплоть до этапа осознанного принятия решения, до уровня возникновения инсайта. В зависимости от цели и от временных возможностей, высшие отделы (осознанно или подсознательно) получают доступ к «низшим» уровням в «обратной иерархии» взаимосвязей [16, 23]. Они дают запрос, чтобы получить более подробную информацию, которая до нужных пор хранится в оперативной и в иконической памяти. Представления о доступе к оперативной информации подробно рассмотрены в задачах сравнения характеристик двух объектов [26, 27]. Подробное восприятие деталей также

служит для подтверждения правильности принятия решения или вызова исходного полного описания для дополнительного выбора необходимой информации. Сознательное восприятие связано с выбором и, следовательно, с обратной иерархией внутрисистемных связей.

Восходящая иерархия передачи сигнала в зрительной системе обычно отождествляется с полосовой пространственно-частотной фильтрацией, затем подключается фильтрация согласованная (память) и, наконец, – принятие решения. Согласованный фильтр обеспечивает сравнение описания наблюдаемого и хранящегося в памяти объекта [3, 4, 5, 30]. Операцию сравнения обеспечивают обширные нейронные структуры. Из памяти выбирается инвариантное изображение объекта и описание конкретного объекта данного класса, например, лица. Наличие согласованного фильтра, выделяющего лицо, позволяет нам в хаотических случайных структурах (листве, камнях) и даже в белом шуме видеть фигуру, лицо. В естественных условиях наблюдения «ошибочное» восприятие лица в неопределенных структурах, не содержащих изображения лица (назовем его «ложный инсайт»), имеет важное экологическое значение. Дело в том, что при плохой видимости в ситуациях, когда возможна встреча с врагом, «ложная тревога» намного предпочтительнее, чем позднее распознавание реальной опасности [11]. На рисунке 3 показана модель обнаружения сигнала, предложенная Н.Н. Красильниковым и облегчающая понимание процесса обработки фрагментированного сигнала и возникновения инсайта.

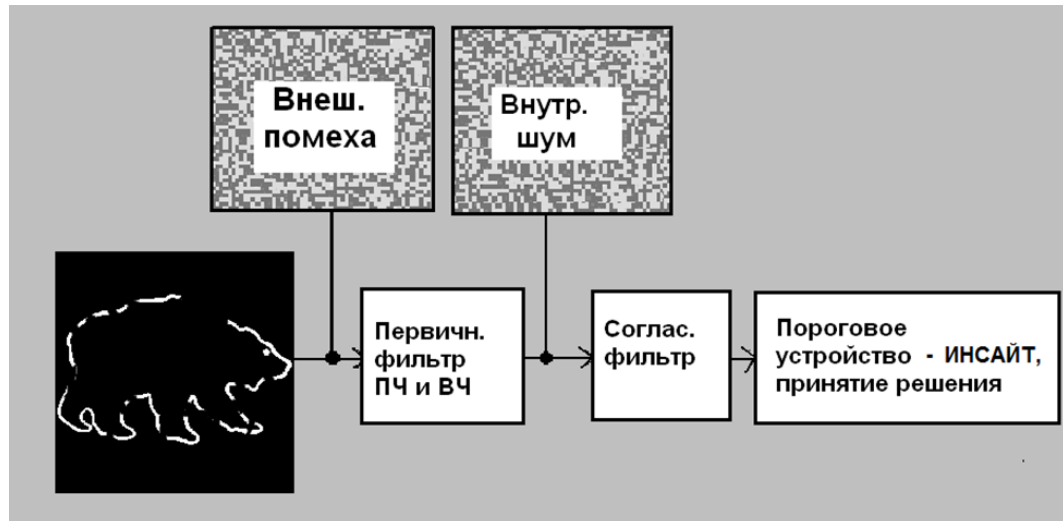


Рисунок 3 – Модель согласованной фильтрации [3, 4, 5] применительно к возникновению инсайта

К 1959 году Н.Н. Красильников разработал модель согласованной фильтрации в зрительной системе [см. обзоры 3,4,5]. Эта модель известна в психологии по работам Таннера и Светса, выполненных немного позднее, и, вероятно, независимо. Данная модель позволяет частично понять эффект инсайта. Согласно модели Н.Н. Красильникова вначале происходит первичная фильтрация. Когда выход первичных фильтров достигает порога, начинает срабатывать согласованный фильтр. Согласованный фильтр использует механизм памяти и для понимания нового явления нам нужна ассоциация, некая аналогия с известным объектом или явлением. Как показали наши данные, для срабатывания согласованного фильтра достаточно при первом предъявлении контура всего 20% его длины. Дальнейшее обучение работе с программой эксперимента и выучивание алфавита стимулов может при повторных предъявлениях уменьшить эту величину до 5%. Таким образом, возникновение инсайта в мозге человека, возможно, и проявляется при минимальных условиях, что соответствует общему принципу наименьшего действия, присущего всем явлениям в природе. Принцип наименьшего действия открыт вначале в механике и в оптике Пьером Ферма в 1662 году, а затем Леонардом Эйлером и Пьер Луи

де Мопертюи в 1744 году [33]. Оказалось, что принцип присущ и основным процессам высшей нервной деятельности [13]. В несколько искаженном виде принцип использован в психологии и в менеджменте, и получил название принцип Парето [34].

