

ВОСПРИЯТИЕ И МЕХАНИЗМЫ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Ю. Е. Шелепин*, В. А. Фокин**, А. К. Хараузов*, О. А. Вахрамеева*,
Н. Фореман***, В. Н. Чихман*

* Институт физиологии им. И. П. Павлова РАН; ** Военно-медицинская академия (Санкт-Петербург, Россия), *** Миддлсекский университет (Лондон, Великобритания)
yshelepin@yandex.ru

Представлены результаты экспериментальных исследований зрительного восприятия и принятия решений. Выдвинута гипотеза, согласно которой множественности каналов на входе зрительной системы соответствует конструкция из множественных «центров принятия решений» на «выходе». Рассмотрена возможность существования нескольких параллельно действующих механизмов принятия решений и наличие оппонентных взаимоотношений между ними. Подобная конструкция обеспечивает эффективную работу человека в процессе непрерывной деятельности.

Ключевые слова: зрительное восприятие, принятие решений, функциональная магнитно-резонансная томография, лобная область головного мозга, деятельность человека.

Введение

Механизм принятия решений условно можно полагать «выходом» зрительной системы. В отличие от многоканального входа зрительной системы механизм принятия решений на основе текущей сенсорной информации изучен мало. Обычно предполагают существование единого центра принятия решений, а его деятельность рассматривают в рамках теории статистических решений. Психофизические исследования долгие годы мы проводили именно в рамках этой модели. Понимание механизмов работы конечного звена обработки информации – принятия решения, его структура и локализация, представляет значительный интерес. Поэтому цель представляемой работы – локализация структур, ответственных за «последний» этап обработки зрительной информации, и поиск ответа на вопрос: один или несколько центров принятия решений имеются в головном мозге человека.

Методы исследования

Создан аппаратно-программный комплекс, обеспечивающий проведение психофизических измерений зрительных вызванных потенциалов (ЗВП), пространственного картирования активированных областей мозга методом функциональной магнитно-резонансной томографии (фМРТ).

Аппаратно-программный комплекс включает в себя: графическую станцию, для синтеза тестов и стимуляции, сопряженную с аппаратурой для магнитно-резонансной томографии (1.5 Т МРТ сканер фирмы «Сименс») и энцефалографом фирмы «Мицар» (СПб, Россия). Контроль движений глаз в наших исследованиях обеспечивали устройства фирмы Jan Ober (Poznan, Poland) с частотой дискретизации 1000 Гц. Испытуемому предлагали фиксировать взор в центре экрана. Отклонения от центра матрицы, обычно, не превышали 15 угл. мин.

Магнитно-резонансный томограф обеспечивал быстрое сканирование всего мозга (fast imaging technique – echo planar imaging). Мозг сканировали 36 срезами в пределах матрицы 64×64 пикселей, за 3,7 секунд. Для функциональной магнитно-

резонансной томографии (фМРТ) использовали стандартный метод BOLD (Blood Oxygenation Level Dependent).

Зрительными стимулами служили матрицы, состоящие из решеток Габора различной ориентации. Изображения, образованные из элементов Габора, представляют собой удобный класс стимулов, в котором легко управлять локальными и глобальными признаками. Тестовые изображения – матрицы различались по количеству однонаправленных элементов Габора.

Использовали две тестовые процедуры. В одной испытуемый получал инструкцию пассивно наблюдать стимулы, а в другой – осуществлять активный выбор доминирующей ориентации (вертикальной или горизонтальной) элементов Габора в тестовом изображении. Регистрировали количество правильных ответов и время реакции.

Результаты исследования

Полученные данные были разделены на две группы. Первая – результаты психофизических и электрофизиологических измерений, временные характеристики различных этапов обработки информации в зрительной системе. Вторая группа – результаты психофизических измерений и картирования мозга методом фМРТ.

Анализ зависимости количества правильных ответов и времени реакции от степени упорядоченности стимула показал обычную S-образную зависимость процента правильных ответов от числа упорядоченных элементов в матрице (сложности задачи). Время реакции также зависело от сложности задачи. По данным анализа дорзальных ЗВП (затылочной и теменной области), в задаче активного выбора значимые отличия были обнаружены в диапазоне 200–500 мс после предъявления стимула. Амплитуда компонентов в этом временном диапазоне зависела от степени упорядоченности стимула. По данным анализа фронтальных ЗВП, регистрируемых в центральных и лобных отведениях через 300 мс после показа стимула, не только амплитудные, но и временные характеристики компонентов зависели от сложности задачи. В интервале 500–1000 мс после предъявления стимула в ЗВП регистрировали низкочастотные колебания, имеющие широкое распределение по скальпу. Установлена достоверная корреляция амплитуд и латентностей этих волн со сложностью задач.

