

Е.Н. СОКОЛОВ

МОСКВА, МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА, ФАКУЛЬТЕТ ПСИХОЛОГИИ

Стратегия исследований включает выбор цели и средств её достижения. Применительно к психофизиологии речь идет об определении основной задачи исследований и путей её решения. Существует единство относительно того, что задачей психофизиологии является раскрытие физиологических механизмов субъективных процессов, состояний и индивидуальных различий. Вершина, к которой стремится психофизиолог - это выяснение механизмов сознания. Однако единство, достигнутое в плане общей постановки проблемы, отсутствует, когда речь заходит о том, какие именно механизмы имеются в виду. Прослеживая путь развития психофизиологии, можно заметить, как последовательно интерес исследователей смещался к изучению прямых показателей работы мозга. Новые методы исследования (магнитоэнцефалография, позитронно-эмиссионная томография, ядерный магнитный резонанс, а в последнее время оптические методы наряду с совершенствованием многоканальной энцефалографии) открыли путь к изучению участия локальных участков мозга в реализации сложных психических функций. Однако все эти макрореакции не дают ответа на вопрос о том, с помощью каких нейронных механизмов они осуществляются. Проблема регистрации активности отдельных нервных клеток неинвазивными методами у человека остается все еще не решенной. Однако именно вклад отдельных нейронов в реализацию психических процессов составляет их основной физиологический механизм. Можно утверждать, что основной задачей психофизиологии является именно расширение понимания нейронных механизмов восприятия, памяти, обучения, эмоций и мышления.

Регистрация реакций отдельных нервных клеток у человека сейчас не является частью клинической практики. Поэтому психофизиолог вынужден обращаться к изучению нервных клеток у животных. Возникает вопрос, каким образом интерпретировать данные психологии, в частности психофизики, и результаты исследования нервных клеток у животных. Решение этой проблемы лежит в сфере построения моделей. Основной особенностью моделей в психофизиологии является то, что они должны быть построены из нейроподобных элементов и воспроизводить реакции на макро- и микроуровнях. Другими словами - вся модель как целое должна воспроизводить психофизические закономерности, а каждый нейроподобный элемент модели должен соответствовать по своей функции одному из реальных нейронов, участвующих в ее реализации у живого организма. Такой подход накладывает жесткие ограничения на психофизиологические модели (Соколов, Вайткявичус, 1989).

Модель в психофизиологическом исследовании включает несколько функций. С одной стороны это накопитель данных, но одновременно это и средство сжатия информации. С другой стороны модель выполняет функцию рабочей гипотезы, позволяя прогнозировать исходы экспериментов в натуре. Особенностью модели как формы рабочей гипотезы является то, что получаемые на ней предсказания могут быть представлены количественно, что повышает эффективность проведения экспериментов.

Работа с моделью имеет императивную природу. Если предсказания, полученные на модели, не подтверждаются в контрольных экспериментах, то модель трансформируется так, чтобы вся система данных могла быть ею описана. Изменения в модели могут касаться изменения связей между нейроподобными элементами или модификации их базисных свойств. При определении базисных свойств нейроподобных элементов необходимо учитывать молекулярные механизмы реальных нейронов. Затем усовершенствованная модель заново подвергается экспериментальной проверке.

Общий план психофизиологического исследования можно представить циклом, образующим когнитивную спираль ряда последовательных приближений: *человек - нейрон - модель*. В настоящее время, когда накоплен обширный экспериментальный материал в области психофизики, нейронауки и моделирования, психофизиологическое исследование может начинаться с каждого блока. Важно, чтобы цикл сопоставления психологических, нейрональных и модельных представлений был реализован полностью (Соколов, 1995).

Рассмотрим в качестве примера исследование цветового зрения. На основе данных о субъективных различиях между цветами было установлено, что все множество цветов можно представить точками на сферической поверхности в четырехмерном евклидовом пространстве. При этом геометрическое расстояние между точками, представляющими цвета, в высокой степени коррелирует с исходными субъективными различиями (Измайлов, Соколов, Черноризов, 1989). Особенностью такой модели является то, что каждый цвет представлен комбинацией четырёх элементов (четы-