Движения глаз давно привлекали внимание исследователей инсайта [24]. Полученные нами данные подтверждают, что это важнейший этап обработки информации об изображении и позволяет рассчитать центр тяжести фигуры, поместить там фовеолу, что обеспечивает стандартизацию условий наблюдения фигуры равной или значительно превышающей фовеолу для распознавания объекта, а в данном контексте возникновения инсайта. Подробнее физический смысл экономного движения глаз мы рассмотрим в статье, представленной в «Оптический журнал» №10 (2015). Здесь мы только укажем, что человеку легче восстановить фрагментированное изображение, если его центр совпадает с центром фовеа.

Заключение

В ходе проведенного эксперимента получены следующие результаты:

- 1) инсайт отождествлен с порогом распознавания неполных изображений;
- 2) предложен метод измерения инсайта – известный в когнитивной и медицинской психологии тест распознавания неполных изображений.

В заключение напомним, что деятельность человека обычно является целенаправленной и, в подавляющем большинстве случаев, является эвристической. Формальные правила организации действий почти всегда неизвестны. Хотя можно предположить, что деятельность человека стремится к минимизации. В данной работе нами был выбран метод оценки ключевой познавательной деятельности в ее наиболее ярком проявлении – состоянии озарения – инсайта. Оказалось, что инсайт при восприятии фрагментированных изображений Голлин-теста возможен (при первом

предъявлении) всего при 20% контура. Этот полученный результат мы ассоциируем с принципом Парето.

Модели горизонтального взаимодействия и «большого рецептивного поля» сами по себе не позволяют объяснить возникновение эффекта схватывания отдельных фрагментов изображения в единое целое, в гештальт, в целостный образ в результате «озарения». Проведенные в последнее время нейрофизиологические исследования с помощью функциональной магнитно-резонансной томографии показывают принципиальное различие в активации крупномасштабных нейронных сетей, захватывающих различные области головного мозга при подпороговой и при пороговой активации [8]. Эти нейрофизиологические исследования, хотя и были направлены на решение другой задачи, а именно изучение избирательного внимания, с нашей точки зрения, наглядно демонстрируют роль обширных нейронных сетей, участвующих в возникновении инсайта. Кроме того эти нейрофизиологические данные позволяют предположить, что окружающий контекст играет решающую роль в определении отклика нейронной сети [8].

В проведенной нами работе мы рассмотрели один конкретный пример взаимодействия краев контура края и их роль в интеграции контуров. В данной работе нами были согласованы психофизические, физиологические и анатомические результаты исследований, с целью объяснить эффекты объединения фрагментов и возникновение инсайта. Контурные и текстуры должны быть интегрированы на какой-то нейронный уровень, чтобы позволить объекту быть представленным как единое целое. Интеграция зрительной информации происходит не только благодаря горизонтальным связям между модулями первичной зрительной коры, важно подключение других областей мозга с большими рецептивными полями.

Нам удалось продемонстрировать, что возникновение инсайта – это достижение порогового значения формирования целостного образа при восприятии фрагментированного изображения. Важность этого эффекта в

том, что он определяет границу между наблюдаемым хаосом разрозненных фрагментов и моментом осознания организации на пороге хаоса порядка, в момент достижения пороговой величины числа фрагментов, при котором их оказывается достаточно для распознавания изображенного из отдельных фрагментов объекта, т.е. момент возникновения инсайта.

Список использованных источников

1. Бардин К.В. Проблема порогов чувствительности и психофизические методы. М.: Наука, 1976.
2. Дешкович А.А., Меркульев А.В., Чихман В.Н., Шелепин Ю.Е. Восприятие фрагментированных изображений и диагностика поражений зрительной системы // Труды конференции «Боевые повреждения органа зрения». СПб.: Изд-во ВМА, 2003. С. 161.
3. Красильников Н.Н. Передача, прием и восприятие изображений. Радио и связь, М., 1986.
4. Красильников Н.Н., Шелепин Ю.Е. Функциональная модель зрения // Оптический журнал. 1997. Т. 64. № 2. С. 72-82.
5. Красильников Н.Н., Шелепин Ю.Е., Красильникова О.И. Фильтрация в зрительной системе человека в условиях порогового наблюдения // Оптический журнал. 1999. Т. 66. № 1. С.5-14.
6. Лавров В.В., Рудинский А.В. Распознавание фрагментарных изображений // Сенсорные системы. 2004. Т. 4. С. 317-324.
7. Павлов Н.Н., Коскин С.А., Шелепин Ю.Е. Влияние пространственной дискретизации и фильтрации элементов изображений на возможность объединения их в образ // Сенсорные системы. 1989. Т. 3. № 4. С. 417-422.
8. Хараузов А.К., Васильев П.П., Соколов А.В., Шелепин Ю.Е., Кувалдина М.Б., Борачук О.В., Фокин В.А., Пронин С.В. Восприятие изображений в задачах зрительного поиска в условиях динамической помехи // Оптический журнал. № 5, Т. 82. 2015. С. 42-55.
9. Цуккерман И.В. О согласованности пространственно-частотных фильтров зрительного анализатора со статистикой изображений // Биофизика. 1978. Т. 23. № 6. С. 1108-1109.

