

Внутри- и межполушарные информационные взаимодействия в зрительной системе человека в норме и при дислексии

О.В.Левашов

*МАТИ, Москва, 105077, а/я 163, Россия
e-mail:olevashov@mail.ru*

Поступила в редколлегию 18.01.2002

Аннотация—В работе предлагается функциональная модель обработки и передачи информации в левом и правом полушарии мозга и взаимодействия между ними в процессе зрительного анализа и узнавания сложных пространственных сцен.

1. ВВЕДЕНИЕ

Мозг человека — наиболее сложная из известных систем обработки, анализа и хранения информации. Необходимость изучения и моделирования основных его функций диктуется не только медицинскими соображениями, но и потребностями робототехники. Наблюдаемое в клинике очаговых поражений мозга избирательное выпадение тех или иных функций указывает на факт сложной блочной иерархической организации мозга. Однако до сих пор нет сколько-нибудь полной модели функциональной организации подсистем и блоков мозга при решении основных задач, связанных с приемом и переработкой информации. Наличие такой модели позволило бы облегчить решение целого ряда конкретных задач, в частности коррекции нарушений процессов обучения у детей. Дело в том, что в настоящее время все больше внимания привлекает проблема дислексии (Д), определяемая как принципиальная трудность овладения процессом чтения у некоторых детей. Среди них много леворуких. Как организован мозг у леворуких по сравнению с праворукими не известно. В данной работе предложена модель внутри- и межполушарного взаимодействия при зрительном восприятии и узнавании и следствия из модели, позволяющие по новому взглянуть на проблему дислексии. Описаны также результаты психофизических экспериментов, подтверждающие справедливость данной модели.

2. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ УСТРОЙСТВЕ ЗРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Принято выделять 3 уровня переработки информации в зрении — подкорковый (сетчатка глаза и подкорковые ядра), первичный корковый (17, 18 и 19 поля коры) и высший корковый уровень — теменные и височные доли коры полушарий правого и левого полушарий (ПШ).

Сетчатка. Считается, что в сетчатке происходят процесс улучшения входного изображения (Из) и приведение его к виду, удобному для анализа на следующих уровнях. О сложности обработки зрительной информации на уровне сетчатки свидетельствует хотя бы тот факт, что количество выходящих из сетчатки нервных волокон (примерно миллион волокон в зрительном тракте) на два порядка меньше числа фоторецепторов (палочек и колбочек). Это означает сжатие информации при обработке в сетчатке примерно в 100 раз.

Первичные зоны коры ПШ мозга. Если говорить о зрительных структурах мозга как о некотором параллельном супер-компьютере, то элементной базой такого компьютера будут отдельные

нейроны, имеющие так называемые рецептивные поля (РП). РП — это некоторая функциональная единица, имеющая вид иерархической нейронной сети, выходом которой является данный нейрон, а входом — компактное множество фоторецепторов на сетчатке, обычно круглой формы. В первичных зонах коры в виде нескольких параллельных слоев расположены нейроны с РП, настроенными на узкие области поля зрения (обычно соседние нейроны имеют соседствующие РП). Каждый нейрон вычисляет некоторую функцию, например, одни выделяют на входном Из отрезки прямых, другие — углы и т.д. В целом можно сказать, что с точки зрения обработки Из каждое РП со своим нейроном выполняет операцию свертки. В результате на следующий уровень поступает преобразованное Из с выделенными полезными признаками. На уровне этих зон коры все эти признаки можно определить как локальные. Интегральные признаки, как полагают, выделяются на более высоких уровнях.

Высшие уровни обработки в коре. Считается, что на этих уровнях завершается процесс обработки, позволяющий анализировать, запоминать и распознавать окружающие предметы и пространство. Важно отметить, что на этом уровне отмечаются существенные межполушарные различия. Так, обычно височные доли коры правого ПШ связывают с детальным распознаванием и запоминанием всех визуально воспринимаемых объектов, теменно-затылочные области правого ПШ — с пространственным анализом, стереозрением, с целостным восприятием окружающего мира. Соответствующие зоны левого ПШ связывают с локальным, кусочным анализом сложных сцен и классификацией наиболее часто встречающихся объектов. Особое место в левом ПШ занимают структуры узнавания букв и слов, что необходимо при чтении.