Картирование активности мозга методом фМРТ проводили во время пассивного наблюдения стимулов и во время выполнения задачи активного выбора. В «активном» режиме исследования семь испытуемых должны были определить доминирующую ориентацию в матрице, состоящей из 10×10 элементов Габора, и нажать одну из двух кнопок в соответствие с доминирующей ориентацией элементов матрицы. Стимулы отличались сложностью: чем меньше элементов в матрице с одной ориентацией, тем задача для наблюдателя сложнее. В «пассивной» серии исследований семерым наблюдателям также предъявляли простые и сложные матрицы. Испытуемые должны были смотреть на экран, не выполняя никаких действий.

Для статистической обработки данных всей группы испытуемых использовали пакет программного обеспечения SPM5 (<http://www.fil.ion.ucl.ac.uk/spm>). 200 EPI-последовательностей, полученных со сканера в формате DICOM, были конвертированы в формат NiFTI. Чтобы скорректировать движения головы между отдельными сканами на первой стадии обработки, все полученные изображения были сведены к первому, после чего получили усредненное EPI-изображение (realignment). Усреднен-

ное EPI-изображение было нормировано к стандартному EPI-изображению, предоставленному Монреальским неврологическим институтом (MNI-пространство). На заключительной стадии обработки нормированные изображения с размером вокселя $2 \times 2 \times 2$ мм размывались Гауссовой функцией диаметром 8 мм. Эта процедура применялась независимо к данным каждого испытуемого.

После проведенной обработки оценивали контраст для простых задач (А) в сравнении со сложными (В). Визуализация результатов и идентификация активированных областей мозга проводилась с помощью программного обеспечения xjView (SPM5 toolbox).

На второй стадии обработки провели оценку активности относительно целого мозга (whole-brain analysis) методом двухкомпонентного t-теста (two sample t-test) при уровне ($p = 0,01$). По результатам анализа были определены области с максимальным уровнем активации для каждой экспериментальной парадигмы.

После обработки данных фМРТ на виртуальных «срезах» головного мозга живого человека при пассивном наблюдении установлено, что хаотичные матрицы активируют большее число участков коры во внестриарных областях затылочной и частично теменной и височной коры головного мозга человека. Именно внестриарные области осуществляют объединение фрагментированных изображений в единое целое, в образ.

В режиме активного выбора максимумы активности наблюдали в ряде фронтальных областей (поля 9, 10 по Бродману). Более выражено, чем при пассивном наблюдении, видна активность в височных и теменных областях мозга. Височные области (поля 20, 21), левая фузиформная область (поле 36). Теменные области: правое и левое предклинье. Лимбическая система: поясная (24 поле) и парагиппокампальная извилина.

Активное распознавание структуры тестовой матрицы подразумевает принятие решения наблюдателем о доминировании предпочитаемой ориентации в матрице. Именно в этой экспериментальной парадигме видна активность фронтальной и префронтальной коры.

Для установления связей выделенных нами областей фронтальной коры с дорзальными, зрительными областями мы применили новый метод – трактографию проводящих путей в головном мозге живого человека. Предварительные данные позволяют установить, как между различными областями фронтальной коры происходит взаимодействие (между полями 9, 10 и 11) и как области фронтальной коры (поля 9 и 10) связаны со зрительными областями V1, V2, V3, V4, V5 затылочной коры (поля 17, 18, 19 по Бродману), осуществляющими первичную обработку данного типа изображений. Важно отметить, что выделенные нами области фронтальной коры левого и правого полушарий имеют мощные межполушарные связи. Известные «зрительные» области затылочной коры левого и правого полушарий также взаимосвязаны.

Обсуждение

Сравнение зависимости амплитуд и латентных периодов основных волн ЗВП от степени упорядоченности стимула с психофизическими данными, полученными на основе ответов испытуемых, и со статистическими свойствами матриц позволило сделать предположение о том, какие процессы отражают вызванные потенциалы при распознавании наблюдателем данного класса изображений. Так, первые 100

мс после предъявления стимула в затылочной коре происходит описание основных физических характеристик стимула, таких как яркость, контраст, пространственная частота и ее ориентация. В процессе стимуляции эти характеристики стимулов были постоянными и, соответственно, амплитуда ЗВП не изменялась от стимула к стимулу. В диапазоне 200–500 мс, предположительно во фронтальных областях, происходит принятие решения о типе стимула. Наконец, более поздние волны, возникающие через 600–900 мс после предъявления стимула, после принятия решения и после моторного ответа (нажатия кнопки), вероятно, отражают работу гипотетического «компаратора», осуществляющего сравнение принятого решения с фоновым изображением («маской») или с каким-либо иным выбранным наблюдателем или ему навязанным шаблоном или критерием. Компаратор может быть сопоставлен с механизмом обнаружения ошибок (Bechtereva et al., 2005).

Проведенные исследования показали, что принятие решений о форме наших стимулов осуществляют нейронные сети во фронтальной коре. Принятие решений о степени ориентационной упорядоченности элементов матриц происходит в результате перераспределения активности во фронтальной коре. Нам удалось показать, что во фронтальной коре существуют множественные области, участвующие в принятии решений о различных свойствах формы наблюдаемого объекта (Шелепин и др., 2009).