10. Шелепин Ю.Е. Восприятие фрагментированных изображений // Организация и пластичность коры больших полушарий головного мозга. НИИ мозга РАМН. М., 2001. С. 103.
11. Шелепин Ю.Е., Борачук О.В., Пронин С.В., Хараузов А.К., Васильев П.П., Фокин В.А. Лицо и невербальные средства коммуникации. Петербургский психологический журнал. № 9, 2014. ISSN: 2225-7527. URL: <http://ojs.spbu.ru/index.php/psy/article/view/67>
12. Шелепин Ю.Е., Колесникова Л.Н., Левкович Ю.И. Визоконтрастометрия. Л., Наука, 1986, 105 с.
13. Шелепин Ю.Е., Красильников Н.Н. Принцип наименьшего действия, физиология зрения и условно-рефлекторная теория // Рос.физиол. журн. 2003. Т.89. № 6. С. 725-730.
14. Шелепин Ю.Е., Чихман В.Н., Хараузов А.К., Бондарко В.М., Вахрамеева О.А. Восприятие фрагментированных изображений // Рос.физиол. журн. им. И.М. Сеченова. 2004. Т. 90. № 8. С. 355.
15. Шелепин Ю.Е., Чихман В.Н., Фореман Н. Анализ исследований восприятия фрагментированных изображений: целостное восприятие и восприятие по локальным признакам // Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова. 2008. Т. 94. № 7. С. 758-776.
16. Ahissar & Hochstein (1997) Task Difficulty and the Specificity of Perceptual Learning, Nature, 387: 401-6.
17. Chernova N.D., Muravyova S., Shelepin Y., Foreman N., Tadtaeva Z., Chihman V., Pronin S., 1999, "Gollin test on noisy backgrounds" Perception 28, Suppl. Pp.77-78.
18. Chikhman V., Shelepin Y., Pronin S. Experimental study of invariant perception of wavelet images// J. Opt. Technol. 78 (12), December 2011.
19. Chikhman V., Shelepin Y., Foreman N., Merkuljev A., Pronin S., "Incomplete figure perception and invisible masking". Perception, vol. 35 (№ 11), pp. 1441-1457, 2006.

20. Glezer V.D. Vision and Mind: Modeling Mental Functions, 1995. (Глезер В.Д. Зрение и мышление. Л., Наука. 1995).
21. Foreman N., Hemmings R., "The Gollin incomplete figures test: a flexible, computerised version". Perception 1987, V.16 (№4). Pp. 543-548.
22. Hess R., Field D. Integration of contours new insights. Trends in Cognitive Sciences – V. 3, № 12, pp. 480-486, 1999.
23. Hochstein & Ahissar (2002). View from the Top: Hierarchies and Reverse Hierarchies in the Visual System. Neuron 36:791-804.
24. Knoblich G., Öllinger V., Spivay M. "Tracking the eyes to obtain insight into insight problem solving", chapter 15 in the book "Cognitive processes in eye guidance". Edit by Geoffrey Underwood. Oxford University press. Oxford, UK, 2005, pp. 355-375.
25. Kounios J., Beeman M. The Cognitive Neuroscience of Insight. Annu. Rev. Psychol. 2014. 65:71-93.
26. Olshausen B.A., Field D.J. Emergence of simple-cell receptive field properties by learning a sparse code for natural images // Nature. 1996. V. 381. P. 607-609.
27. Olshausen B.A., Field D.J. Sparse coding of sensory inputs // Current Opinion in Neurobiology 2004. V.14. P. 481-487.
28. Patterson M.B., Mack J.L., Schnell A.H. Performance of elderly and young normal on the Gollin Incomplete Pictures Test // Perceptual and Motor Skills. 1999. V. 89. P. 663-664.
29. Shelepin Y.E., Pavlov N.N. Spatial discreteness, image filtration, and Gestaltconstruction // Perception. Suppl. 1989. V. 12. № 4. P. 537.
30. Singh M., Fulvio J. Bayesian contour extrapolation: Geometric determinations of good continuation // Vision Res. 2007. V. 47. P. 783-798.
31. Warrington E.K. Neuropsychological studies of object identification. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. 1982. V. 298. P. 15-33.

32. Warrington E., Weiskrantz L. New method of testing long-term retention with special reference to amnesic patients // Nature. 1968. V. 217. P. 972-974
33. URL: wikipedia.org/wiki/Principle_of_least_action
34. URL: wikipedia.org/wiki/Pareto_principle