Взаимодействие между отдельными блоками в каждом ПШ и между ПШ. Левое и правое ПШ соединены друг с другом мозолистым телом (МТ) — пучком нервных волокон, через который осуществляется обмен информацией между ПШ и взаимодействие ПШ. Выявлено несколько типов взаимодействия ПШ, но наиболее ярко выраженный вид — так называемое реципрокное торможение, когда активность в определенной зоне одного ПШ тормозит активность блоков другого ПШ (симметрично относительно МТ).

О характере взаимодействия между функциональными нейронными блоками в пределах одного ПШ известно мало. Известно лишь, что:

1. Существует большое число отдельных блоков, на входе которых сохраняется предварительно обработанное Из, получаемое из первичных зон коры (даже у кошки таких областей более 15), которые, возможно, работают параллельно как независимые “процессорные элементы”.

2. Имеется два анатомически и функционально разделенных канала — фазический и тонический (ФК) и (ТК). ФК — быстрый, но грубый, передает для последующей обработки ахроматическое Из всего поля зрения и сведения о движении в поле зрения. ТК — медленный, сохраняет информацию о цвете, передает для обработки детальное Из центральной части поля зрения. Тестируя оба эти канала разными стимулами (цветными и черно-белыми, постоянными или мелькающими и т.п.) психофизики установили, что между каналами может возникнуть торможение (гл. образом, со стороны ФК). Этот факт может означать, что между блоками в одном ПШ могут возникать своего рода конфликты и взаимная блокировка. Более подробно сведения о межполушарных отличиях в мозге человека можно найти в работах [1] и [2].

Таким образом, зрительную систему человека можно условно описать как сложный многопроцессорный компьютер с наличием как последовательной, так и параллельной обработки, отдельные функциональные блоки которого особым образом распределены в левом и правом ПШ, причем между ними могут осуществляться разные взаимодействия, в том числе и конфликтные.

3. МОДЕЛЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ ВНУТРИ И МЕЖДУ ПОЛУШАРИЯМИ КОРЫ ГОЛОВНОГО МОЗГА

Согласно предлагаемой мною модели (см. также [1]) левое и правое ПШ производят совершенно разные операции над входным Из, помогая друг другу за счет одновременной работы в разных ПШ

разных механизмов и путем обмена результатами обработки. Согласно модели правое ПШ является главным, в нем сосредоточен основной “арсенал” средств анализа.

Правое ПШ решает 3 главные задачи:

1. Выбор во всем поле зрения наиболее “информативных” участков или объектов, переключение зрительного внимания на этот участок, программирование движений глаз на нужное место.
2. Детальный анализ новых объектов и сцен, их запоминание в рабочей памяти и детальное узнавание сложных знакомых объектов (напр. лиц людей).
3. Пространственный анализ, т.е. вычисление расстояний, направлений, размеров и других характеристик предметов, с которыми необходимо взаимодействовать (например, чтобы взять предмет рукой или обойти препятствие).

Левое ПШ решает ряд вспомогательных задач под управлением правого:

1. Анализирует небольшой фрагмент, видимый в центральной части поля зрения после скачка глаз, выделяя его из фона, нормализует его представление в виде инвариантного относительно преобразований сдвига, подобия и поворота (частично), сопоставляет его представление (или описание в виде отличительных признаков) с набором эталонов.
2. Производит предварительную классификацию фрагментов сложных, но ранее виденных объектов, кодирует и передает код опознанного фрагмента или предмета в правое ПШ для дальнейшей детализации.
3. Полностью распознает хорошо знакомые и часто встречающиеся объекты, в частности, буквы, цифры и слова.

Схема взаимодействия ПШ при анализе сложных трехмерных сцен представляется следующей.

1. После предварительной стадии выбора информативного места для анализа на видимой сцене и переводе туда взгляда данный фрагмент сцены (его проекция на сетчатке) попадает в левое ПШ, которое выполняет его схематическое узнавание, инвариантное относительно его пространственных параметров. Информация о распознанном фрагменте (или предмете) передается в правое ПШ через МТ. Одновременно точка фиксации смещается вправо, чтобы проекция анализируемого фрагмента попала в правое ПШ.