рехкомпонентным вектором). Длины этих векторов равны, поскольку все точки расположены на сфере. В этой модели ахроматические цвета разной интенсивности расположены на окружности в связи с тем, что цветовой тон у них отсутствует. Именно нейронные механизмы кодирования ахроматических цветов стали предметом специального исследования. В опытах на кроликах было показано, что на уровне наружного коленчатого тела имеется два типа нейронов. Одни из них при действии света возбуждаются (генерируют потенциалы действия), другие тормозятся (перестают генерировать потенциалы действия). По своей форме график зависимости числа потенциалов действия от интенсивности света близок функциям синуса и косинуса угла первой четверти (Соколов, Вайткявичус, 1989). Обнаруженные два типа нейронов оказались аналогичными нейронам яркости и темноты, открытыми Юнгом (1960) в зрительной коре кошки. Таким образом разным интенсивностям ахроматических стимулов соответствуют реальные комбинации возбуждений двух типов нейронов. Другими словами, каждой интенсивности соответствует свой вектор возбуждения постоянной длины. Именно это и было установлено в психофизических опытах.

Исследование нейронов зрительной коры кролика показало, что вместо градуальных нейронов таламического уровня, там регистрируются нейроны, избирательно настроенные на определенные значения интенсивностей. Объединение психофизических и нейрофизиологических данных было достигнуто в модели (Соколов, Вайткявичус, 1989). Суть ее сводится к следующему. Сигнал от рецепторов поступает на два типа нейронов, возбуждая одни и тормозя другие. В результате возникает двухкомпонентный вектор постоянной длины. Вектор возбуждения от таламических нейронов (преддетекторов) поступает параллельно на набор селективных детекторов интенсивности зрительной коры. Избирательность реакций этих детекторов достигается тем, что каждый из них обладает особым набором синаптических связей. При этом детектор суммирует попарные произведения приходящих возбуждений на веса синаптических связей, выполняя операцию нахождения скалярного произведения. Скалярное произведение достигает максимума в том детекторе, в котором его вектор синаптических связей совпадает по направлению с вектором возбуждения. При изменении интенсивности стимула максимум возбуждения смещается на другой детектор. Модель, разработанная для кодирования интенсивности, была затем распространена на кодирование разных цветов.

Данные опытов на нейронах обезьяны (Зеки, 1989; Zeki, 1992) совпали с такой расширенной моделью. Оси четырехмерного пространства совпадают с возбуждениями красно-зеленых, сине-желтых, яркостных и темновых нейронов таламического уровня. В зоне V4 зрительной коры обезьяны находятся цветоселективные детекторы (Зеки, 1992). Таким образом каждый цвет на таламическом уровне кодируется четырехмерным вектором, а в коре каждому оттенку цвета соответствует цветоселективный детектор. Векторная модель кодирования цвета интегрирует в единой системе психофизические и нейрофизиологические данные.

Разработанная модель была распространена на ассоциативное обучение и была проверена в опытах по выработке инструментальных условных рефлексов на обезьянах и рыбах. Оказалось, что сферическая модель цветового кодирования справедлива и для описания процесса обучения при допущении, что в командных нейронах пищевого поведения имеются пластичные синапсы, веса которых в ходе обучения изменяются, становясь пропорциональными подкрепляющим возбуждениям (Соколов, 1995). Дальнейшее расширение области применения модели было связано с названием цветов как результатом ассоциативного обучения (Вартанов, Соколов, 1995).

1996

ЛИТЕРАТУРА

1. Вартанов А.В., Соколов Е.Н., 1995. Роль первой и второй сигнальных систем в соотношении семантического и перцептивного цветовых пространств. Журн. высш. нервн. деят., т.45, №2, с. 343-357.
2. Измайлов Ч.А., Соколов Е.Н., Черноризов А.М., 1989. Психофизиология цветового зрения. Москва: Изд-во Моск. ун-та, 206 с.
3. Соколов Е.Н., 1995. Векторная психофизиология. Вопросы психологии 1995, т.16, №3.
4. Соколов Е.Н., 1995. Принцип векторного кодирования в психофизиологии. Вест. моск. ун-та. Сер.14, Психология, №4, с.3-13.
5. Соколов Е.Н., Вайткявичус Г.Г., 1989. Нейроинтеллект: от нейрона к нейрокомпьютеру. Москва: Наука 1989, 174 с.
6. Zeki S.M. 1992. The functional organisation of projections from striate and prestriate cortex of rhesus monkey. In: Frontiers in Cognitive Neuroscience. Eds: Stephen et al., Cambridge, p.9 - 12.