Анализ проведенной работы и сравнение с обширными литературными данными позволяет оценивать пространственно-временную активность мозга в зависимости от смены контекста, изменения экспериментальной ситуации. В задачах выбора, имеющих эмоциональное значение для наблюдателя, показано вовлечение в процесс принятия решений участков вентральной части префронтальной коры. Выбор в задачах, не имеющих эмоциональной окраски, обеспечивают дорзальные и медиальные отделы префронтальной коры (Heerkeren, Marrett, Bandettini, Ungerleider, 2004; Northoff et al., 2004). Мозаичность центров принятия решений предполагает их взаимодействие. В основе взаимодействия заложен принцип оппонентности функциональных областей фронтальной коры. Таким образом, «выход» сенсорных систем многоканальный, что обеспечивает непрерывную деятельность человека в реальных условиях. Методом прижизненной трактографии (Hofer et al., 2010) изучены связи («восходящий путь») выявленных активных областей затылочной коры и областей лобной коры, активируемых при выполнении задач, стоящих перед испытуемым. В зависимости от контекста активируются различные локусы затылочной и различные области фронтальной коры. Прямые и обратные связи позволяют избирательно включать различные каналы в зависимости от решения задачи.

Методом прижизненной трактографии нами показан и обратный «нисходящий» путь от активируемых в наших исследованиях областей фронтальной коры к также активируемым областям затылочной коры. Именно благодаря взаимодействию восходящих и нисходящих сигналов обеспечивается процесс сознательного восприятия и активного выбора. Представляет интерес изучить на основании подобной организации фронтальной коры, как мозг проводит операцию по процессу «multi-criteria decision making (MCDM)» процессу и осуществляет несколько конфликтующих оценок. На уровне математических моделей эффективность MCDM теоретически была показана ранее (Saaty, 2005).

Таким образом, методом фМРТ установлена локализация механизма принятия решений о форме наших изображений. Были локализованы участки фронтальной коры, участвующие в принятии решений о структуре изображения и об ориен-

тационных элементах формы, о пространственной конфигурации изображения объекта на основании ориентационных признаков. Эти зоны частично совпадают с зонами, осуществляющими выбор между разными объектами, однако они смещены в пространстве лобной коры от областей, осуществляющих принятие решений на стимулы, имеющие эмоциональное значение, областей смещенных в лобной коре вентромедиально.

Можно утверждать, что различные задачи вызывают активацию различных паттернов активности взаимодействующих областей фронтальной коры. Вероятно, именно нарушение взаимодействия различных отделов фронтальной коры приводит к нарушению непрерывной сознательной деятельности человека – нарушениям, являющимся критическими, как было показано ранее на примере экстремальных ситуаций (Горбов, Лебедев, 1975).

Литература

- Горбов Ф. Д., Лебедев В. И. Психоневрологические аспекты труда операторов. М.: Медгиз, 1975.
- Шелепин Ю. Е., Фокин В. А., Хараузов А. К., Пронин С. В., Чихман В. Н. Локализация центра принятия решений при восприятии формы зрительных стимулов // Доклады Академии наук. 2009. Т. 429. № 6. С. 835–837.
- Bechtereva N. P., Shemyakina N. V., Starchenko M. G., Danko S. G., Medvedev S. V. Error detection mechanisms of the brain: background and prospects // Int. J. Psychophysiol. 2005. № 58 (2–3). P. 227–234.
- Heerkeren H. R., Marrett S., Bandettini P. A., Ungerleider L. G. A general mechanism for perceptual decision-making in the human brain // Nature. 2004. 431. 7010. P. 859–862.
- Hofer S., Karaus A., Frahm J. Reconstruction and dissection of the entire human visual pathway using diffusion tensor MRI // Front Neuroanat. 2010. P. 4–15.
- Northoff G., Heinzel A., Birmpohl F., Niese R., Pfennig A., Pascual-Leone A., Schlaug G. Reciprocal modulation and attenuation in the prefrontal cortex: an fMRI study on emotional-cognitive interaction // Hum Brain Mapp. 2004. № 21. P. 202–12.
- Saaty T. L. Theory and Applications of the Analytic Network Process. Pittsburgh, Pennsylvania: RWS Publications, 2005.

ИССЛЕДОВАНИЕ УВЕРЕННОСТИ В ПРИНЯТИИ РЕШЕНИЯ

*В. М. Шендяпин**, *И. Г. Скотникова***

* Центр экспериментальной психологии МГППУ (Москва)

** Институт психологии РАН (Москва)

valshend@yandex.ru

Анализируется процесс выполнения пороговых сенсорных задач. Дано краткое описание разработанной модели принятия решения и уверенности в его правильности. Экспериментальное исследование зрительного различения пространственных и временных признаков стимулов подтвердило предсказание модели о большей частоте правильных ответов среди уверенных по сравнению с частотой правильных среди всех ответов. Особенно это проявилось у рефлексивных лиц.

Ключевые слова: моделирование уверенности, принятие решения, сенсорное различение.