2. В правом ПШ сосредоточена основная зрительная память с записанными конкретными “реализациями” каждого класса предметов (т.е. визуальными представлениями видимых ранее человеком представителей данного класса предметов, а также всех их крупных значимых фрагментов, т.е. частей, которые можно обозначить определенным словом). Переданная из левого ПШ информация позволяет сократить поиск в зрительной памяти и активировать набор конкретных реализаций, сходных по форме с анализируемым фрагментом. Поступившая в правое ПШ проекция этого фрагмента сопоставляется с набором активированных “энграмм”.

3. Если рассматриваемый предмет достаточно сложен по форме или еще недостаточно знаком человеку (в его зрительной памяти нет достаточного количества энграмм и не выработаны коды в левом ПШ для описания его частей), то процесс распознавания разворачивается в последовательность движений глаз в те места поля зрения, в которых находятся другие информативные фрагменты объекта. Рано или поздно набирается достаточно информации для того, чтобы окончательно опознать сложный объект, либо для того, чтобы “понять”, какого он вида (например, препятствие, полезный или опасный предмет, новый вариант известного класса и т.д.)

Следствия из предложенной модели взаимодействия ПШ. Сравнение описанных выше гипотетических операций в правом и левом ПШ наводит на мысль, что операции в левом ПШ должны выполняться не очень детально, но быстро, чтобы снабжать новой информацией основной “визуальный процессор” правого ПШ. Отсюда следует, что для левого ПШ, скорее всего, более важна работа фазического канала, а для правого — тонического. Поэтому можно сделать 1-й важный вывод — должна наблюдаться межполушарная асимметрия фазического и тонического каналов (либо асим-

метрия их взаимоотношений), так, в левом ПШ физический канал должен тормозить более слабо выраженный тонический канал, и наоборот.

2-й важный вывод связан с направлением зрительного внимания при осмотре сложных сцен. Указанный выше порядок работы блоков левого и правого ПШ при узнавании (сначала левое ПШ, потом правое) с необходимостью определяет тенденцию осмотра каждого объекта в направлении “слева-направо”, поскольку проекция левого полуполя (всей половины видимого пространства влево от точки фиксации) попадает непосредственно в правое ПШ, а проекция правого полуполя — в левое ПШ. Этот вывод хорошо согласуется с практикой визуальных искусств, где считается, что *внимание человека движется по картине слева направо*. Направление зрительного внимания совпадает с направлением чтения текста в западной культуре и в России. Полученные два следствия будут использованы ниже при рассмотрении проблемы дислексии.

4. ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ЗРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ДИСЛЕКСИИ

Под дислексией (Д) обычно понимают трудность овладения навыком чтения у детей, сопровождающуюся возникновением множества стойких специфических ошибок. Несмотря на усилия большого числа исследователей и педагогов проблема Д еще далека от решения. Однако выявлено большое число фактов, прямо указывающих на характерные нарушения физиологических механизмов обработки зрительной информации на разных уровнях анализа (см. [3]).

Нарушение взаимодействия тонического и физического каналов. Как указывалось выше, в зрительной системе выделяются 2 канала — быстрый, физический канал (Ф-канал) и медленный, тонический (Т-канал). Первый передает грубую, ахроматическую, информацию о движении и мельканиях в поле зрения, второй, очевидно связан с описанием и распознаванием формы и цвета в центральной части поля зрения. По некоторым данным при Д обнаруживается дефицит нейронов, образующих Ф-канал. Очевидно, при этом искажается и взаимодействие между Ф и Т-каналами. Другие, психофизические данные, указывают на то, что люди с Д хуже воспринимают движение и мелькания стимулов, что подтверждает данные о сбое в работе Ф-канала (либо о нарушении соотношения торможения и возбуждения между двумя каналами).

Нарушения зрительной маскировки. Если на экране дисплея испытуемому сначала предъявить одно Из (цель), а потом, через короткое время — другое (маску), — то узнавание первого затрудняется за счет либо стирания из иконической памяти следа первого Из либо за счет “прерывания” обработки первого Из. Это и называют зрительной маскировкой или явлением метаконтраста. Последний термин означает такую ситуацию когда физически и цель и маска могут попадать на разные фоторецепторы (т.е. в соседние участки сетчатки), суть явления от этого не меняется. Экспериментальные данные указывают на ослабление и искажение явления зрительной маскировки и метаконтраста при Д. Эти факты согласуются и с приведенными выше данными о дефиците Ф-канала при Д, поскольку в норме быстрый Ф-канал хорошо реагирует на кратковременную маску и затормаживает более медленно протекающую обработку в Т-канале.

Процесс стирания в иконической памяти следов от предыдущего сетчаточного Из весьма важен для эффективного процесса чтения, поскольку здесь необходимо строгое сканирование текста вдоль строк и множество скачков глаз с перенесением точки фиксации на следующее слово (или букву). Если при Д процесс стирания в иконической памяти нарушен, то новый след накладывается на старый и процесс последовательного узнавания и чтения сильно затрудняется.

Новые данные о нарушении зрительного внимания при дислексии. Мы провели два эксперимента по изучению особенностей зрительного внимания у детей и взрослых. В первой нашей работе студентам худграфа предъявляли набор репродукций с малоизвестных картин, составленный таким образом, что испытуемый должен был выбрать как более эстетическую прямую или инвертированную версию оригинала. Все Из были асимметричными и воспринимались совершенно различно в прямом и в зеркальном варианте. Оказалось, что некоторые испытуемые (примерно 10%) выбира-

ли такие версии картин, которые указывают на предпочтительное направление сканирования у них справа налево. Мы условно назвали таких лиц с инвертированным направлением зрительного внимания “сенсорными левшами”. Дополнительное изучение показало, что среди них примерно половина являются и “моторными левшами”, т.е. предпочитают использовать в своей деятельности левую руку.

Дальнейшие исследования проводились на 30 детях в возрасте 8–10 лет, учащихся школы со специальным логопедическим классом (дислексия и дисграфия). Задачей испытуемого было проследить за быстро движущимся по светодиодной линейке стимулом и распознать его как представителя одного из 8 классов. Стимулы имели вид знаков азбуки Морзе и могли двигаться слева-направо или в обратном направлении. Задача оказалась достаточно трудной даже для контрольной группы испытуемых (дети без дисграфии и дислексии) — примерно лишь 60% детей правильно распознавали движущиеся стимулы. Примерно треть из них лучше распознавали движение в направлении слева-направо, и примерно половина — в направлении справа-налево. Большинство испытуемых с Д и дисграфией плохо различали движущиеся стимулы, а те испытуемые, которые различали, показали лучшие результаты для движения стимулов в направлении справа-налево. Поскольку среди детей с дисграфией и дислексией довольно часто встречаются левши и переученные левши и они, как оказалось, предпочитают зрительное сканирование справа-налево, можно сделать вывод, что затруднения в обучении чтению текста на русском языке (требующем движения глаз слева направо) объясняются в определенной степени тем, что эти лица являются моторными и сенсорными левшами и процесс чтения для них более труден, чем для праворуких. Выше отмечалось, что предложенная модель зрительного узнавания дает нейрологическое объяснение тенденции просматривать зрительные объекты при узнавании в направлении слева-направо. Обратная тенденция, наблюдаемая у значительной части лиц с дислексией и дисграфией может указывать на отличное от нормы перераспределение функциональных блоков по ПШ, при котором нормальное взаимодействие между блоками в правом и левом ПШ затруднено или искажено.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе предложена функциональная модель обработки и передачи информации в левом и правом ПШ мозга и взаимодействия между ними в процессе зрительного анализа и узнавания сложных пространственных сцен. Модель согласуется с известными данными клиники локальных поражений мозга и предсказывает определенные сбои в работе при аномальном перераспределении отдельных блоков в правом и левом ПШ (в частности, у левшей). Полученные нами и другими авторами экспериментальные данные подтверждают возможность таких сбоев в процессе обучения сложному навыку чтения у дислексиков и дисграфиков, среди которых довольно много левшей. Выявлена группа “сенсорных левшей” с преимущественным направлением зрительного внимания справа-налево.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Левашов О.В. *Вычислительные модели сенсорных систем*. М.: ВИНТИ, 1989, 151 с.
2. Спрингер С., Дейч Г. *Левый мозг, правый мозг*. М.: Мир, 1983, 256 с.
3. *Dyslexia; Biology, Cognition and Intervention*. C.Hulme and M.Snowling, Eds. San Diego: Singular Pub. Group, 1997, 288 p.

Статью представил к публикации член редколлегии В.А. Любецкий